

# Ultrasound biomicroscopy による角膜厚マッピング(第1報)

和田 泉<sup>1)</sup>, 江見 和雄<sup>2)</sup>, 石川 浩<sup>1)</sup>, 宇治 幸隆<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>三重大学医学部眼科学教室, <sup>2)</sup>三重県立総合医療センター眼科

## 要 約

超音波生体顕微鏡検査 (ultrasound biomicroscopy) により, 正常眼において角膜の中心から半径約 2.5 mm の範囲の角膜垂直断面像をデジタル化し, コンピューター解析により, 角膜厚マッピングを行った。本法は, 屈折矯正手術の術前後の検査や病的眼の状態を知るのに応

用できるものと思われる。(日眼会誌 100: 46-49, 1996)

キーワード: 角膜厚, 超音波生体顕微鏡, 角膜厚マッピング

## Corneal Thickness Mapping with an Ultrasound Biomicroscope

Izumi Wada<sup>1)</sup>, Kazuo Emi<sup>2)</sup>, Hiroshi Ishikawa<sup>1)</sup> and Yukitaka Uji<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Ophthalmology, Mie University School of Medicine

<sup>2)</sup>Department of Ophthalmology, Mie Prefectural Medical Center

## Abstract

We developed a corneal thickness mapping system with ultrasound biomicroscopy (UBM). Perpendicular section ultrasonic echo images of cornea within a radius of 2.5 mm from the center of the cornea in normal eyes were digitized and analyzed with a computer. Pachymetric maps were then represented by a color scale. Individual corneal thickness map-

ping will be necessary in refractive surgery and helpful in understanding pathologic states. (J Jpn Ophthalmol Soc 100: 46-49, 1996)

Key words: Corneal thickness, Ultrasound biomicroscopy, Corneal thickness mapping

## I 緒 言

現在, 広く一般的に用いられている角膜厚の測定法には, ① Haag-Streit 製 pachometer (Hedbys-Mishima 法)<sup>1)</sup>, ② 超音波法<sup>2)3)</sup>, ③ スペキュラーマイクロスコープ<sup>4)</sup>の3法がある。近年, Pavlin ら<sup>5)</sup>により, ultrasound biomicroscopy (以下, UBM) による角膜厚の測定が報告されて以来, 高周波の超音波による方法が注目されるようになった。今回我々は, UBM によって得られた角膜垂直断面像において角膜の厚さを計測し, コンピューター解析で角膜厚マッピングを行ったので報告する。

## II 実験方法

### 1. 装 置

Humphrey 超音波バイオマイクロスコープ, モデル 840 (Humphrey Instruments Inc) を使用した。トランスデューサーは, 周波数 50 MHz, 焦点距離 5.5 mm, 直径 3.0 mm, 距離分解能 0.05 mm, 方位分解能 0.05 mm, ビーム直径 0.05 mm, 焦点深度 0.7 mm である。解像度は 5×5 mm に対して 864×432 ピクセル, 測定分解能は ±5 μm, スキャン方法は mechanical linear scan であ

る。

### 2. 方 法

#### 1) 角膜厚の測定

対象は, 屈折異常以外特に異常を認めず, コンタクトレンズを装着していない 14 例 21 眼の正常眼である。明順応下で検査前に, 塩酸オキシプロカイン (ペノキシール®) を対象眼に点眼後, アイカップを装着し, カップ内を特殊コンタクトレンズ角膜装着補助剤 (スコピゾール®) で満たした。予め用意された固視点を他眼で固視させながら, プローブが角膜に垂直になるように保持し, 3 時~9 時, 6 時~12 時, 1 時半~7 時半, 4 時半~10 時半方向の 4 方向でスキャンし, 光学中心を通り直径 5 mm の範囲の角膜垂直断面像を得た。各方向で得られた断面像には, 角膜とともに虹彩, 水晶体前面も同一画面に含まれている。得られた断面像で, 瞳孔の中心において水晶体前面の接線方向に立てられた線が角膜表面と交わる点を角膜中心とした。その角膜中心から 0.25 mm おきに角膜表面の接線方向と垂直にモニター上のスケールで断面像の角膜厚を計測した (図 1)。これを 4 方向において行い, 約 80 か所の計測値を得, 得られた計測値を角膜の音速 (1,550 m/s) を用いて補正した。

別刷請求先: 514 三重県津市江戸橋 2-174 三重大学医学部眼科学教室 和田 泉  
(平成 6 年 12 月 20 日受付, 平成 7 年 6 月 22 日改訂受理)

Reprint requests to: Izumi Wada, M.D. Department of Ophthalmology, Mie University School of Medicine. 2-174 Edobashi, Tsu-shi, Mie-ken 514, Japan

(Received December 20, 1994 and accepted in revised form June 22, 1995)

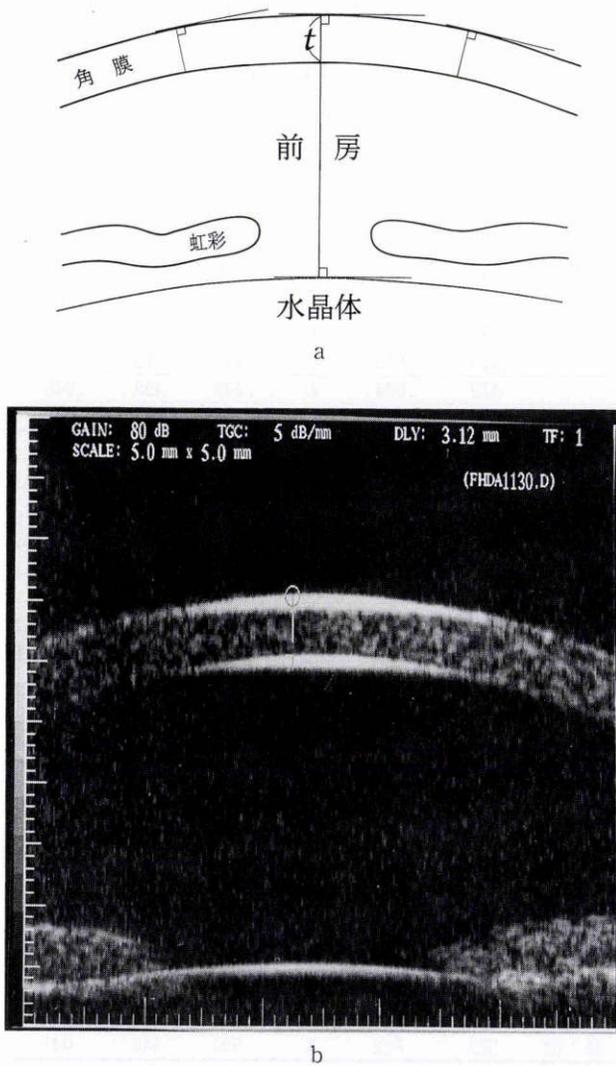


図 1

a: 角膜中心の決め方. 角膜垂直断面像で瞳孔の中心において水晶体前面の接線方向に垂直にたて、角膜表面と交わる点を角膜中心とした. t: 角膜厚 b: Ultrasound biomicroscopy による角膜垂直断面像.

2) 測定値の再現性の検討

同一検者で同一被検眼の測定を測定日(n=5)を変えて、また同一被検眼の測定を4人の検者で、4方向において角膜中心から0.5 mm おきに約40か所で測定し、それぞれの変動係数を検討した.

3) 角膜厚マッピング

正常眼2例3眼において得られた角膜厚を、米国Apple社製パーソナルコンピュータMacintosh Quadra 950上で、米国Delta Point社製グラフ作成ソフトDeltaGraph Pro 3.0 Jを用いて処理した. 処理方法は以下の通りである. まず、検査対象となる角膜を前方正断面上に投影し正射影を作り、得られた正射影を角膜中心を原点とし、右側および上方を正とするXY平面上にプロットした. 次に、実際の測定点をこの座標系を用いて二次元の座標データとして入力した. その際、角膜厚をその座標データと組にして入力した. グラフのプ

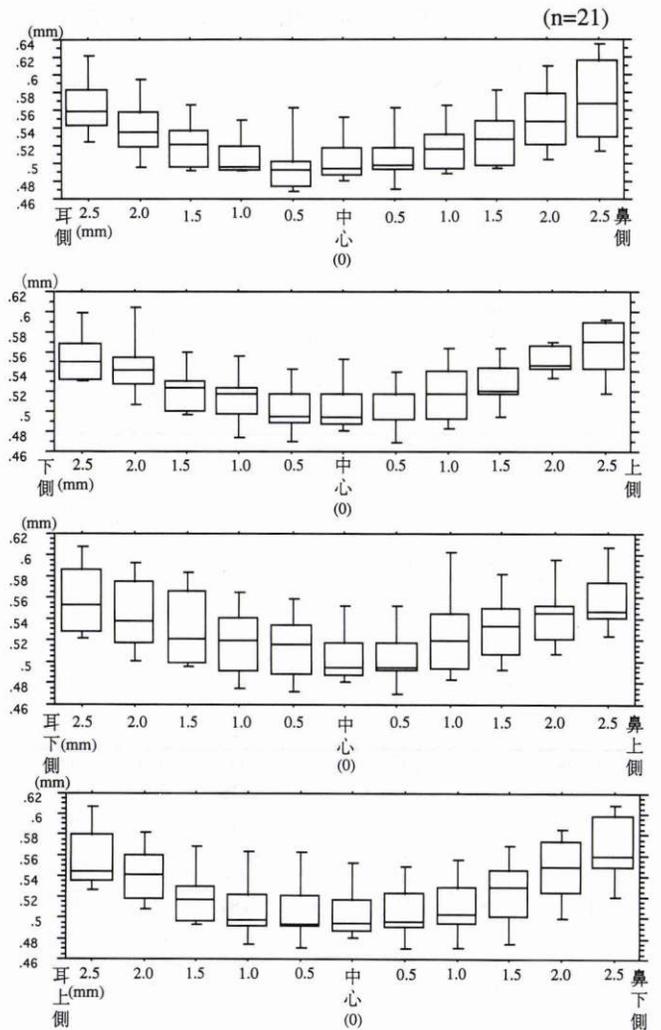


図 2 正常眼(n=21)の平均角膜厚.

ロットには立体XYZ面グラフを使用した. プロット後、グラフメニュー内の立体表示コマンドを用いてXY平面を真上から俯瞰するように視点を設定した. こうして得られたグラフを角膜厚のカラーマッピングとした.

III 結果

1. 角膜厚の測定

図2に、4方向において角膜中心から0.5 mm おきに約40か所で測定した正常眼(n=21)の角膜厚の平均を示した. 中心の角膜厚は $0.504 \pm 0.025$  mm(平均値±標準偏差)であった. 21眼の各測定箇所における角膜厚のばらつきを表す変動係数は最大でも0.085であった.

2. 測定値の再現性

同一被検者、同一検者による再現性を測定日(n=5)を変えて検討すると、すべてのポイントで変動係数は0.05以下であった(表1). また、4人の検者での検者間の再現性では、すべてのポイントで変動係数は0.075以下であった(表2).

3. 角膜厚マッピング

図3は、69歳男性の左眼の角膜厚マッピングで、中心

表1 同一検者,同一被検眼による再現性 (n=5)

	角膜厚の 平均 (mm)	標準偏差	例数	最小値 (mm)	最大値 (mm)	変動係数
耳側	.556	.018	4	.535	.579	.032
	.537	.012	4	.527	.549	.022
	.515	.016	5	.497	.529	.031
	.498	.003	5	.494	.501	.006
	.486	.011	5	.474	.494	.022
中心	.490	.007	5	.483	.499	.014
	.488	.011	5	.469	.493	.022
	.493	.017	5	.470	.517	.034
	.499	.011	5	.493	.518	.022
	.531	.015	4	.517	.546	.028
鼻側	.	.	0	.	.	.
下側	.550	.027	4	.523	.583	.050
	.531	.007	5	.523	.541	.012
	.505	.015	5	.489	.529	.029
	.491	.008	5	.481	.499	.017
	.486	.013	5	.471	.499	.026
中心	.490	.007	5	.483	.499	.014
	.478	.013	5	.469	.493	.027
	.483	.013	5	.469	.493	.026
	.507	.013	5	.493	.517	.025
	.542	.016	5	.520	.564	.029
上側	.547	.	1	.547	.547	.
耳下側	.544	.013	2	.535	.553	.023
	.537	.020	4	.519	.564	.037
	.535	.015	5	.516	.552	.028
	.509	.020	5	.486	.532	.039
	.492	.016	5	.476	.510	.033
中心	.490	.007	5	.483	.499	.014
	.495	.017	5	.470	.517	.034
	.493	.017	5	.469	.517	.034
	.488	.020	5	.469	.516	.040
	.504	.013	4	.493	.516	.026
鼻上側	.537	.011	4	.520	.544	.021
耳上側	.560	.023	2	.544	.577	.042
	.554	.014	4	.541	.574	.026
	.531	.015	5	.517	.547	.028
	.512	.011	5	.496	.523	.021
	.498	.010	5	.492	.516	.021
中心	.490	.007	5	.483	.499	.014
	.485	.011	5	.470	.493	.022
	.500	.010	5	.493	.516	.020
	.516	.019	5	.494	.541	.036
	.531	.026	5	.497	.560	.049
鼻下側	.553	.006	4	.546	.560	.011

測定日を変えて測定し,4方向において角膜中心から0.5 mm おきに約40か所の角膜厚の平均,標準偏差,例数,角膜厚の最大値,最小値,変動係数を示す。

から半径約0.5 mmの範囲と中心から1時半方向に約1 mm離れた部分に厚みの薄い所がみられた。図4は41歳男性の右眼,図5は左眼の角膜厚マッピングで,右眼では角膜の中心部6時~12時方向と9時方向にT字型に厚みの薄い所がみられた。左眼では,中心から半径1.5 mm以内で1時半~7時半方向に対称的に厚みが増していた。

#### IV 考 按

我々は,正常眼にUBMを使用して角膜の中心部直径

表2 検者間の再現性 (n=4)

	角膜厚の 平均 (mm)	標準偏差	例数	最小値 (mm)	最大値 (mm)	変動係数
耳側	.507	.	1	.507	.507	.
	.514	.029	3	.481	.532	.056
	.496	.029	4	.455	.521	.058
	.463	.012	4	.451	.474	.026
	.454	.011	4	.448	.471	.025
中心	.447	.001	4	.446	.447	.001
	.446	0.000	4	.446	.446	0.000
	.452	.011	4	.446	.469	.025
	.465	.013	4	.446	.473	.028
	.479	.024	4	.448	.499	.049
鼻側	.521	.025	3	.497	.546	.047
下側	.545	.	1	.545	.545	.
	.504	.024	4	.474	.532	.047
	.484	.025	4	.451	.503	.051
	.451	.004	4	.446	.455	.009
	.449	.002	4	.446	.451	.005
中心	.447	.001	4	.446	.447	.001
	.446	.001	4	.446	.447	.001
	.452	.013	4	.446	.471	.028
	.472	.021	4	.448	.499	.044
	.481	.033	4	.450	.527	.068
上側	.523	.027	3	.497	.550	.051
耳下側	.560	.	1	.560	.560	.
	.514	.025	4	.476	.527	.049
	.492	.023	4	.474	.523	.047
	.469	.019	4	.448	.493	.041
	.465	.022	4	.446	.494	.047
中心	.447	.001	4	.446	.447	.001
	.463	.022	4	.446	.493	.048
	.465	.021	4	.447	.493	.046
	.489	.022	4	.470	.517	.044
	.509	.030	4	.474	.544	.059
鼻上側	.523	.022	3	.501	.544	.041
耳上側	.574	.	1	.574	.574	.
	.541	.025	3	.527	.570	.046
	.513	.023	4	.478	.527	.045
	.491	.020	4	.473	.517	.042
	.466	.021	4	.448	.492	.044
中心	.447	.001	4	.446	.447	.001
	.458	.023	4	.446	.493	.051
	.470	.027	4	.446	.496	.058
	.483	.033	4	.446	.523	.068
	.498	.030	4	.470	.527	.060
鼻下側	.518	.038	3	.478	.554	.074

同一被検眼を4人の検者で測定し,4方向において角膜中心から0.5 mm おきに約40か所の角膜厚の平均,標準偏差,例数,角膜厚の最大値,最小値,変動係数を示す。

5 mmの範囲の垂直断面像を得,角膜厚を計測し,コンピューター解析で角膜厚マッピングを行い報告した。マッピングを行うためには,角膜厚の測定とともに正確な位置が必要である。Pachymeter やスペキュラーマイクロスコープは,透明な角膜,中心部においては正確に厚みを測定できるが,正確な位置を知ることができないためマッピングは難しい。超音波法では,混濁した角膜でも角膜厚を測定でき,大まかな位置を知ることができると思われる。しかし,超音波の軸性分解能は,超音波の周波数と波動の間隔と関係があり<sup>5)</sup>,現在臨床で用いられて

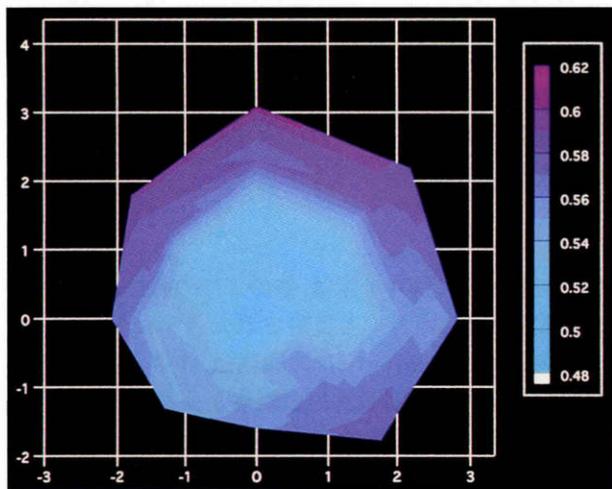


図 3 69 歳男性, 左眼の角膜厚みマッピング。

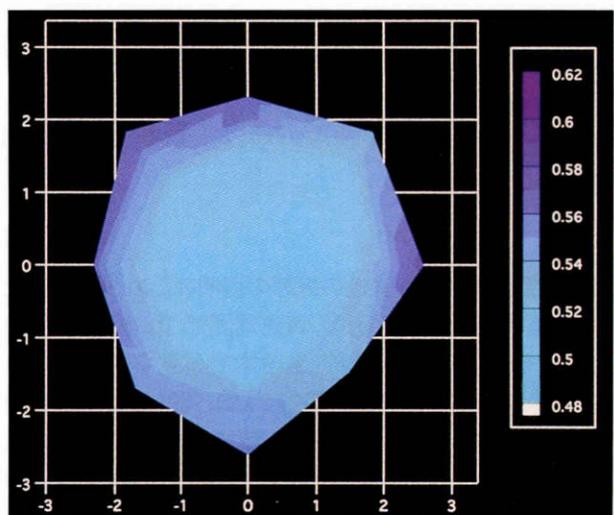


図 5 41 歳男性, 左眼の角膜厚みマッピング。

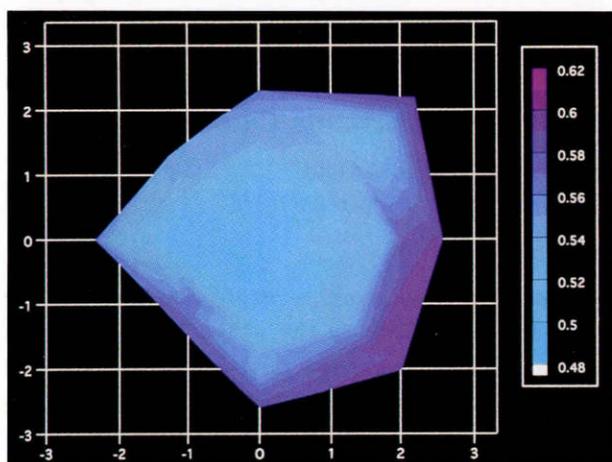


図 4 41 歳男性, 右眼の角膜厚みマッピング。

いる超音波機器の平均周波数 10 MHz の A-B スキャンが組み合わさったスキャナーや 20 MHz の超音波 pachymeter<sup>7)</sup>に比べると, 周波数 50 MHz の UBM には 2.5~5 倍の軸性分解能があることになり, UBM を用いることにより高い精度で角膜厚マッピングを行うことができると思われる。

また, 正常眼 21 眼の平均角膜厚の成績から, 角膜厚に個人差はあるが中心が最も薄く, 周辺に行くほど厚くなるという加藤ら<sup>8)</sup>の報告と同じパターンを示した。変動係数も最大でも 0.085 であり, ある程度の規則性を示すことが考えられた。Tello ら<sup>9)</sup>の報告では, 角膜中心の厚さの変動係数は 0.03 であり, 変動係数 0.1 未満は良い再現性の指標であると述べている。我々の成績では, 角膜中心の厚さの変動係数は 0.01 であり, 周辺でも同一検者による場合, 変動係数 0.05 以下, 検者間の変動係数 0.075 以下と良好な成績を示した。

以上から, 我々の UBM による角膜厚の測定は再現性がよく, 信頼できる方法であると考えられ, このデータにより角膜厚マッピングを行った。今回の角膜厚マッピ

ングの結果から, 角膜厚には個体差があることがわかる。したがって, 屈折矯正手術や病的眼の個々の角膜の状態を把握し, また術後角膜の治癒過程を知る上で, 角膜厚マッピングは有用であると思われる。しかし, 検査時の固視微動, 点眼麻酔, スコピゾールによる影響, 角膜中心の決め方など, 今後さらに研究が必要である。

#### 文 献

- 1) **Mishima S, Hedbys BO**: Measurement of corneal thickness with the Haag-Streit pachometer. Arch Ophthalmol 80: 710-713, 1968.
- 2) **Giasson C, Forthomme D**: Comparison of central corneal thickness measurements between optical and ultrasound pachometers. Optom Vis Sci 69: 236-241, 1992.
- 3) **Wheeler NC, Morantes CM, Kristensen RM, Pettit TH, Lee DA**: Reliability coefficients of three corneal pachymeters. Am J Ophthalmol 113: 645-651, 1992.
- 4) **Olsen T, Ehlers N**: The thickness of the human cornea as determined by a specular method. Acta Ophthalmol 162: 859-871, 1984.
- 5) **Pavlin CJ, Sherar MD, Foster FS**: Subsurface ultrasound microscopic imaging of the intact eye. Ophthalmology 97: 244-250, 1990.
- 6) **Reinstein DZ, Silverman RH, Rondeau MJ, Coleman DJ**: Epithelial and corneal thickness measurements by high-frequency ultrasound digital signal processing. Ophthalmology 101: 140-146, 1994.
- 7) **松田 司, 大迫一人, 堀田昌宏, 須田秩史, 真鍋禮三**: 超音波 pachymeter, Vida-55 の使用経験. 眼紀 33: 209-212, 1982.
- 8) **加藤 整, 林 文彦, 中尾文紀**: DGH-2000 を用いて計測した正常日本人角膜の厚みについて. あたらしい眼科 6: 1037-1040, 1989.
- 9) **Tello C, Liebmann J, Potash SD, Cohen H, Ritch R**: Measurement of ultrasound biomicroscopy images: Intraobserver and interobserver reliability. Invest Ophthalmol Vis Sci 35: 3549-3552, 1994.