

立体モデルに基づく大腿部体積の評価

渡邊完児^{*1}, 阪本涼子^{*2}, 矢澤彩香^{*2}, 今木雅英^{*2}

*1: 武庫川女子大学文学部健康・スポーツ科学科

*2: 大阪府立大学総合リハビリテーション学部栄養療法学科

Thigh volume estimates based on each solid model

Kanji WATANABE^{*1}, Ryoko SAKAMOTO^{*2}, Ayaka YAZAWA^{*2} and Masahide IMAKI^{*2}

*1: Department of Health and Sports, School of Letters, Mukogawa Women's University

*2: Department of Clinical Nutrition, School of Comprehensive Rehabilitation, Osaka Prefecture University

Abstract

To measure the volume of body segment using a simple technique, the present basic study was conducted to develop an anthropometric method to accurately measure body segment volume with the assumption that body segments are solids. Fourteen healthy female, aged 18 to 50 yr, participated in this study. The reference volume of the thigh was measured by the water displacement method. The volume of each model was measured using the formulas for the cylinder, circular frustum and elliptical frustum models based on circumference, long diameter, and short diameter.

The volume of the thigh could be closely estimated using the formula for the circular frustum model and the elliptical frustum model by dividing thigh into 3 parts (volume error rate: circular frustum model, -2.3 to -3.3%; elliptical frustum model, 0.6 to 2.9%).

Key words: volume (体積), water displacement method (水置換法), thigh (大腿), solid model (立体モデル)

I. 目 的

最近の簡便な身体組成評価は、従来の全身の評価に加えて身体分節の評価に関心が持たれている。この流れは、肥満の予防あるいは改善も重要であるが、一方で高齢者の転倒予防や身体トレーニングの身体分節毎の筋量評価にもつなげたいというねらいがあるものと思われる。

Bioelectrical impedance (BI) 法では、身体分節 impedance の計測技術¹⁻⁶⁾と CT, MRI, DEXA 法などの高精度な reference を用いることで、身体分節の骨格筋量の評価^{7,8)}や腹部内臓脂肪量⁹⁾が推定でき、前述したような身体トレーニングの効果判定をはじめメタボリックシンドロームの測定・評価や転倒予防のための有用な情報が得られるようになってきた。

BI 法では多周波の impedance 情報を基に細胞内液量と細胞外液量の評価が可能であり、新生児^{10,11)}をはじめ妊婦¹²⁻¹⁴⁾やリンパ浮腫患者^{15,16)}の体水分量の評価に応用されている。

また、リンパ浮腫患者における浮腫の程度の評価や経過観察では、高精度な計測法から BI 法などの簡便な方法までさまざまな方法が応用されている。なかでも、最も簡便な方法としては、巻き尺を用いて周囲径を計測する評価法が広く臨床で用いられている^{17,18)}。さらに、周囲径の情報を立体モデルの式に当てはめることで体積の評価が可能となり¹⁹⁻²²⁾、臨床での評価にも応用されている。

ところで、人体の矢状面、冠状面及び横断面²³⁾をみると、身体分節各部位のそれぞれの形状には特徴があり、立体モデルでイメージすれば、円錐台や楕円錐台などに相当する。しかし、身体分節区間内の形状には凹凸がみ

表 1 対象者の年齢及び身体特性

	Mean ± SD	Range
年齢 (yr)	25.0 ± 9.4	18 - 50
身長 (cm)	160.7 ± 6.4	148.0 - 176.0
体重 (kg)	55.8 ± 9.0	44.9 - 80.5
BMI (kg/m ²)	21.5 ± 2.6	18.2 - 27.9
大腿部の体積 (cm ³) ※	4297.2 ± 689.1	3405.0 - 5519.0

n=14

※水置換法による体積

られ、一定の立体モデルでイメージするには限界があるように思われるが、身体分節の体積を周囲径などの情報をもとに立体モデルを用いて評価したこれまでの研究¹⁹⁻²²⁾では、身体分節各部位別の形状を考慮した検討がほとんどなされていないように思われる。

本研究では加齢や運動不足で筋の萎縮が著しい大腿部に着目し、同部位の体積計測に及ぼす立体モデルと分割の程度の影響、さらにこれらの計測条件と計測部位の形状との関連について検討することを目的とした。

II. 研究方法

1. 対象者

対象者は、年齢が 18 ~ 50 歳の健康な成人女性 14 名であった。対象者の身長、体重及び BMI は、それぞれ 160.7 ± 6.4 cm, 55.8 ± 9.0 kg, 21.5 ± 2.6 kg/m²であった(表 1)。測定に際し、対象者には本研究の主旨と測定内容の説明を十分に行い、なおかつ同意を得た。

2. 計測方法

本研究では、対象者の大腿部(右側)の体積を水置換法(基準体積)及び形態計測法により計測した。計測区間は、膝蓋骨中点から大腿部の内側の最大膨隆部とした。

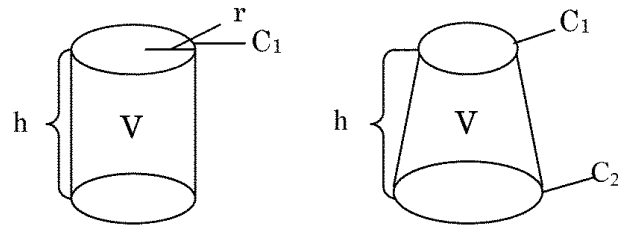
1) 水置換法による体積の計測

大腿部の体積は、水置換法による体積計測器とメスシリンダーにより計測した。同体積の計測は以下の手順で行った。まず①足部から大腿部の内側の最大膨隆部までの体積(下肢の体積)を計測する。次に②足部から膝蓋骨中点までの体積を計測する。そして、①の体積と②の体積の差分を大腿部の体積とした。

なお、体積の計測では、計測値の信頼性が得られるように少なくとも 2 ~ 3 回計測を繰り返し、最も安定した 2 つの計測値の平均値を求めた。

2) 立体を仮定した体積の計測

円柱、円錐台及び楕円錐台による体積を以下の 3 種類の式より求めた。



円柱体積 (V)

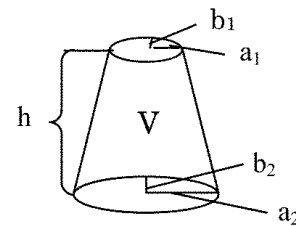
$$C=2 \pi r$$

$$A= \pi r^2$$

$$V= \pi (C^2/4 \pi^2)h$$

円錐台体積 (V)

$$= h/12 \pi (C_1^2 + C_1C_2 + C_2^2)$$



楕円錐台体積 (V)

$$= 1/6 \pi h (2a_1b_1+a_1b_2+a_2b_1+2a_2b_2)$$

ただし、A は面積 (cm²)、V は体積 (cm³)、 π は円周率、h は高さ (cm)、C₁ と C₂ は周囲径 (cm)、a₁ と a₂ は長径 (cm)、b₁ と b₂ は短径 (cm) を示す。

周囲径と長軸方向の長さの計測には巻き尺を用いた。長径及び短径の計測には、マルチン人体計測器の触角計を用いた。周囲径の計測では、長軸に直角に巻き尺を当てて計測した。また、長径と短径の計測では、2 名の検者で互いに水平に計測できていることを確認した。形態計測では、計測値の信頼性が得られるように少なくとも 2 ~ 3 回計測を繰り返し、最も安定した 2 つの計測値の平均値を求めた。

3) 立体モデルの分割

本研究では、計測区間を分割しない方法、2 分割する方法及び 3 分割する方法から体積を求めた。2 分割及び 3 分割によって求める体積は、それぞれ分割して得られた体積の総和とした。

4) 各計測値の信頼性の検討

本研究では、水置換法による体積及び各形態計測値の信頼性の検討を行い、全ての計測値の信頼性が高いことを確認した (r=0.997-0.999)。

3. 統計処理

結果は平均値±標準偏差で表した。各計測値の信頼性についてはピアソンの積率相関係数を用いて検討した。各立体モデルと分割数との関連については、対応のある二要因分散分析を用いて検討した。さらに、基準体積と

表 2 異なる立体モデルと分割数による体積の比較

	大腿部の体積 (cm ³)										立体モデル a, b, c	分割数 分割なし, 2, 3	立体モデル × 分割数
	円錐台 ^a			楕円錐台 ^b			円柱 ^c						
	分割なし	2分割	3分割	分割なし	2分割	3分割	分割なし	2分割	3分割				
Mean	4371.6	4423.3	4431.7	4243.1	4162.1	4157.4	6337.8	5374.0	5058.6		*	*	*
SD	603.9	647.3	692.2	544.1	625.0	622.3	980.4	824.6	807.9				

* p < 0.01

各立体モデルにおける分割毎の体積の比較については一元配置分散分析を用いて検討した。いずれも分散に有意差が認められた場合には、Tukey-HSD法で各群の比較を行った。統計上の有意水準は1%未満とした。

III. 結 果

1. 異なる立体モデルと分割数による体積の比較

円柱、円錐台及び楕円錐台の立体モデルとそれらの立体モデルを分割しなかった場合の体積、2分割した場合の体積(2分割した体積の総和)、さらに3分割した場合の体積(3分割した体積の総和)の関連について検討したところ、立体モデルと分割の程度に有意な交互作用(各立体モデル×分割数)が認められた(表2, 図1)。すなわち、形態計測法から求めた体積には、立体モデルの種類と分割数の程度が相互に影響を及ぼすことが明らかにされた。同時に、各分割数における立体モデルの単純主効果の検定を行ったところ、いずれも有意と判定された。さらに、各分割数における立体モデルの多重比較検定を行ったところ、いずれの分割数においても円柱モデルで求めた体積は他の立体モデルで求めた体積に対して有意に高値を示すことが認められた(表2, 図1)。

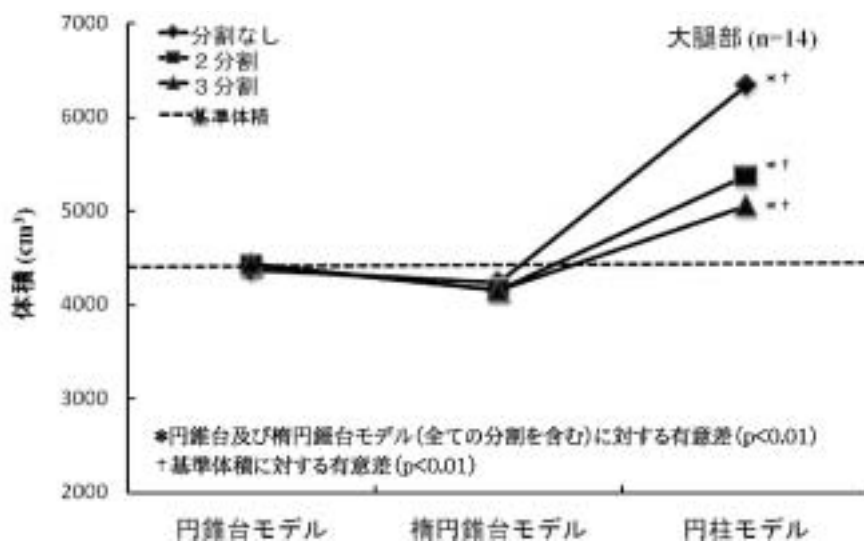


図 1 大腿部の体積を求める際の立体モデルと分割数の関係

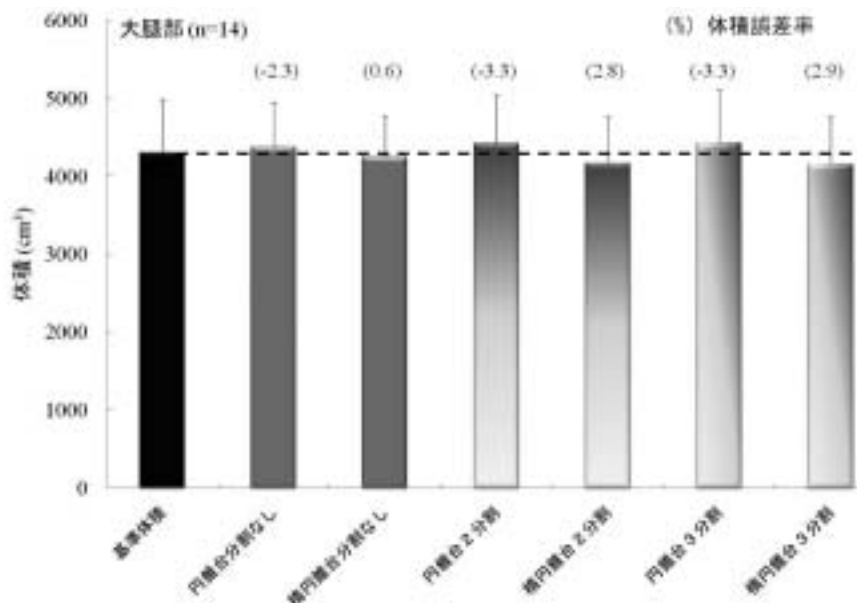


図 2 基準体積と円錐台及び楕円錐台モデルによる体積の比較
—分割の程度による影響—

2. 基準体積と円錐台及び楕円錐台モデルによる体積の比較

本研究では、水置換法により計測した大腿部の体積(基準体積)と各立体モデル(分割の程度を含む)で計測し

た大腿部の体積との差について検討した。大腿部の基準体積は4297.2 ± 689.1 cm³であった。円錐台モデルによる

体積は、分割なし、2分割の総和及び3分割の総和でそれぞれ $4371.6 \pm 603.9 \text{ cm}^3$, $4423.3 \pm 647.3 \text{ cm}^3$, $4431.7 \pm 692.2 \text{ cm}^3$ であった。同様に、楕円錐台モデルによるそれぞれの分割の程度による体積の総和は、 $4243.1 \pm 544.1 \text{ cm}^3$, $4162.1 \pm 625.0 \text{ cm}^3$, $4157.4 \pm 622.3 \text{ cm}^3$ であった。本研究では、基準体積を含めた各立体モデルの分割の程度による体積の平均値を一元配置分散分析で比較したところ、有意な差が認められなかった (図 2)。

3. 円錐台及び楕円錐台モデルによる体積誤差率

基準体積と各立体モデルの体積 (分割の程度を含む) との差を基準体積で除した割合 (体積誤差率) を求めた。円錐台モデルによる体積誤差率は、分割なしが $-2.3 \pm 5.4\%$, 2分割は $-3.3 \pm 4.2\%$, 3分割では $-3.3 \pm 3.7\%$ であった。一方、楕円錐台モデルによる体積誤差率は、分割なしが $0.6 \pm 5.8\%$, 2分割は $2.8 \pm 4.5\%$, 3分割では $2.9 \pm 4.1\%$ であった。両モデルのそれぞれの分割による体積誤差率の平均値を一元配置分散分析で検討した結果、有意な差が認められなかった。

IV. 考 察

人体計測法を用いた身体分節の体積の計測についてはこれまでも報告されており¹⁹⁻²²⁾、手足の浮腫の評価やその経過観察などにも利用されている²⁴⁾。体積は、計測対象部位の周囲径や長軸方向の長さなどの情報をもとに、主として円錐台モデルによる式に当てはめて求めた報告が多いように思われる^{19,25-28)}。ところで、身体分節の体積を求める場合は横断面積を求めてその高さを限りなく0に近く計測して総和を求めれば、真の体積に近似する。しかし、簡便な方法で人が計測することを考えると実際には不可能といえる。そこで、人体の形状は一律でないことを考慮に入れると、計測区間を幾つかに分割して周囲径と長軸方向の長さを計測することにより、体積の計測誤差が少しでも回避できるものと考えられる。これまでの報告では、身体分節の計測区間を $3 \text{ cm}^{27)}$, $4 \text{ cm}^{19,28)}$, $10 \text{ cm}^{24-26)}$ など様々な長さに分割して体積を求めている。本研究では、円柱、円錐台及び楕円錐台の3種類のモデルを採用し、分割の長さを規定せず、計測区間を分割なし、2分割 (総和) 及び3分割 (総和) して求めた体積の違いについて比較した。その結果、立体モデルの種類と分割数の程度が相互に体積に影響を及ぼすことが明らかにされた (表 2)。なかでも、円柱モデルはどの分割の程度においても円錐台モデルと楕円錐台モデルに比べて有意に過大評価することが認められた。また、円柱モデルでは分割をしない方法が最も高値を示し、分割数が多いほど他の立体モデルから求めた体積に近づく傾向がみられた。ちなみに、円柱モデルの各分割による体積は、基準体積に対して有意に過大評価することが認められた (図 1)。

その理由として、円柱モデルでは近位の計測ラインである大腿部内側の最大膨隆部から遠位の計測ラインである膝蓋骨中点に向かって細くなる形状が考慮されないため、特に膝辺の誤差が大きく影響することが考えられた。一方、円錐台モデルと楕円錐台モデルのそれぞれの分割の総和による体積は、いずれも基準体積との間に有意差が認められなかった (図 2)。さらに、体積誤差率 (円錐台モデルの体積誤差率: 分割なし; -2.3% , 2分割; -3.3% , 3分割; -3.3% , 楕円錐台モデルの体積誤差率: 分割なし; 0.6% , 2分割; 2.8% , 3分割; 2.9%) を比較したところ、両立体モデルにおける分割の程度による有意な差は認められなかった。このように、円錐台モデルと楕円錐台モデルによる大腿部体積の計測精度が比較的高かったことは、同部位が両立体モデルの形状に比較的近かったことが考えられる。ところで、計測部位の横断面が限りなく円に近い場合、横断面積を周囲径から求める方法 (円錐台モデル) と長径と短径から求める方法 (楕円錐台モデル) とはほぼ同様の値を示す。人体の横断面は本研究における大腿部の各分割毎の長径と短径の長さの違いから考えると、楕円に相当する形状や円に近い形状があり²³⁾、体積の計測区間の形状は一律ではない。したがって、大腿部の体積を人体計測値を用いて計測する際の最適な立体モデルの適用については、さらなる詳細な検討が要されるものと思われる。

Kaulesar et al.²⁷⁾ は、健常男性の下腿体積を水置換法により求め (基準体積)、円柱モデルと円錐台モデルとの関係について検討した。その結果、両モデルとも基準体積との間に有意に高い相関が認められたが、円錐台モデルの方が円柱モデルよりも計測誤差が大きかったことを報告した。本研究で対象とした大腿部では、大腿四頭筋と大腿二頭筋などの筋群の形状から円柱モデルのようなストレートな形状ではなく、円錐台モデルか楕円錐台モデルの形状に近いものと思われ、形態計測法から求めた体積は円柱モデルよりもこれらの立体モデルが有用であることが明らかにされた。一方、Kaulesar et al.²⁷⁾ らが対象とした下腿部の形状も前脛骨筋や腓腹筋、さらにヒラメ筋などの筋群の形状から考えると円錐台か楕円錐台モデルに近いように思われる。しかし、Kaulesar et al.²⁷⁾ の成績のように、円柱モデルの計測誤差が円錐台モデルよりも小さかったことについては、おそらく対象者における下腿部の計測区間の横断面積に大きな差がみられないような細めの体型を有していた可能性が考えられる。この点については、同論文で対象者の身体特性が明確にされていないことからあくまでも推論である。

以上、本研究では大腿部の体積計測に及ぼす立体モデルと分割の程度の影響について検討したところ、円錐台モデルと楕円錐台モデルのそれぞれの分割による体積には大差がなく、いずれも基準体積に近い値を得ることができた。これらの成績より、最も簡便かつ計測精度が比

較的高い方法で大腿部の体積を求める場合は円錐台モデル(分割をしない方法)が望ましいものと考えられた。しかし、前述したように、大腿部の体積を計測する区間の形状は様々ではないことから、例えば、肥満型や痩せ型のように異なる体型における計測区間の横断面の特徴を明らかにし、対象者の体型に応じた立体モデルの適用についてさらに検討する必要があるものと思われた。

【文 献】

- 1) Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF: Estimation of body composition from bioelectric impedance of body segment. *Am J Clin Nutr*, **50**, 221-226, 1989
- 2) Biggs J, Cha K, Horch K: Electrical resistivity of the upper arm and leg yields good estimates of whole body fat. *Physiol Meas*, **22**, 365-376, 2001
- 3) Chumlea WC, Baumgartner RN, Roche AF: The use of specific resistivity to estimate fat-free mass from segmental body measures of bioelectric impedance. *Am J Clin Nutr*, **48**, 7-15, 1988
- 4) Cornish BH, Jacobs A, Thomas BJ, Ward LC: Optimizing electrode sites for segmental bioimpedance measurements. *Physiol Meas*, **20**, 241-250, 1999
- 5) Fuller NJ, Fewtrell MS, Dewit O, Elia M, Wells JCK: Segmental bioelectrical impedance analysis in children aged 8-12y (Part 1) The assessment of whole-body composition. *Int J Obes*, **26**, 684-691, 2002
- 6) Organ LW, Bradham GB, Gore DT, Lozier SL: Segmental bioelectrical impedance analysis: theory and application of a new technique. *J Appl Physiol*, **77**, 98-112, 1994
- 7) Miyatani M, Kanehisa H, Masuo Y, Ito M, Fukunaga T: Validity of estimating limb muscle volume by bioelectrical impedance. *J Appl Physiol*, **91**, 386-394, 2001
- 8) Yamada Y, Kimura M, Nakamura E, Masuo Y, Oda S: Limb muscle mass decrease with aging in Japanese men and women aged 15-97 yr. *Jpn J Phys Fitness Sports Med*, **56**, 461-472, 2007
- 9) Kobayashi J, Tadokoro N, Watanabe M, Shinomiya M: A novel method of measuring intra-abdominal fat volume using helical computed tomography. *Int J Obesity*, **26**, 398-402, 2002
- 10) Ferreira DM, Souza MN: Bioelectrical impedance spectroscopy for the assessment of body fluid volumes of term neonates. *Braz J Med Biol Res*, **37**, 1595-1606, 2004
- 11) Tang W, Ridout D, Modi N: Assessment of total body water using bioelectrical impedance analysis in neonates receiving intensive care. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, **77**, 123-126, 1997
- 12) Larciprete G, Valensise H, Vasapollo B, Altomare F, Sorge R, Casalino B, De Lorenzo A, Arduini D: Body composition during normal pregnancy: reference ranges. *Acta Diabetol*, **40**, 225-232, 2003
- 13) Lof M, Forsum E: Evaluation of bioimpedance spectroscopy for measurements of body water distribution in healthy women before, during, and after pregnancy. *J Appl Physiol*, **96**, 967-973, 2004
- 14) Valensise H, Andreoli A, Lello S, Magnani F, Romanini C, De Lorenzo A: Multifrequency bioelectrical impedance analysis in women with a normal and hypertensive pregnancy. *Am J Clin Nutr*, **72**, 780-783, 2000
- 15) Cornish BH, Bunce IH, Ward LC, Jones LC, Thomas BJ: Bioelectrical impedance for monitoring the efficacy of lymphoedema treatment programmes. *Breast Cancer Res Treat*, **38**, 169-176, 1996
- 16) Halaska MJ, Komarek V, Mala I, Chod J, Strnad P, Novotny J, Stankusova H, Kolarik D, Maresova D: A method for the detection of post-operative lymphoedema after operation for breast cancer: multifrequency bioelectrical impedance analysis. *J Appl Biomed*, **4**, 179-185, 2006
- 17) 細川賀乃子, 近藤和泉, 岩田学: リハビリ浮腫に対するリハビリテーション・アプローチ. *リハビリテーション医学*, **43**, 51-62, 2006
- 18) 佐藤佳代子 (編): リンパ浮腫の治療とケア. p.49-52, 医学書院, 東京, 2005
- 19) Karges JR, Mark BE, Stikeleather SJ, Worrell TW: Concurrent Validity of Upper-Extremity Volume Estimates: Comparison of Calculated Volume Derived From Girth Measurements and Water Displacement Volume. *Phys Ther*, **83**, 134-145, 2003
- 20) Latchford S, Casley-Smith JR: Estimating limb volumes and alterations in peripheral edema from circumferences measured at different intervals. *Lymphology*, **30**, 161-164, 1997
- 21) Mayrovitz HN: Limb volume estimates based on limb elliptical vs. circular cross section models. *Lymphology*, **36**, 140-143, 2003
- 22) Sander AP, Hajer NM, Hemenway K., Miller AC: Upper-Extremity Volume Measurements in Women With Lymphedema: A Comparison of Measurements Obtained Via Water Displacement With Geometrically Determined Volume. *Phys Ther*, **82**, 1201-1212, 2002
- 23) 松川 明, 伊藤 司, 木村和衛: 画像のための人体横断解剖. p.75-118, 医学図書出版株式会社, 東京, 1987

- 24) Bunce IH, Mirolo BR, Hennessy JM, Ward LC, Jones LC: Post-mastectomy lymphoedema treatment and measurement. *Med J Aust*, **161**, 125-128, 1994
- 25) Boris M, Weindorf S, Lasinski B: Persistence of lymphedema reduction after noninvasive complex lymphedema therapy. *Oncology*, **11**, 99-109, 1997
- 26) Casley-Smith JR: Measuring and representing peripheral oedema and its alterations. *Lymphology*, **27**, 56-70, 1994
- 27) Kaulesar Sukul DMKS, den Hoed PT, Johannes EJ, van Dolder R, Benda E: Direct and indirect methods for the quantification of leg volume: comparison between water displacement volumetry, the disk model method and the frustum sign model method, using the correlation coefficient and the limits of agreement. *J Biomed Eng*, **15**, 477-480, 1993
- 28) Sitzia J: Volume measurement in lymphoedema treatment: examination of formulae. *Eur J Cancer Care*, **4**, 11-16, 1995