

資 料

下肢浮腫の定量的評価の検討

A study of the quantitative evaluation of leg edema.

林 静子¹⁾, 若山俊隆²⁾, 吉澤 徹²⁾, 奥村高広²⁾, 山田泰子¹⁾,
平塚陽子¹⁾, 永田暢子¹⁾, 中島春香¹⁾, 石津みゑ子¹⁾

Shizuko Hayashi, Toshitaka Wakayama, Toru Yoshizawa
Takahiro Okumura, Yasuko Yamada, Yoko Hiratsuka, Nobuko Nagata
Haruka Nakajima, Mieko Ishizu

キーワード：光三次元計測，浮腫，生体計測

Key words：Optical 3D metrology, Edema, Anthropometry

要 旨

これまで下肢浮腫の計測には巻尺やインピーダンス法，水槽へ足を入れるなど接触が必要であり，測定誤差が大きくなってしまふ可能性が高い方法が行われていた。本研究では，光セクションングを応用した形状測定装置を用いて，下肢浮腫の定量的評価の可能性について検討をすることを目的に装置を製作した。モデル人形「さくら」を使用し繰り返し測定を行った。形状測定装置は測定対象の左右両側から光セクションング面を形成できるようにした。CCDカメラを配置し三角測量の原理から，形状を復元することができる。これらの断面位置は装置を搭載したスライダによって上下に移動させ，測定された断面を順に積み重ねることができる。今回1 cmの間隔で20 cmのエリアの足の形状を測定した結果，足の形状がそのまま三次元立体として復元されていることが確認された。測定結果から短時間に各部位の断面形状，さらには二断面間の容積，すなわち浮腫の状態を定量的に知ることが可能であることが示唆された。

I. はじめに

循環器障害や腎・肝障害，内分泌障害等の疾患や，長時間の起立，座位などの一般的な状況，妊娠などが原因となり浮腫を生じることがある。浮腫は組織間質腔に過剰な水分が貯留した状態であり，毛細血管圧の上昇によって生じた毛細血管内腔と組織間質腔との圧力差が生じることから起こる症状である。浮腫が起これば末梢血管は圧迫されて細くなり血流が減少することとなる。また，皮膚が伸展し汗腺や皮脂腺の分泌気の低下から皮膚は乾燥し脆弱化するため損傷しやすい状況に陥る。そのため，患部を挙上し静脈還流を促進させたり，入浴や足

浴，ホットパックなどの温罨法による皮膚血管の拡張から循環血液量が増加し組織間液の還流が促進する効果を期待する看護技術を提供している（佐伯,1998）。

近年，科学的根拠に基づいた看護技術の提供が強調され，看護技術の効果を定量的に評価する必要性が重視されている。これまで，浮腫に対する看護技術を検証するためには血流計により血行状態を測定したり，サーモグラフィにより表面温度をチェックすることが行われてきた（佐伯,1998）。さらに，浮腫を簡便に測定する手段としては巻尺による方法（山崎,馬場,小池,1998）やインピーダンス法（小川,2003）水槽による方法（中村,合田,白井ら,2003;小山,2005）などが提案されており，これらは体表より対象部位の膨張の度合いを計測して，

受付日：2007年10月1日 受理日：2007年12月14日

1) 看護学科基礎看護学 2) 医用生体工学科

血液を含めた水分の貯留の程度を測定している。しかし、これらはいずれもが接触が必要な計測であり、測定の精度は必ずしも高くなく、測定者により結果が異なり、測定値のばらつきが大きくなりやすく信頼性に欠ける。また、極めて扱いにくい装置や器具が用いられている場合が多くみられる。

このような問題点を解決するために、光セクションングを応用した形状測定装置を用いて下肢の周囲計・断面積・体積から浮腫の定量的評価の可能性について検討をすることを目的に装置を製作した。光セクションングは工業的には古くから実用されている計測手法であり、たとえば歯車の歯型の計測、鉄道のレール断面形状の計測などに使われている。(吉澤編著：1999,2006) 特徴としては原理がシンプルであり、光によりセクションングされた断面線は輝度が高いため、コンピュータ処理に向いていることが挙げられる。しかし、レーザー光により帯状の光を形成するためには、ガルバノメータや回転ミラーのような機械的動きを有するデバイスが必要であり、装置が大きくなることや安定性に欠けるという問題があった。このような中で共著者の一人である吉澤が考案した帯状のスリット光を簡単に形成できるリングビームデバイスによるセクションングにより、動的部分がなく、安定した測定を可能とする装置を製作することが可能になった。

そこで今回、この手法を生体計測に適用し、より精度が高く非接触的測定が可能である光セクションングを応用した形状測定装置を製作し、下肢浮腫の定量的評価の可能性について検討を行った。

II. 目的

光セクションングを応用した形状測定装置による下肢浮腫の定量的評価の可能性について検討をすることを目的とした。

III. 測定システムおよび測定法

1. 測定システム

光セクションングを達成するために、リングビーム装置を用い計測を行った。(Toru Yoshizawa et al.:2006, 吉澤徹, 特願 2006-113713) リングビーム装置は円錐ミラーに半導体レーザーが接続されたもので、ミラー中心部分にレーザー光があたると、その光はディスク状の光となって広がる。これを測定対象に照射することで光セクションング面が図 1(a) のように得られる。CCD カメラを図 1(a) のように配置すれば三角測量の原理から、その形状を図 1(b) のように復元することができる。また、これらの断面位置は装置を搭載したスライダによって上下に移動させ測定された断面を図 1(b) のように順に積み重ねることができる。その結果、各部位の断面形状、さらには二断面間の容積、すなわち浮腫の状態を定量的に知ることができる。現在のところは 2 方向からのセクションングを行っているが、死角となる部分を解消するための測定に長時間かかる可能性があり、今後 3 方向以上の方向からのセクションングを行うことを検討している。3 方向にすることにより障害物による死角の問題も同様に避けることができる。このことは自動車工業分野において、すでに試作装置での確認が済んでいる。リングビーム装置のレーザーには波長 532nm の半導体レーザーを用いた。このレーザーの出力は 1mW 未満であり、クラス 2 のレーザーポインターと同程度である。

実際の測定に入る前に測定精度を検証するため、工業用基準ゲージであるリングゲージ(ミットヨ)を用いて検証実験を行った。リングゲージの半径方向の標準偏差は 0.3mm 以下であった。また、半径方向の直線性に関する標準偏差は 0.01mm 以下となり、本装置は生体計測を行うにあたり十分な測定精度をもっていることを確認した。

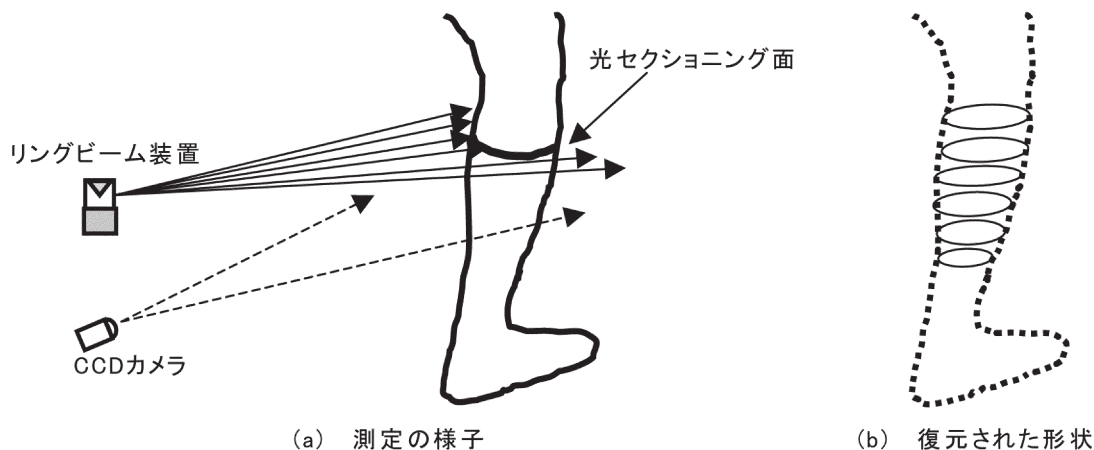


図 1 光セクションングを応用した形状測定法の概念図

2. 測定方法

精度検定結果を踏まえ、さらに測定方法の確認を行うため、長時間の同一体位での拘束が必要となる可能性がある。そのため、対象には看護実習用模型「さくら」(京都科学)を用いた。また、下肢の周囲計の測定のため、座位の状態での測定を行った。測定手技の統一のため吉澤ら(1999, 2006)が行っている測定を参考に、これまで光セクションの測定経験のあるものが行った。

図2に示したように測定対象である足にも光セクション面が形成されていることを確認の上、実際に足の形状測定を行うわけだが、本方法では測定対象の一部(表側)しか測定できないという欠点がある。そこで、本実験では図3の矢印が示すように測定対象の左右両側から光セクション面を形成できるようにし、死角となる部分が存在しない測定を可能とした。

IV. 測定結果

図4(a)に測定対象となる左足膝下部分をデジタルカメラで撮像し、図4(b)は光セクション面をモノクロ CCD カメラで撮像した原画像を示す。測定部分は膝下の部分の外側となり、その形状に従って光セクション面が「おわん型」になっている。この「おわん」の下に凸となっている部分が、足の盛り上がっている部分に相当する。これを内側と共に測定し、コンピュータで三角測量の原理を元に解析すると、図4(c)のような光セクション面が得られる。この光セクション面を高さ方向に操作し画像取得すれば、足の形状を非接触での測定が可能となる。

今回は1cmの間隔で20cmのエリアの足の形状を測定した。その結果を図4(d)に示す。図4(a)と比較すればわかるように足の形状がそのまま三次元立体として復元されていることがわかる。



図2 光セクションの様子

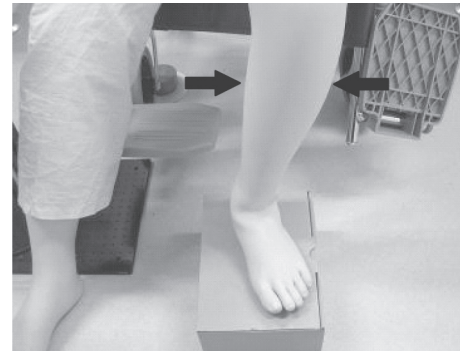
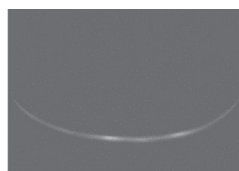


図3 2方向からの測定



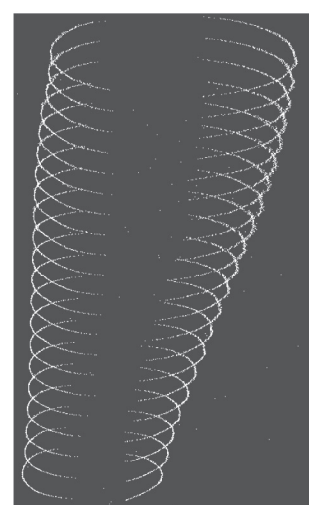
(a) 測定部分(左足)



(b) 撮像された画像(片側)



(c) 復元された画像(両側)



(d) 測定結果

図4 実験結果

図 4(c) に示したような光セクション面が各層で得られているため、これを数値計算することにより断面積が得られ、さらに各層の情報を積分すれば、足そのものの体積を求めることも可能となる。今回の測定では 1cm 間隔の測定であるがこれをより細かく取ることで、体積測定の精度向上も可能である。

測定時間は、一つの断面についての結果を得るには 0.1 秒以内であるが、半自動であるところから足部全体を測定するには 5 分程度を要した。

V. 考察

今回製作した光セクションを応用した形状測定法は、従来の巻尺などによる接触方式とは異なり、光を使用し非接触的に測定することが可能であることが示唆された。さらに、従来の方式よりも短時間で測定を行うことができ、やがては自動測定も可能となるという特徴がある。ここで提言した方式によれば、光セクション面が各層で得られているため、周囲計のみならず、これを数値計算すれば断面積を得ることができる。さらに各層の情報を積分すれば、計測した部分そのものの体積を求めることも可能となる。浮腫は組織間質腔に過剰な水分が貯留した状態であり、体積は重要な視点となる。これまではアルキメデスの原理を適用し水を入れた水槽に足を入れその前後の質量変化による容積を量る方法を用いていたが、実際の測定では測定部位の水面に対する角度や筋肉の緊張状態の違い、測定部位の貯血量等の変動による影響により測定誤差のばらつきが大きいことが問題となっている（中村, 合田, 白井ら, 2003; 小山, 2005）。

今回の光セクションを応用した形状測定法では設定条件によっては細かい間隔での測定が可能となり体積測定の精度向上が可能となる。しかも計測値を瞬時に定量化することが可能であり、データの解析と記録の蓄積が容易となり、数値解析に適する。

測定時間は、一つの断面についての結果を得るには 0.1 秒以内であるが、現在は装置が最初の試作品であり、半自動であるところから足部全体を測定するには 5 分程度を要した。しかし、今後上下自動スライダを使用し組上げることにより、10 秒以内での計測は容易となると考えられる。それにより、患者を長時間拘束する必要も

なくなる。

このように光セクションを応用した形状測定法では、短時間に下肢の周囲計・断面積・体積を定量的に評価することが可能となる。今後、浮腫の評価として行われている接触や浸襲がある血流量やインピーダンス法などの測定値との関連を検討し、非接触・非侵襲的測定法として確立することにより、疾患が原因となっている浮腫や、妊娠が原因となる下肢の浮腫、乳癌術後のリンパ浮腫などの評価に応用し、患者の状態に応じた治療の選択、看護技術の検討・提供につなげる可能性が高いと考えられる。

今後、実際の人の下肢の変化の測定を行い、結果の安定性・再現性について検討を行い、装置の精度を高める必要があると考える。

なお、本研究は平成 18 年度埼玉医科大学保健医療学部プロジェクト研究（SMU-SMTH Grant 06-006）の助成を受け実施したものである。

文 献

- 小山秀紀 (2005): 航空機座席環境における下肢の血行動態の測定, 早稲田大学大学院博士論文.
- 中村隆夫, 合田典子, 白井喜代子ら, (2003): 浮腫評価のための体肢容積計の開発, 岡山大学医学部保健学科紀要, **14**, 31-35.
- 小川佳宏 (2003): リンパ浮腫, 保健同人社, 東京.
- 佐伯由香 (2007): 足浴ケアが生体に及ぼす影響, 小松浩子, 菱沼典子, Evidence-Based Nursing 看護実践の根拠を問う, 第 2 版編, 南江堂, 東京, 91-101.
- 山崎善弥, 馬場紀行, 小池道子ら, (1998): 容積計測法による慢性四肢リンパ浮腫に対する長期波動マッサージ療法の評価, 医器材研報, **32**, 49-53.
- 吉澤徹 (2006): 最新光三次元計測, 朝倉書店, 東京.
- 吉澤徹 (2000): 光によるヒトの 3 次元形状計測, 計測と制御 (計測自動制御学会誌), **39**(4), 267-272.
- 吉澤徹 (1994): 人体形状の非接触三次元計測, 人間工学, **30**(3), 119-123.
- Toru Yoshizawa et al.: Proceedings of SPIE Vol... 6382 (2006,10)
- 吉澤徹: 特開 2007-285891.