

## 極小切開超音波白内障手術における創口温度

常岡 寛<sup>1)</sup>, 柴 琢也<sup>1)</sup>, 高橋 洋子<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>東京慈恵会医科大学眼科学教室, <sup>2)</sup>東急病院眼科

### 要 約

**目 的**：灌流スリーブをはずした超音波チップを用いて、19 ゲージの極小切開創から超音波乳化吸引術を施行した時の創口部温度の変化を検討した。

**方 法**：種々の条件下で超音波を発振させた時の超音波チップの温度上昇をサーモグラフィで観察するとともに、スリーブをはずした 20 ゲージの超音波チップを 19 ゲージの切開創から摘出豚眼に挿入し、サイドポートから灌流しながら閉塞破碎を擬した状態で超音波を発振させた時の創口温度をサーモメータを用いて測定した。

**結 果**：超音波発振時に十分な灌流液がチップの周囲に循環していれば、チップの温度はほとんど上昇しな

かった。20 ゲージのチップでは、切開幅が 1.5 mm あれば創口からの十分な漏出量を得られるため、創口に熱傷を生じることはなかった。

**結 論**：スリーブをはずした 20 ゲージの超音波チップを用いることで、創口に熱傷を起こすことなく、極小切開超音波白内障手術を行うことが可能である。(日眼会誌 105 : 237-243, 2001)

**キーワード**：極小切開超音波白内障手術, サーマルバーン, スリーブレスチップ, 19 ゲージ切開, 創口温度,

## Wound Temperature During Ultrasmall Incision Phacoemulsification

Hiroshi Tsuneoka<sup>1)</sup>, Takuya Shiba<sup>1)</sup> and Yoko Takahashi<sup>2)</sup>

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

<sup>2)</sup>Department of Ophthalmology, Tokyu Hospital

### Abstract

**Purpose** : We studied the change in wound temperature during phacoemulsification (PEA) through an ultrasmall incision using an ultrasound tip with the infusion sleeve removed.

**Methods** : We observed an increase in the ultrasound tip temperature on thermographs when it was turned on under various conditions. We also measured the wound temperature using a thermometer during the use of ultrasound in PEA by occlusion when a 20 gauge ultrasound tip was inserted without an infusion sleeve into postmortem porcine eyes through a 19 gauge incision and when the infusion cannula was inserted through the side port.

**Results** : The ultrasound tip temperature did not

rise if sufficient infusion liquid was circulated around the tip. When the 20 gauge ultrasound tip was used and the incision width was more than 1.5 mm, there was no thermal burn in the wound.

**Conclusion** : Ultrasmall incision cataract surgery was conducted using a sleeveless ultrasound tip without the occurrence of a thermal burn in or around the incision wound. (J Jpn Ophthalmol Soc 105 : 237-243, 2001)

**Key words** : Ultrasmall incision phacoemulsification, Thermal burn, Sleeveless tip, 19 gauge incision, Wound temperature,

## I 緒 言

超音波白内障手術の進歩と foldable 眼内レンズ (IOL) の登場により、通常の症例に対する白内障 IOL 手術は、3~4 mm の小切開創で行うことが可能となった。最近、我々は創口をさらに小さくするため、切開幅が 2 mm 未

満の極小切開創白内障手術を安全に施行するための研究を行っている。挿入する IOL に関しては、1.5 mm 以下の創口から挿入することが可能なレンズを開発し、現在実用化に向けて検討を行っている。これに対して、1.5 mm 以下の切開創から水晶体を摘出する方法については、エルビウム YAG レーザーを用いる術式が報告<sup>1)</sup>され

別刷請求先：105-6481 東京都港区西新橋 3-25-8 東京慈恵会医科大学眼科学教室 常岡 寛  
(平成 12 年 5 月 22 日受付, 平成 12 年 9 月 19 日改訂受理)

Reprint requests to : Hiroshi Tsuneoka, M. D. Department of Ophthalmology, Jikei University School of Medicine, 3-25-8, Nishishinbashi, Minato-ku, Tokyo 105-6481, Japan

(Received May 22, 2000 and accepted in revised form September 19, 2000)

ているが、この方法では新しい装置と手術手技が必要となる。

超音波チップのスリーブをはずして超音波チップを裸のまま使用することができれば、水晶体摘出のための創口を小さくすることが可能である。1999年の第14回日本眼内レンズ屈折手術学会において、Crozaforonはテフロンコーティングを施した21ゲージのマイクロチップを用いた1mm切開超音波白内障手術の術式を報告している。我々はそこで、19ゲージ、すなわち、幅約1.5mmの極小切開創からスリーブを装着せずに超音波チップを挿入し、灌流をサイドポートから注入して、灌流と乳化吸引を別のポートから行うという、二手法による超音波白内障手術の安全性を検討した。この新しい術式では、スリーブをはずして超音波を発振するため、超音波チップが熱くなり、創口に熱傷が生じるのではないかという懸念がある。特に、最近の超音波乳化吸引手技では閉塞破砕を行う機会が多いため、創口の急激な温度上昇によるサーマルバーンの発生を抑制することは重要である<sup>2)~6)</sup>。そこで今回、閉塞破砕を擬した状態で超音波を発振させた時のスリーブを装着しない超音波チップ(スリーブレスチップ)の発熱と創口温度に関する実験を行ったので、その結果を報告する。

## II 実験方法

実験には、超音波乳化吸引装置としてアルコン社レガシー20000<sup>®</sup>を用い、超音波チップとしてはテフロン加工が施されていない通常の20ゲージマイクロチップ(アルコン社)を使用した。また、超音波チップと創口部角膜の温度測定には、サーモグラフとして日本電気三栄(株)高感度放射温度計サーモトレーサー6T62を、サーモメータとして東亜電器TSC-K0.3シース熱電対とチノー社AR5757-F00温度記録計を用いた。

### 1. 実験1 スリーブレスチップの温度測定

1) 灌流用チューブと吸引用チューブを超音波プローブからはずして、灌流量を0ml/min、吸引量を0mmHgに設定し、スリーブレスチップを大気中に置いて、超音波パワーを80%として1分間連続発振させる。

2) 大気中に置いた甘栗にスリーブレスチップの側壁を押し付け、実験1の1)と同じ設定を用いて大気中で超音波を発振させる。

3) 水中に置いた甘栗にスリーブレスチップの側壁を押し付け、実験1の1)と同じ設定を用いて水中で超音波を発振させる。

4) 水を入れたテストチャンバー内に、スリーブレスチップをセットし、実験1の1)と同じ設定を用いて閉鎖されたチャンバー内で超音波を発振させる。

5) 超音波プローブに灌流チューブのみを装着し、ボトルの高さを70cmにセットして灌流し、実験1の4)のテストチャンバーに適度な大きさの穴を開けて、灌流

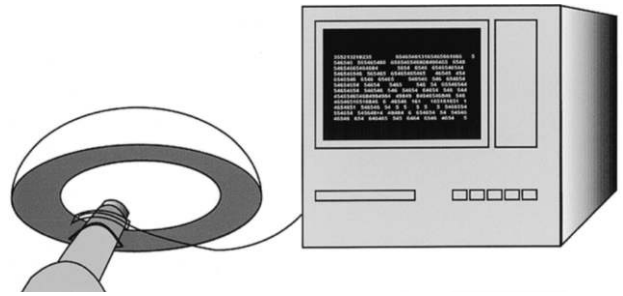


図1 創口温度の測定法。

創口上部の角膜実質に熱電対電極を挿入し、サーモメータで創口温度を測定した。

液をその穴から漏出させながらチャンバー内で超音波を発振させる。

それぞれの実験における超音波チップの温度変化をビデオサーモグラフで観察するとともに、超音波発振直前、20秒後、40秒後、60秒後の温度をサーモメータの熱電対を用いて各3回計測した。

### 2. 実験2 摘出豚眼創口部角膜の温度測定

3.0mmのスリットナイフまたは19ゲージVランスを用い、摘出豚眼に角膜切開創を作製。20ゲージVランスを用いて、角膜切開創の上部近傍に創口に平行して角膜トンネルを作製し、そこにサーモメータの熱電対電極を挿入して、閉塞破砕時に発生する創口角膜の温度上昇を各3回測定した(図1)。なお、閉塞破砕時の状態に擬するため、レガシー20000<sup>®</sup>の吸引チューブを超音波プローブからはずして接続部に栓をし、吸引を完全に閉塞させた状態に設定して、超音波パワー80%で2分間超音波を連続発振させた。

1) スリーブを装着した20ゲージのケルマンマイクロチップを3.0mmの創口から挿入し、チップを創口壁に押し付けないようにしながら超音波を発振させる。

2) スリーブを装着した20ゲージのケルマンマイクロチップを3.0mmの創口から挿入し、チップを創口壁に押し付けながら超音波を発振させる。

3) スリーブをはずした20ゲージのケルマンマイクロチップを19ゲージ(実際の切開幅約1.5mm)の創口から挿入し、創口壁に押し付けながら超音波を発振させる。角膜サイドポートからの灌流は、18ゲージの注射針では灌流ボトルの高さを70cmに、20ゲージの灌流針では110cmに設定し、いずれも灌流量を52ml/minになるように設定した。

## III 結果

### 1. 実験1の結果(表1)

#### 1) 大気中での超音波発振

時間の経過とともにトランスデューサーの部分は熱くなるが、チップ先端の平均上昇温度は0.7°Cであり、ほとんど温度上昇はなかった(図2A)。

表 1 超音波チップの温度変化

超音波発振時間(秒)	超音波チップの温度				最大上昇温度
	0	20	40	60	
大気中での発振	26.3±0.3	26.5±0.4	27.0±0.8	26.8±0.7	0.7±0.5°C
大気中で甘栗と接触させて発振	26.6±0.2	28.6±0.7	50.0±2.7	63.2±4.2	36.2±4.3
水中で甘栗と接触させて発振	25.1±0.2	25.0±0.3	25.2±0.5	25.5±0.4	0.4±0.4
閉塞したチャンバー内で発振	25.2±0.3	40.5±0.9	65.7±3.4	80.5±4.0	55.3±3.8
チャンバー内の灌流液を漏出させながら発振	25.5±0.4	27.9±1.3	32.7±2.3	34.9±2.2	9.4±1.8

平均温度(°C)±標準偏差

2) 大気中で甘栗にチップを押し付けて超音波を発振  
チップ側壁と甘栗の接触部位では短時間で白煙が上がり、チップの温度は急上昇した。平均上昇温度は 36.6°C であり、甘栗の接触部は黒く焦げてきた(図 2 B)。

3) 水中で甘栗にチップを押し付けて超音波を発振  
1 分間経過しても甘栗に変化は起こらず、チップの平均上昇温度も 0.4°C であり、ほとんど変化しなかった(図 2 C)。

4) 閉塞したテストチャンバー内での超音波発振  
チャンバー内の温度は急上昇し、平均上昇温度は 55.0°C であった(図 2 D)。

5) 灌流液を漏出させたテストチャンバー内での超音波発振  
チャンバー内の温度はあまり上昇せず、平均上昇温度は 9.4°C であった(図 2 E)。

## 2. 実験 2 の結果(表 2)

1) スリーブ付きチップを創口壁に押し付けずに超音波発振

創口部角膜の温度上昇は 7.7°C であり、閉塞破砕の状態でも 2 分間超音波を連続発振してもサーマルバーンは生じなかった(図 3 A)。

2) スリーブ付きチップを創口壁に押し付けて超音波発振

時間の経過とともに創口温度は上昇し、サーマルバーンを生じた。平均上昇温度は 26.3°C であった(図 3 B)。

3) 20 ゲージのスリーブレスチップを 19 ゲージの創口壁に押し付けて超音波発振

平均温度上昇は 8.4°C であり、閉塞破砕の状態でもチップを創口壁に押し付けながら 2 分間超音波を連続発振させても、経過中に創口温度が 40°C を越えることはなく、サーマルバーンの発生もなかった(図 3 C)。

## IV 考 按

超音波チップに装着されるスリーブは、灌流液を眼内に注入させるとともに、超音波チップの発熱による創口部の熱傷を避けるためには必須の装備であると考えられ

ていた。すなわち、チップを通過する音響エネルギーの一部は熱に変換されるため<sup>7)8)</sup>、スリーブを装着せずに創口から超音波チップを挿入して超音波を発振すれば、チップの温度は急上昇し、創口周囲の組織が病理組織学的に著明な変化を生じて<sup>9)</sup>サーマルバーン発生の可能性が高いとの考えから、スリーブレスチップを用いた超音波白内障手術という手技はあまり検討されてこなかった。

最近、Crozaфон は超音波チップにテフロン加工を施して熱伝導を下げるるとともに、創口に冷却した灌流液を絶えず注ぐことによって、スリーブを装着しなくても超音波乳化吸引術を施行することができることを発表した。彼はテフロン加工したチップを用いることにより、1 mm の切開創から白内障を摘出することが可能であるとしている。我々はこのような特殊なチップを用いたり、創口に冷却水を注いだりせずに、現在用いられている超音波チップを利用しても、創口から漏出する灌流液でチップを冷却すれば同様の手術は可能であるとの考えから、今回の実験を行った。

実験 1 の結果から、大気中で超音波を発振させてもチップへの摩擦がなければチップの温度は上昇せず、チップ側壁に摩擦が生じることでチップの温度が上昇することがわかった。また、超音波を水中で発振させる場合、チップ周囲に十分な量の冷却水が循環していれば、チップに摩擦が生じてその温度は上昇しないが、冷却水が少量でしかも循環していなければ、チップの温度は急上昇することが確認された。すなわち、超音波チップの温度を上昇させないためには、チップ側壁の摩擦をできるだけ少なくするとともに、チップ周囲に十分な水を循環させてチップを冷却させることが重要となる。

核を開放破砕している時は、チップの内腔にも外壁にも灌流液が循環しており、チップに摩擦が生じてチップは十分な量の灌流液で冷却されている。しかし、核を閉塞破砕している時には、通常の超音波チップではチップの内腔には灌流液が循環しておらず、チップの外壁を通る灌流液の量は、創口からの漏出液の量と一致するこ

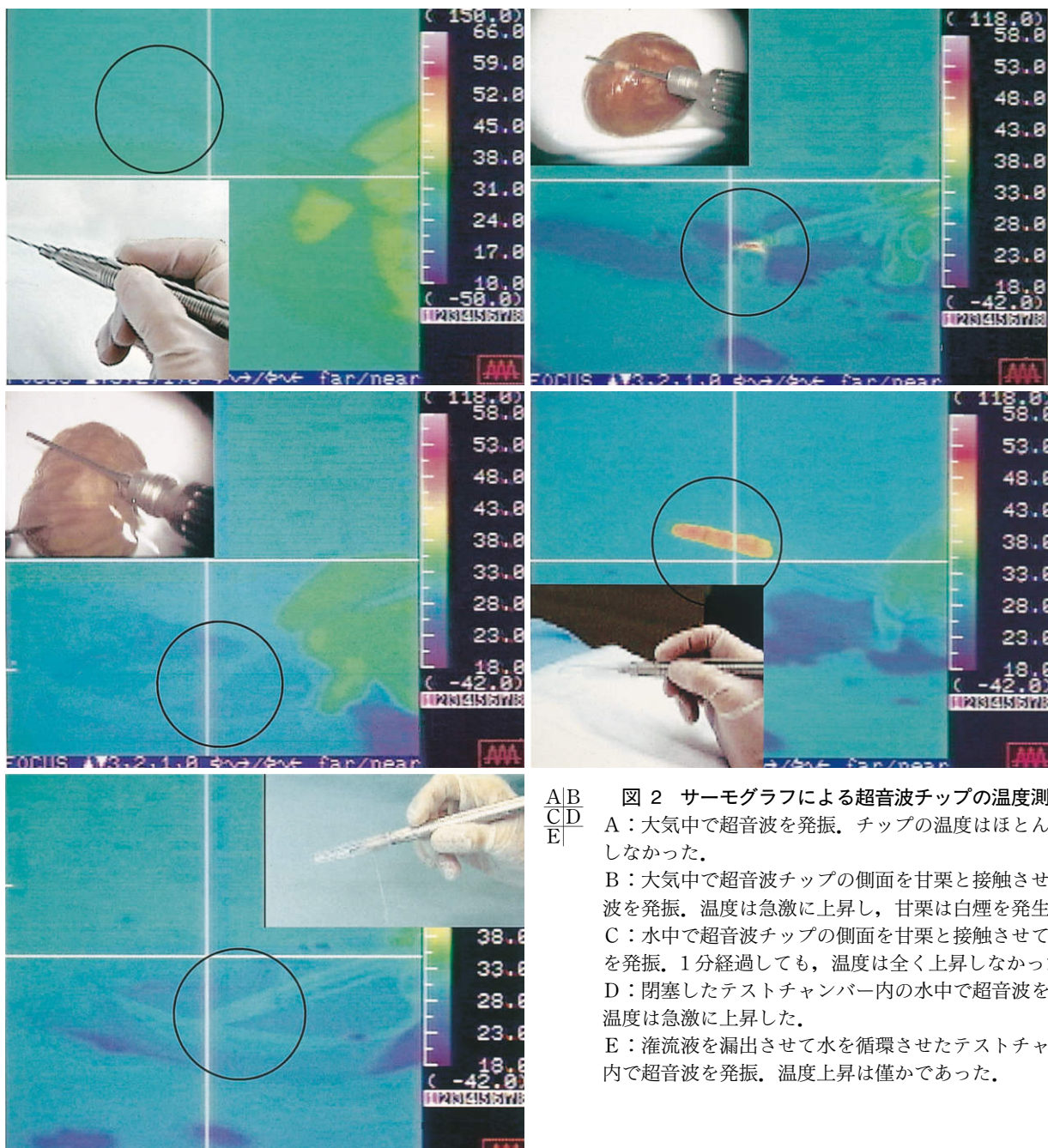


図 2 サーマグラフィによる超音波チップの温度測定。  
 A：大気中で超音波を発振。チップの温度はほとんど上昇しなかった。  
 B：大気中で超音波チップの側面を甘栗と接触させて超音波を発振。温度は急激に上昇し、甘栗は白煙を発生した。  
 C：水中で超音波チップの側面を甘栗と接触させて超音波を発振。1分経過しても、温度は全く上昇しなかった。  
 D：閉塞したテストチャンバー内の水中で超音波を発振。温度は急激に上昇した。  
 E：灌流液を漏出させて水を循環させたテストチャンバー内で超音波を発振。温度上昇は僅かであった。

表 2 摘出豚眼創口部の温度変化

超音波発振時間(秒)	超音波チップの温度							最大上昇温度
	0	20	40	60	80	100	120	
スリーブ付 20 G チップ 3.0 mm 切開創口中央	25.1±0.2	25.2±0.4	30.3±0.3	30.5±0.4	30.7±0.3	31.1±0.3	32.8±0.4	7.7±0.2°C
スリーブ付 20 G チップ 3.0 mm 切開創口壁に押し付け	25.2±0.2	32.6±0.2	41.6±0.4	45.4±1.3	47.4±2.4	51.3±1.8	51.5±2.2	26.3±2.0
スリーブなし 20 G チップ 19 G 切開創口壁に押し付け	25.1±0.2	25.3±0.3	32.4±0.2	32.6±0.2	33.5±0.3	33.3±0.4	33.5±0.6	8.4±0.3

ととなる。図 4 A で示すように、創口内のスリーブは変形するため、幅が 3.0 mm あっても創口から漏出する灌流液の量が少なくなり、チップ周囲を流れる灌流液の量

も少なくなる。このような状況においても、チップを創口に押し付けなければ、チップ側壁の摩擦が少ないため、実験 2 の 1) の結果のごとく温度上昇はそれほど大

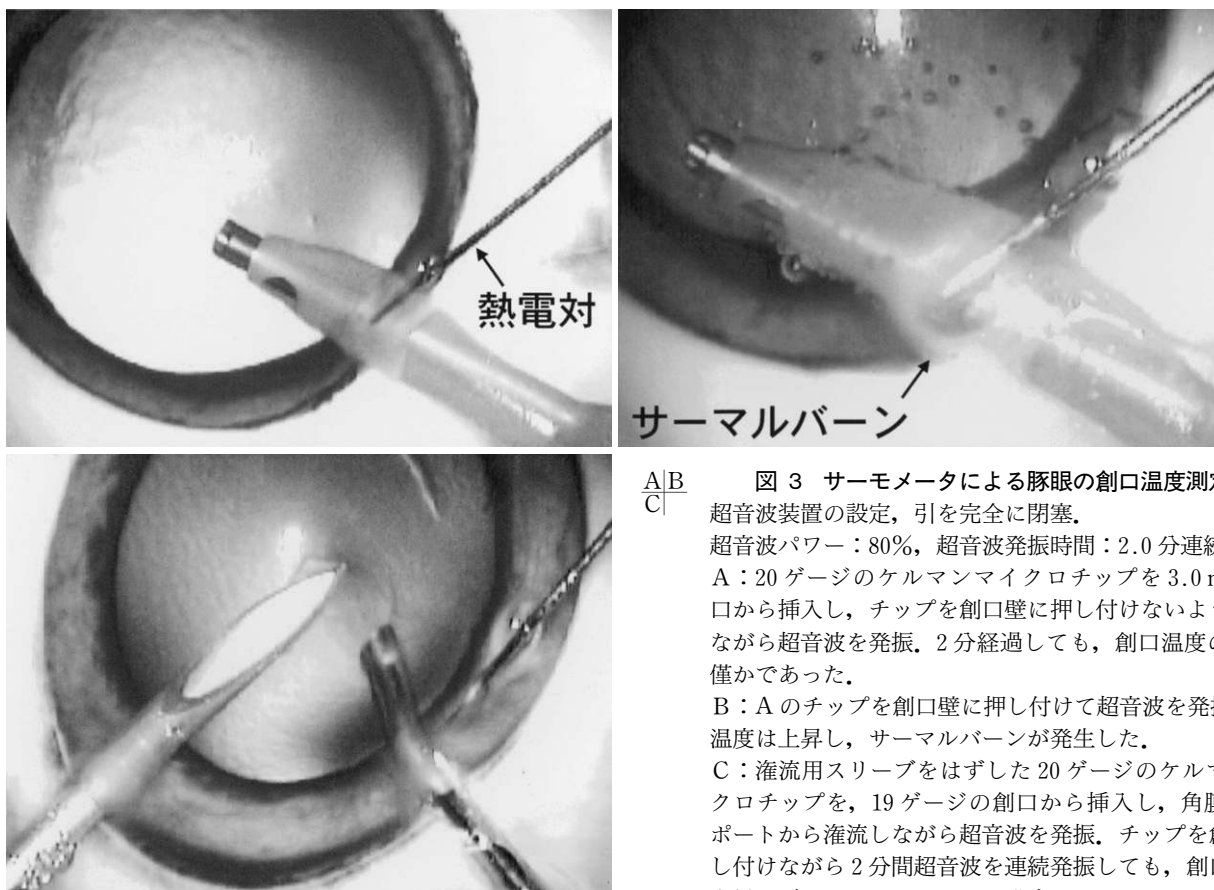


図 3 サーマメータによる豚眼の創口温度測定.

超音波装置の設定, 引を完全に閉塞.  
 超音波パワー: 80%, 超音波発振時間: 2.0 分連続  
 A: 20 ゲージのケルマンマイクロチップを 3.0 mm の創口から挿入し, チップを創口壁に押し付け注意しながら超音波を発振. 2 分経過しても, 創口温度の上昇は僅かであった.  
 B: A のチップを創口壁に押し付けて超音波を発振. 創口温度は上昇し, サーマルバーンが発生した.  
 C: 灌流用スリーブをはずした 20 ゲージのケルマンマイクロチップを, 19 ゲージの創口から挿入し, 角膜サイドポートから灌流しながら超音波を発振. チップを創口に押し付けながら 2 分間超音波を連続発振しても, 創口温度は上昇せず, サーマルバーンは発生しなかった.

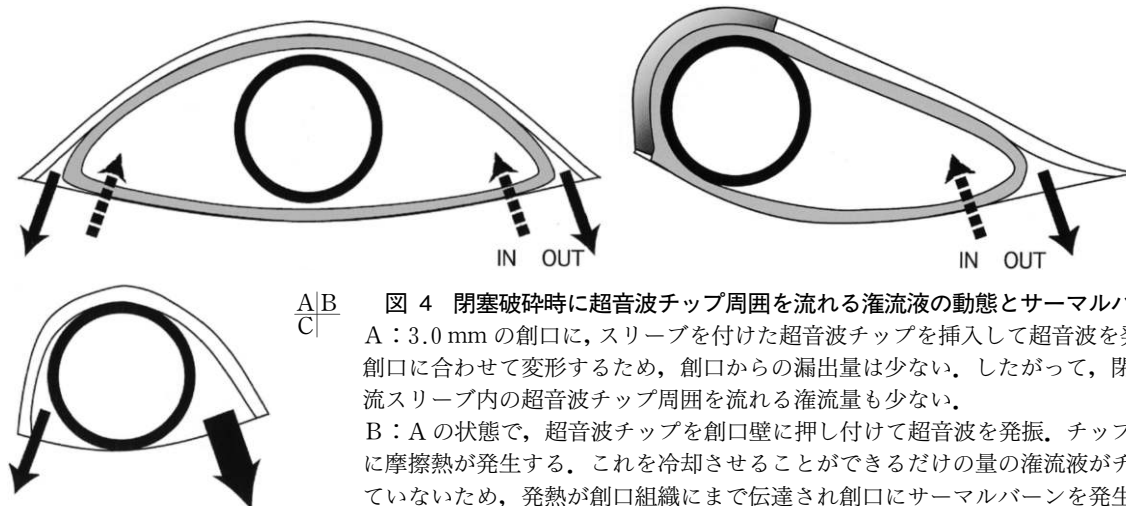


図 4 閉塞破碎時に超音波チップ周囲を流れる灌流液の動態とサーマルバーンの発生.

A: 3.0 mm の創口に, スリーブを付けた超音波チップを挿入して超音波を発振. スリーブが創口に合わせて変形するため, 創口からの漏出量は少ない. したがって, 閉塞破碎時には灌流スリーブ内の超音波チップ周囲を流れる灌流量も少ない.  
 B: A の状態で, 超音波チップを創口壁に押し付けて超音波を発振. チップとスリーブの間に摩擦熱が発生する. これを冷却させることができるだけの量の灌流液がチップ周囲に流れていないため, 発熱が創口組織にまで伝達され創口にサーマルバーンが発生する.  
 C: 19 ゲージの創口に, 20 ゲージのスリーブプレスチップを挿入し, 創口壁に押し付けながら超音波を発振. 超音波チップは変形しないため, 創口との間に空間が生じ, チップと創口との間に生じる摩擦熱を冷却させることができるだけの量の灌流液がチップ周囲を流れる. したがって, 創口にサーマルバーンは発生しない.

きくこととなる. しかし, 閉塞破碎中にチップを創口壁に押し付けると, スリーブとの摩擦熱が発生し, この熱を冷やすのに十分な量の灌流液がチップ周囲に循環していないため, 超音波チップの温度は急激に上昇し, 実験2の2)の結果のようにサーマルバーンが生じる<sup>2)~6)</sup>こととなる(図 4 B).

これに対して, スリーブを装着していない場合には, チップの形は変形しないため, 閉塞破碎によってチップ内腔が閉塞されても創口からの漏出量が多い(図 4 C). したがって, スリーブプレスチップと創口組織の摩擦によって発生する熱は, 漏出する灌流液によって冷却されることとなる. 今回の実験により, 20 ゲージのスリーブ

レスチップに対して創口が19ゲージ(切開幅約1.5 mm)であれば漏出する灌流液によって十分な冷却効果が得られ、閉塞破砕時にチップを創口壁に押し付けても創口温度の上昇は僅かであり、創口の角膜には何の変化も生じないことがわかった。実験1の2)と1の3)で示されたように、大気中では甘栗が焦げてしまうほどの摩擦熱が発生しても、水中ではチップと甘栗が冷却されているため甘栗に何も変化が生じないことから、創口からの適切な漏出量が確保できて創口を冷却できれば、スリーブレスチップが創口を圧迫しても創口の温度上昇は少ないものと推測される。

サーマルバーンが発生しやすい要因として、超音波発振装置の特性、超音波チップとスリーブの摩擦、灌流不全によるチップの冷却不足などが考えられている<sup>10)11)</sup>。特に最近、核の閉塞破砕時にチップの吸引口が閉塞することによって生じる灌流不全<sup>2)~6)</sup>が注目されており、サーマルバーンの予防策として、創口を少し広めにした<sup>り<sup>210)</sup></sup>、超音波チップの側面に穴を設ける<sup>6)</sup>など、閉塞破砕時にもチップ周囲に流れる灌流液を確保する工夫がなされている。スリーブレスチップを用いる場合には、創口周囲組織とチップが直接接触して摩擦を生じることから、閉塞破砕時にチップ周囲に流れる灌流液の量が重要であり、創口が狭すぎると漏出量が減少して冷却効果が不十分となり、短時間でサーマルバーンが生じることとなる。また、漏出量を多くするため創口を広くしすぎると、術中の前房が不安定になることから、チップの外径と創口幅のバランスがポイントであると思われる。しかし、適切な創口幅を選択すれば、創口壁を押し付けながら閉塞破砕をしても、スリーブを装着した時よりもチップが冷却されるため、創口の温度上昇は少ないこととなり、サーマルバーンに関しては、スリーブを装着したチップよりも装着しないチップの方が発生しにくいということになる。

チップにテフロンコーティング加工をしたり、創口に冷却水をかけたりしなくても、20ゲージの超音波チップであれば切開創をチップの口径より一回り大きい19ゲージにすることで、スリーブを装着しなくても創口にサーマルバーンを発生させることなしに核を乳化吸引することが可能であるという本実験結果をもとに、1999年10月から人眼での19ゲージ切開超音波白内障手術を施行している。19ゲージの創口から20ゲージまたは21ゲージのスリーブレスマイクロチップを挿入し、19ゲージのサイドポートから試作した20ゲージのフック付き灌流針を挿入して通常の超音波白内障手術と同様に、二手核分割法で核を乳化吸引するという方法(図5)である。2000年4月現在までに130例の症例に対して行っており、エメリー・リトル分類4以上の硬い核を7例経験したが、いずれの症例においてもサーマルバーンを生じることとはなく容易に自己閉鎖した。

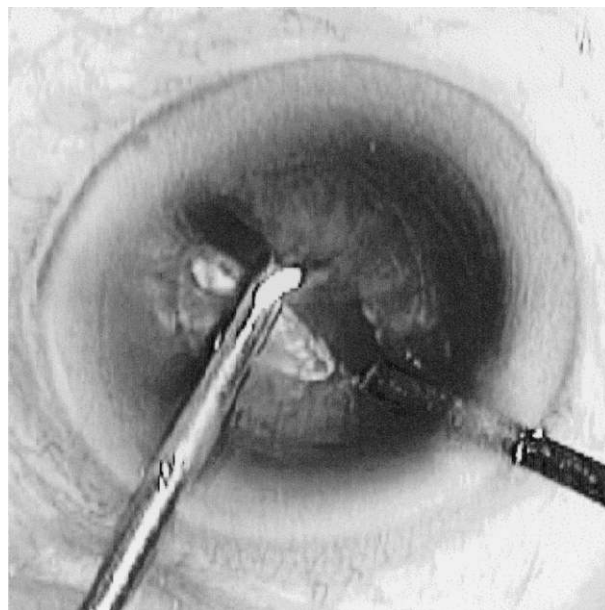


図5 人眼での極小切開白内障手術の実際。

19ゲージの角膜切開創を10時と1時の位置に作製し、一方から20ゲージのスリーブレスマイクロチップを挿入、他方から20ゲージのフック付き灌流針を挿入して、二手核分割法で核を処理する。硬い核を乳化吸引しても、創口にサーマルバーンは発生しない。

今後、本術式をより安全なものとするためには、前房の安定性と適切な灌流量の確保をめざして、各超音波チップの外径に適した創口の大きさを検討する必要があると思われる。また、本術式がさらに有用なものとなるためにも、極小切開創から挿入可能な眼内レンズの早期実用化が切望される。

## 文 献

- 1) Neubaum C, Stevens G: Erbium: YAG laser cataract removal: Role of fiber-optic delivery system. J Cataract Refract Surg 25: 514-520, 1999.
- 2) 永原 幸, 清水公也: 超音波水晶体乳化吸引術における創口の角膜実質内の温度変化. 眼紀 45: 123-132, 1994.
- 3) 山上 聡: 超音波水晶体乳化吸引時の創口部温度の検討. 眼紀 47: 189-191, 1996.
- 4) Bissen-Miyajima H, Shimmura S, Tsubota K: Thermal effect on corneal incisions with different phacoemulsification ultrasonic tips. J Cataract Refract Surg 25: 60-64, 1999.
- 5) Mackool RJ: Preventing incision burn during phacoemulsification. J Cataract Refract Surg 20: 367-368, 2000.
- 6) 宮井尊史, 永原 幸: Aspiration Bypass System (TM)による創口熱傷の予防効果. 眼科手術 13: 470-472, 2000.
- 7) 徳田芳治: 超音波白内障手術装置の基礎知識. あたらしい眼科 9: 1979-1986, 1992.

- 8) **Davis P** : Phaco transducers—Basic principle and corneal thermal injury. *Eur J Implant Ref Surg* 5 : 109, 1993.
  - 9) 三木恵美子, 宮島弘子, 永本敏之 : 超音波チップ温度による強角膜層の組織変化. *あたらしい眼科* 9 : 75—77, 1992.
  - 10) 永原 幸 : 熱傷の原因, 予防と対処法. 上野聰樹, 他(編) : 難症白内障への PEA-IOL 手術. 金原出版, 東京, 152—156, 1998.
  - 11) **Cionni R, Osher R** : Thermal burn. In : Steinert RF (Ed) : *Cataract Surgery—Technique, Complications & Management*. WB Saunders, Philadelphia, 335, 1995.
-