

新しい血腫吸引除去装置（Stereotactic Aqua-stream and Aspirator）の実験的検討－その血腫除去能力および安全性について－

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード: stereotactic instrument hypertensive intracerebral hematoma Stereotactic Aqua-stream and Aspirator (SAS&A) water-jet knife hematoma model 作成者: 向井, 裕修 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/8182

新しい血腫吸引除去装置 (Stereotactic Aqua-stream and Aspirator) の実験的検討

—その血腫除去能力および安全性について—

金沢大学医学部脳神経外科学講座 (主任: 山下純宏教授)

向 井 裕 修

(平成2年1月30日受付)

定位的脳内血腫除去術のために、新しい装置 (Stereotactic Aqua-stream and Aspirator, SAS&A) を開発した。この装置はこれまでの吸引のみでは除去し得ない硬い血腫を、高速水噴流の破壊力により容易に粉碎、吸引、除去することができる。本研究では実験的に SAS&A の血腫除去能力と、安全性について検討することを目的とした。試験管内血腫モデルを用いて、SAS&A の血腫除去能力を決定すると考えられる吸引の陰圧と高速水噴流の圧の至適条件を検討し、吸引のみの場合と比較した。至適吸引圧は 100~200mmHg、噴流圧は 10~20kg/cm² であり、この条件内では 20ml の血腫の98%を除去するのに30秒から5分を必要とした。これらの圧が高いほど血腫除去能力が高い結果を得た。また SAS&A の血腫除去能力は同じ吸引圧での吸引のみの場合に比べ有意に優れていた。次にゼラチン塊の中に 40ml の血腫を作成し、頭蓋内圧を考慮しそれを水中に沈めることにより 20cmH₂O の圧を加え脳内血腫モデルを作成した。上記の至適圧条件により血腫除去を行った。SAS&A は5分間に70~84.2%の血腫を除去し、吸引のみに比べ有意に高い血腫除去率を示した。安全性を確かめるためにイヌの脳内で SAS&A を作動させ、吸引除去されてくる脳実質の定量、および作用断面組織の観察を行った。至適条件下で吸引除去される脳実質の重量は 0.02mg/min 未満とわずかであった。組織学的に SAS&A の作用による組織の損傷は作用断面から 2mm 以内であった。以上より SAS&A により硬い血腫も除去可能で、実際の血腫除去術では上記の至適条件の範囲でまず低い圧より開始するのが適当と考えられる。また正常脳組織の損傷が少なく再出血の危険性が低い。よって SAS&A は発症早期の硬い高血圧性脳内出血に対し定位的脳内血腫除去術を、安全かつ完全に行う上で極めて有用な装置と考えられる。

Key words stereotactic instrument, hypertensive intracerebral hematoma, Stereotactic Aqua-stream and Aspirator (SAS&A), water-jet knife, hematoma model

高血圧性脳内出血に対する定位的脳内血腫除去術は、コンピューター断層撮影法 (computed tomography, CT) の普及、および CT 誘導定位脳装置の開発により広く行われるようになった¹⁰⁾。その適応は臨床症状、年齢、危険因子の有無、血腫の部位、大きさ、発症後の期間などにより決定される²⁻⁹⁾。本法は開頭

術¹¹⁾に比べ脳組織に対する損傷が少なく、局所麻酔下においても行いうるため手術侵襲が小さいという利点がある。しかし従来の吸引のみに頼る方法では急性期の硬い血腫においては、プローベの先端が閉塞し十分な血腫除去が困難であった。また非直視下手術のため止血が困難で、再出血しやすい急性期には危険性が高

CT, computed tomography; SAS&A, Stereotactic Aqua-stream and Aspirator

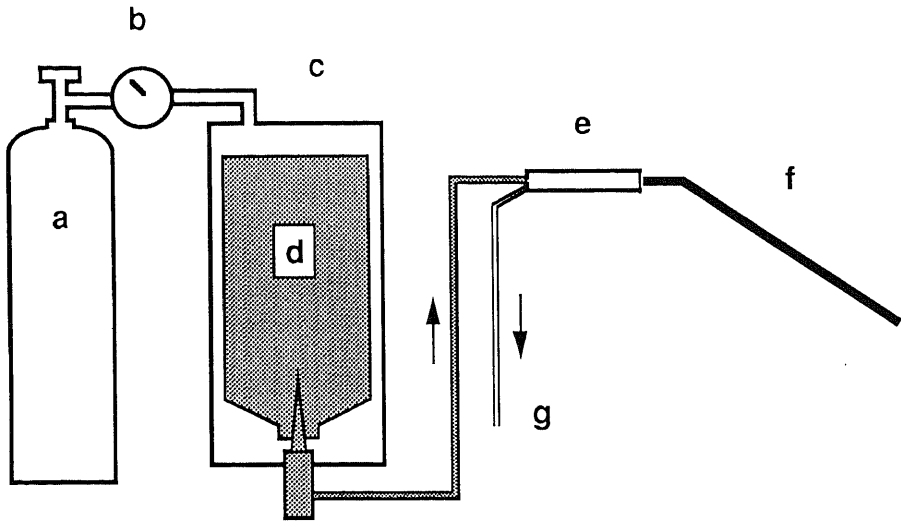


Fig. 1. Diagram of the SAS&A. a, a pressured tank ; b, a pressure regulator ; c, a cylinder ; d, a soft bottle of saline solution ; e, a hand-piece ; f, a probe ; g, suction.

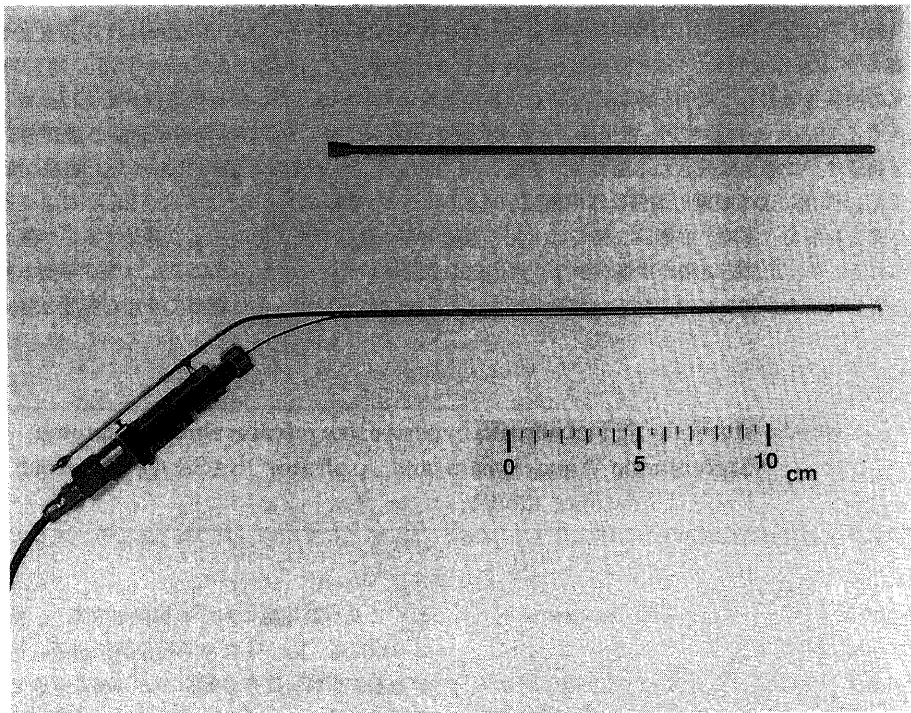


Fig. 2. Photograph of outer tube (above) and a hand-piece (below) with inner tube. The outer tube is 4mm in outer diameter and 20cm in length. An oval window opens on the ventral side wall at the tip of the outer tube. The inner tube is composed of a irrigation tube and a suction tube. An on-off switch which controls the stream of water jet is attached to the hand-piece.

いという問題点をかかえていた。よってこれまでは血腫が流動化する発症10日目以後に施行されることが多かった¹²⁻¹⁴。しかし CT による血腫の経時的な観察¹⁵⁻²¹、あるいは動物実験¹⁸⁾¹⁹⁾²²⁾²³により、血腫による脳組織の二次的な損傷が重大であることが判明し発症後早期に、より完全に血腫除去を行う重要性が報告されてきている²²⁰。よって急性期脳内血腫に対して再出血を起こさず安全に、しかも完全に硬い血腫を除去す

る方法が求められるようになった。

われわれはその条件を満たすべく、高速水噴流を利用し凝血塊を粉碎、吸引、除去する装置 (Stereotactic Aqua-stream and Aspirator, SAS&A) を開発した。

本研究では SAS&A の血腫除去能力、および安全性につき実験的に検討した。

対象および方法

I. SAS&A の原理

SAS&A の本体 (図 1) はガスポンペ、圧調節弁、加圧室、ハンドピース、および吸引器から構成されている。ガスポンペには市販の 150kg/cm² の酸素ポンペを使用する。高圧酸素は圧調節弁により 0~20kg/cm² に調節され、耐圧性ガス連結管を経て加圧室に導かれる。加圧室内には滅菌生理食塩水を満たした 1000ml のソフトボトルが挿入されており、高圧酸素により加圧される。加圧された生理食塩水は、ソフトボトルの下部の連結針、および消毒した耐圧管を経てハンドピースに導かれる。ハンドピースは水流の制御スイッチ、およびプローベから構成されており、プローベは内針と外筒からなる (図 2)。外筒は外径 4mm、先端は盲端でその近くの腹側に 2×4mm の側孔が穿たれている。内針は内径 0.1mm の水流管と外径 2mm の吸引管を並列に組み合わせてある (図 3)。上述の加圧された生理食塩水はこの水流管の先端より噴射され、吸引管の先端の水受けに衝突し、外筒の外には直接飛び出さない。吸引は吸引装置の陰圧を 50~500mmHg に調節して利用する。高速水噴流はハンドピースの制御スイッチにより断続的に噴射し、吸引は持続的に行う。吸引系に 200ml のメスシリンダーをトラップとして置き、吸引されてくる流出液の量と性状を観察する。流出液が透明となるまでこの操作を続ける。

SAS&A の特徴として次の点が挙げられる。1. 消毒の必要な部分は連結針、耐圧管、ハンドピースのみである、2. 生理食塩水はソフトボトルにより完全に密閉されるので術中の汚染の心配が無い、3. 調節弁で調節された酸素が加圧室内でソフトボトルを加圧するので圧が一定で、高速水噴流の圧を定常に維持できる、4. 構造が簡単で故障が少ない。

SAS&A はプローベの把持装置により Leksell 式、Patil 式、杉田式、および駒井式¹⁹⁾など何れの CT 用定位脳装置にも組み合わせて使用可能である。

II. 噴射水量、吸引水量の測定

1. 噴射水量

プローベ先端をメスシリンダーの中に置き、吸引を

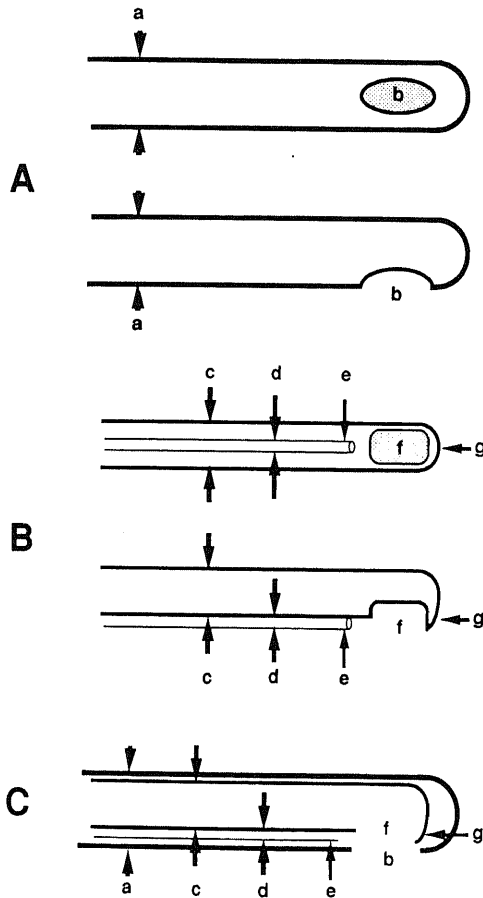


Fig. 3. Schematic diagrams of the tip of the probe. A, dorsoventral view (above) and lateral view (below) of the outer tube; B, dorsoventral view (above) and lateral view (below) of the inner tube; C, a longitudinal section of the tip of the probe. a, outer tube of 4mm in outer diameter; b, the side window (2×4mm); c, suction tube of 2mm in outer diameter; d, irrigation tube of 0.1mm in inner diameter; e, nozzle of irrigation tube; f, entrance to suction tube; g, saucer for water jet.

作用させずに高速水噴流を噴射し、1分間に噴射される生理食塩水の量を測定した。

2. 吸引水量

プローベ先端をピーカーの生理食塩水に浸し、高速水噴流を噴射させずに吸引のみ作用させ、1分間にトラップに貯留した生理食塩水の量を測定した。

III. SAS&A の血腫除去能力の検討

1. 試験管内血腫モデル

血腫除去に適した吸引圧および高速水噴流の圧を検討することを目的とした。試験管内に人保存血 20ml とトロンビン末(ミドリ十字, 大阪) 100単位を加え血腫を作成した。血腫内で SAS&A を作用させ、15秒、30秒、1分、2分、5分後の血腫除去率を測定した。途中で吸引管が閉塞してもそのまま操作を続けた。比較のため水圧 $0\text{kg}/\text{cm}^2$ すなわち吸引のみの群を設けた。

1) 頭蓋内圧を考慮し、血腫に $20\text{cmH}_2\text{O}$ の圧がかかるように錘を重畳した(図4)。吸引圧 100mmHg 、水圧 $0\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ の条件にて SAS&A を作用させた。

2) 同じく錘を重畳した血腫内で、吸引圧 200mmHg 、水圧 $0\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ の条件にて SAS&A を作用させた。

3) 錘を重畳せずに吸引圧 100mmHg 、水圧 $0\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ の条件にて SAS&A を作用させた。

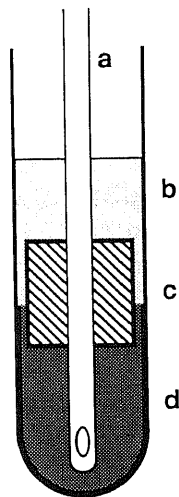


Fig. 4. Hematoma model in a test tube. a, the probe of SAS&A; b, serum; c, a weight; d, clot.

4) 同じく錘を重畳せずに吸引圧 200mmHg 、水圧 $0\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ の条件にて SAS&A を作用させた。

何れの群も5検体測定し、その平均値を求めた。

2. ゼラチン内血腫モデル

ゼラチン内に血腫を作成しその中心にて SAS&A を作用させ、血腫除去能力を検討した。ゼラチン末(和光, 大阪)を水と混合し熱を加えることにより7%の溶解液とした。その溶解液 500ml をピーカーに注ぎその中心に水で 40ml に膨らましたバルーンカテを留置した。それを一晩冷蔵庫内に冷却し凝固させ、その後バルーンを縮小、抜去した。中心部の 40ml の球形の空洞に人保存血 40ml とトロンビン末 200 単位を加え血腫を作成した。頭蓋内圧を考慮し、この血腫を含むゼラチン塊を水槽内に沈め血腫の中心を水深 20cm とした。これを脳内血腫モデルとした(図5)。SAS&A の条件すなわち水圧、および吸引圧をそれぞれ、

- 1) $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 200mmHg
- 2) $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 100mmHg
- 3) $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 200mmHg
- 4) $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 100mmHg
- 5) $0\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 200mmHg
- 6) $0\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 100mmHg とした。

血腫の中心にて5分間血腫除去を行い、同一条件にて5回除去率を測定した。途中吸引管が閉塞した場合に

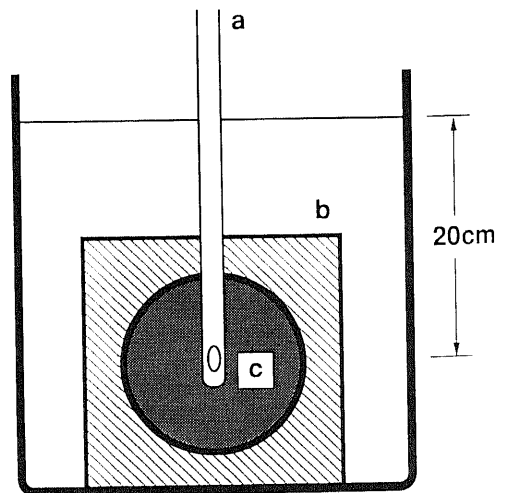


Fig. 5. Hematoma model in gelatin. a, the probe of SAS&A; b, a lump of gelatin; c, hematoma. The lump of gelatin was sunk 20cm deep into water.

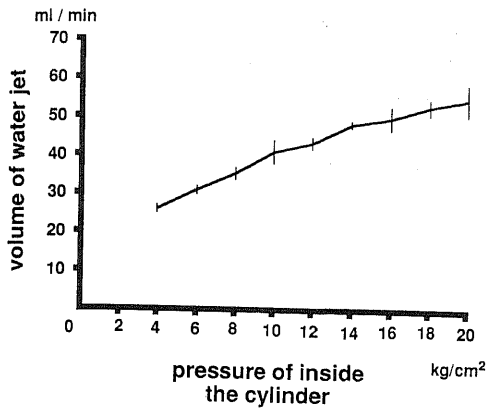


Fig. 6. The correlation between volume of water jet and pressure of inside the cylinder in Fig. 1. Values are expressed as the mean \pm standard deviation.

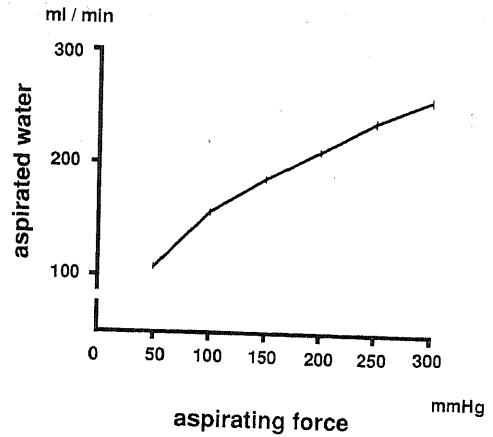


Fig. 7. The correlation between volume of aspirated water and aspirating force. Values are expressed as the mean \pm standard deviation.

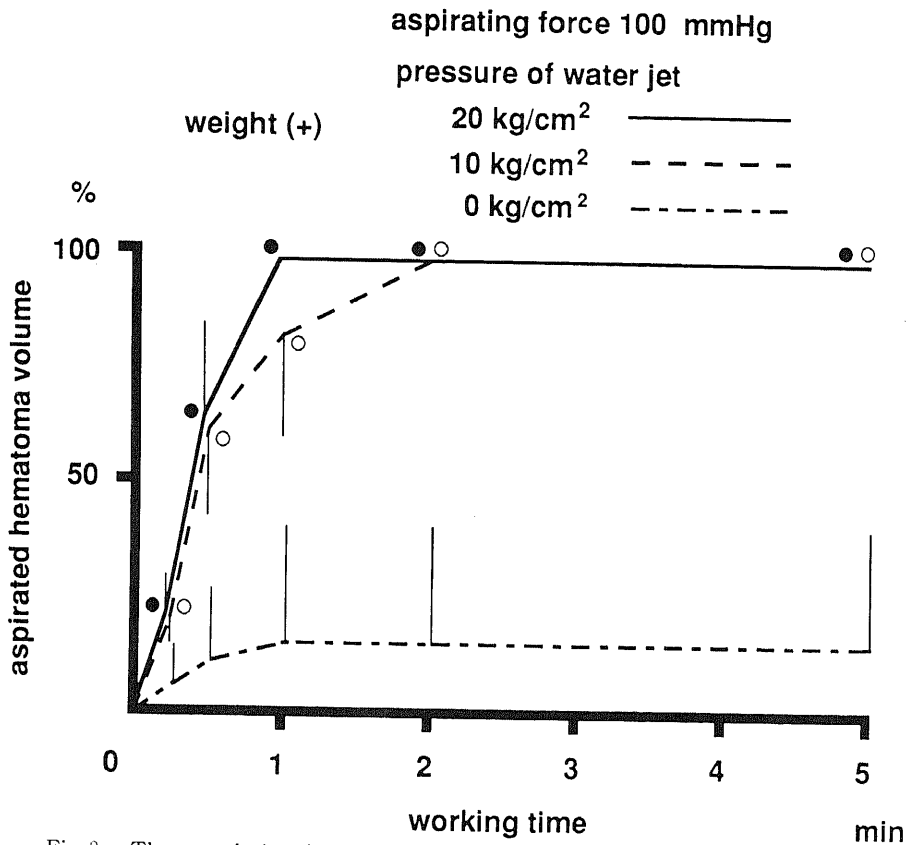


Fig. 8. The correlation between working time and percentages of aspirated hematoma in a test tube with a weight. Aspirating force is 100mmHg. Values are expressed as the mean \pm standard deviation. ●, significantly different ($p < 0.05$) from group of 0kg/cm²; ○, significantly different ($p < 0.05$) from group of 0kg/cm² by two way ANOVA followed by Scheffé's multiple comparison.

はプローベを一旦抜去し、閉塞を解除し再び血腫除去を行ったが、時間はそれらの操作も含めて5分間とした。

IV. SAS&A の安全性の検討

体重8~10kgの雑種イヌを使用した。塩酸ケタミン5mg/kgの筋注、およびチオペンタールナトリウム15mg/kgの静注による麻酔下に気管切開を行い、気管チューブを挿入した。股静脈を確保し、パンクロニウムブロマイド0.1mg/kg/hrの持続点滴により非動化し、人工呼吸器TW-100AS(Shinpo, 京都)に接続し調節呼吸とした。頭部を東大脳研式定位脳手術装置に固定した。実験中には乳酸リンゲル液を5ml/kg/hrの速度で点滴静注し、手術中の麻酔維持にはチオペンタールナトリウム2.5mg/kgを約1時間毎に静注した。1%リドカインにて局所麻酔後、頭頂部矢状

方向に線状切開、両側側頭筋を剝離し頭蓋骨を露出した。両側頭頂部に骨孔を穿ち、硬膜、クモ膜、軟膜を切開し脳表に達した。定位脳手術装置に固定したSAS&Aのプローベを脳内に挿入し、2分間作動させた。条件は吸引圧を100mmHg, 200mmHg, 300mmHg, 400mmHg, 500mmHgとし、それぞれ水圧を0kg/cm², 10kg/cm², 20kg/cm²とした。

1. 吸引系にトラップを置き、吸引除去されてくる脳実質の重量を定量した。

2. 操作終了後KClの静注によりイヌを屠殺したのち脳を取り出し、SAS&Aの作動部位の標本を採取した。10%ホルマリンにて固定し、HE染色を行い作用断面組織を観察した。

V. 統計学的検討

測定値はいずれも平均値±標準偏差として表わし

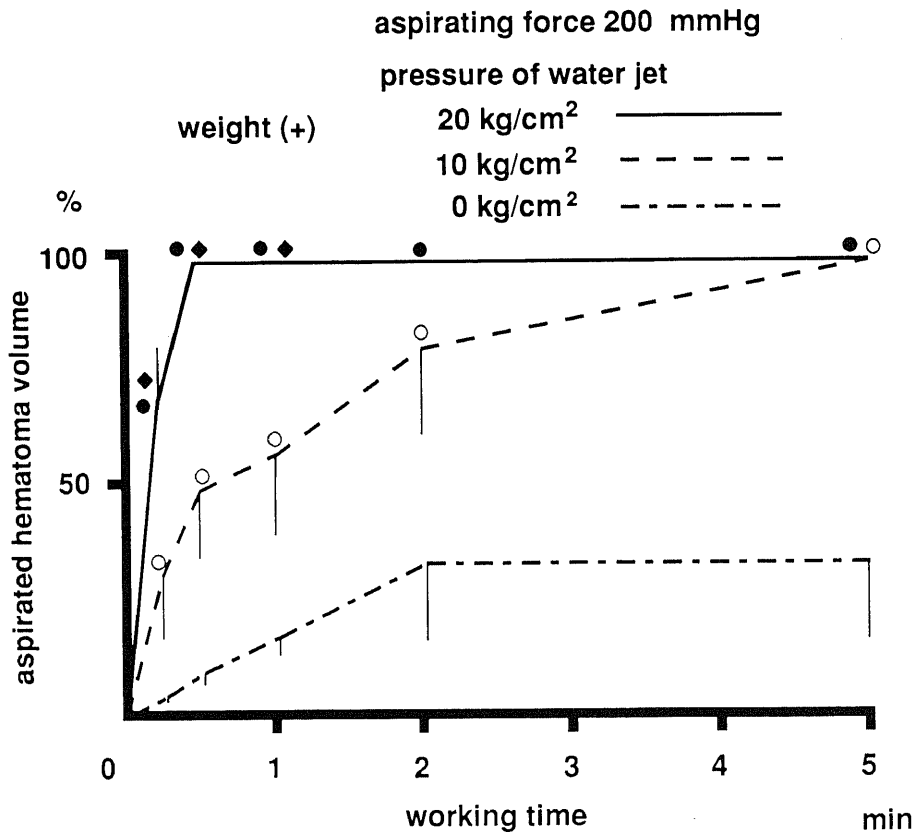


Fig. 9. The correlation between working time and percentages of aspirated hematoma in a test tube with a weight. Aspirating force is 200mmHg. Values are expressed as the mean \pm standard deviation. ●, significantly different ($p < 0.05$) from group of 0kg/cm²; ◆, significantly different ($p < 0.05$) from group of 10kg/cm²; ○, significantly different ($p < 0.05$) from group of 0kg/cm² by two way ANOVA followed by Scheffé's multiple comparison.

た. 各群間の平均値の差の検定には 1 元配置, または 2 元配置分散分析後, Scheffé の多重比較を行い, $p < 0.05$ を有意とした.

成 績

I. SAS&A の噴射水量, 吸引水量

1. 噴射水量

図 6 は高速水噴流の圧と, 1 分間あたり噴射される生理食塩水の量の関係を示したものである. 圧が高くなるにつれて噴射水量は増加し, 圧が 4 kg/cm^2 から 20 kg/cm^2 の条件にて平均 25 ml から 55 ml であった.

2. 吸引水量

図 7 は吸引の陰圧と 1 分間あたり吸引される生理食塩水の量の関係を示したものである. 陰圧が 50 mmHg から 300 mmHg の条件にて吸引される水量は平均

110 ml から 260 ml であった.

II. SAS&A の血腫除去能力の検討

1. 試験管内血腫モデル

1) 吸引圧 100 mmHg , 加圧 $20 \text{ cmH}_2\text{O}$ の場合

図 8 は血腫に $20 \text{ cmH}_2\text{O}$ の圧を加えつつ, 吸引圧 100 mmHg で, 水圧が 0 kg/cm^2 , 10 kg/cm^2 , 20 kg/cm^2 にて血腫除去を行った場合の時間と血腫除去率の関係を示したものである. 吸引のみの場合は作動開始後 1 分間にて 5 検体全てにおいて吸引管が閉塞した. そのまま操作を続けたがそれ以上の吸引は認めなかった. 5 分後の最終的な血腫除去率は平均 15% であった. それに対し SAS&A は吸引管の閉塞を認めず, 水圧が 10 kg/cm^2 の条件で 2 分後, 水圧が 20 kg/cm^2 の条件で 1 分後に血腫の 98% が除去された. 各時間における値は吸引のみの群と SAS&A の水圧 10 kg/cm^2 ,

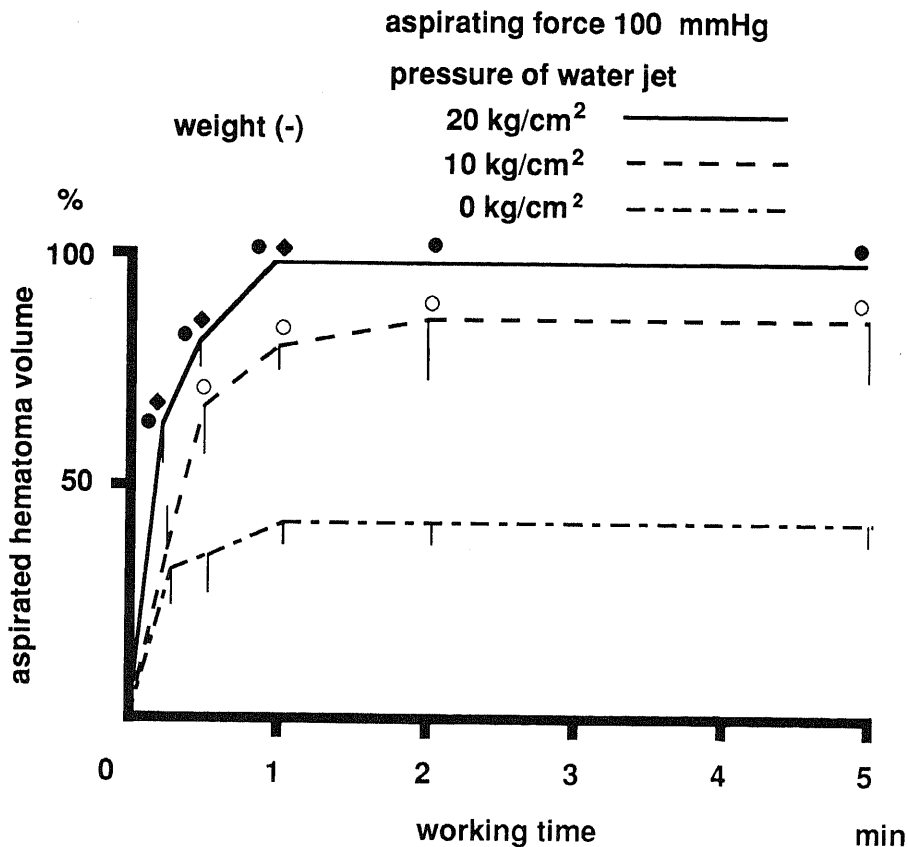


Fig.10. The correlation between working time and percentages of aspirated hematoma in a test tube without a weight. Aspirating force is 100 mmHg . Values are expressed as the mean \pm standard deviation. ●, significantly different ($p < 0.05$) from group of 0 kg/cm^2 ; ◆, significantly different ($p < 0.05$) from group of 10 kg/cm^2 ; ○, significantly different ($p < 0.05$) from group of 0 kg/cm^2 by two way ANOVA followed by Scheffé's multiple comparison.

20kg/cm²の群間に有意差を認めた。SAS&Aの水圧が10kg/cm²の群と20kg/cm²の群間には有意差を認めなかった。

2) 吸引圧 200mmHg, 加圧 20cmH₂O の場合

図9は吸引圧 200mmHg で、同じく血腫に20cmH₂Oの圧を加えつつ、水圧が0 kg/cm², 10kg/cm², 20kg/cm²にて血腫除去を行った場合の時間と血腫除去率の関係を示したものである。吸引のみの場合は作動開始後2分間にて5検体全てにおいて吸引管が閉塞した。そのまま操作を続けたがそれ以上の吸引は認めなかった。最終的には平均32%の血腫除去率であった。それに対し SAS&A は吸引管の閉塞を認めず、水圧が10kg/cm²の条件で5分後、水圧が20kg/cm²の条件で30秒後に血腫の98%が除去された。各時間における値は吸引のみの群と SAS&A の水圧

10kg/cm²の群間、水圧 20kg/cm²の群間に有意差を認めた。また SAS&A の水圧が10kg/cm²と20kg/cm²の群間においても1分までは後者が有意に血腫除去率は高かった。

3) 加圧下における吸引圧 100mmHg と 200mmHg との比較

吸引圧が100mmHgの群と、200mmHgの群を比較すると、吸引のみ、水圧10kg/cm²の場合には有意差を認めなかった。水圧20kg/cm²の場合、作動開始後30秒まで後者が有意に高い血腫除去率を認めた。

4) 吸引圧 100mmHg で加圧しない場合

図10は吸引圧 100mmHg で、血腫に圧を加えずに、水圧が0 kg/cm², 10kg/cm², 20kg/cm²にて血腫除去を行った場合の時間と血腫除去率の関係を示したものである。吸引のみの場合は作動開始後1分間にて5検

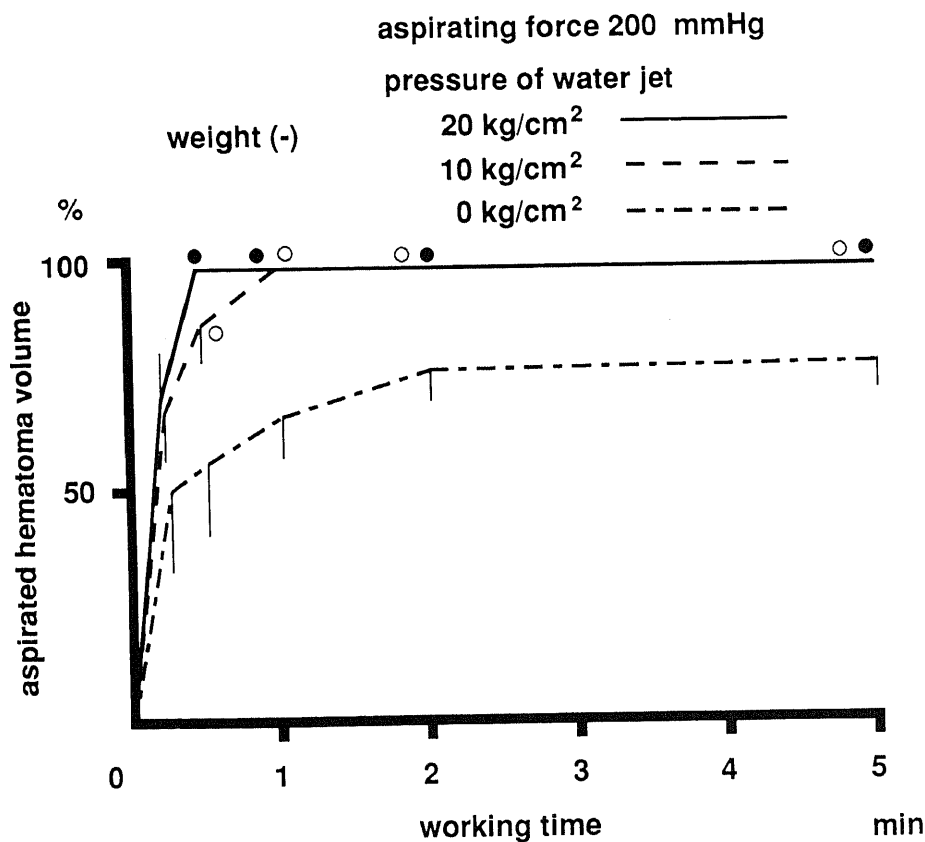


Fig.11. The correlation between working time and percentages of aspirated hematoma in a test tube without a weight. Aspirating force is 200mmHg. Values are expressed as the mean \pm standard deviation. ●, significantly different ($p < 0.05$) from group of 0kg/cm²; ○, significantly different ($p < 0.05$) from group of 0kg/cm² by two way ANOVA followed by Scheffé's multiple comparison.

体全てにおいて吸引管が閉塞した。そのまま操作を続けたがそれ以上の吸引は認めなかった。最終的には平均42%の血腫除去率であった。それに対し SAS&A の水圧 10kg/cm² の条件では作動開始後2分間に5検体全てにおいて吸引管が閉塞した。そのまま操作を続けたがそれ以上の吸引は認めなかった。最終的には平均81%の血腫除去率であった。水圧 20kg/cm² の条件では吸引管が閉塞すること無く、作動開始後1分にて血腫の98%が除去された。吸引のみの群に比べ SAS&A の水圧 10kg/cm² の群では30秒後から、水圧 20kg/cm² の群では全ての時間において有意に除去率は高かった。また SAS&A の水圧が 10kg/cm² と 20kg/cm² の群間においては、1分までは後者が有意に血腫除去率は高かったが、2分以降では有意差を認めなかった。

5) 吸引圧 200mmHg で加圧しない場合

図11は吸引圧 200mmHg で、同じく血腫に圧を加えずに、水圧が 0 kg/cm², 10kg/cm², 20kg/cm² にて血腫除去を行った場合の時間と血腫除去率の関係を示したものである。吸引のみの場合は作動開始後2分間に5検体全てにおいて吸引管が閉塞した。最終的には平均77%の血腫除去率であった。それに対し SAS&A は吸引管の閉塞を認めず、水圧 10kg/cm² の条件で1分後、水圧 20kg/cm² の条件で30秒後に血腫の98%が除去された。

吸引のみの群に比べ SAS&A は水圧 10kg/cm² と 20kg/cm² の両群とも作動開始後30秒以後において有意に除去率は高かった。また SAS&A の水圧が 10kg/cm² と 20kg/cm² の群間においては有意差が無かった。

6) 非加圧下における吸引圧 100mmHg と 200mmHg との比較

吸引圧が 100mmHg の群と、200mmHg の群を比較すると、吸引のみの場合、作動開始後30秒以後において後者が有意に高い血腫除去率を示した。水圧 10kg/cm² の場合、作動開始後1分まで後者が有意に高い血腫除去率を示した。水圧 20kg/cm² の場合、作動開始後30秒のみ後者が有意に高い血腫除去率を認めた。

7) 吸引圧 100mmHg での加圧の有無の影響

吸引圧 100mmHg にて血腫に対する圧の有無の両群を比較すると、吸引のみの場合は全ての時間において圧の無い群が有意に高い血腫除去率を示した。ただし除去されたのは主に血漿成分であった。SAS&A では水圧 10kg/cm², 20kg/cm² の両群とも作動開始後15秒においてのみ圧の無い群が有意に高い血腫除去率を示した。

8) 吸引圧 200mmHg での加圧の有無の影響

吸引圧 200mmHg にて血腫に対する圧の有無の両群を比較すると、吸引のみの場合は全ての時間において、SAS&A の水圧 10kg/cm² の場合作動開始後1分

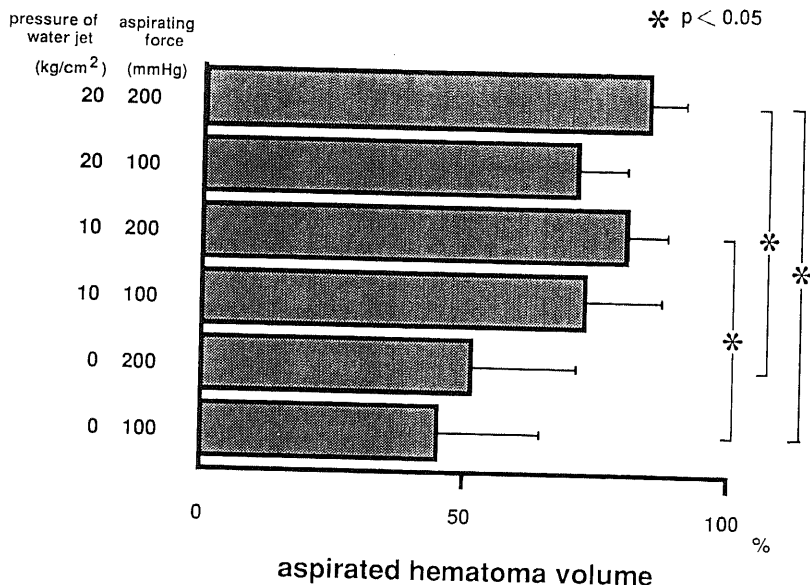


Fig.12. The percentages of aspirated hematoma in gelatin model under various conditions. Values are expressed as the mean \pm standard deviation.

まで、圧の無い群が有意に高い血腫除去率を示した。水圧 20kg/cm² の場合、両群に有意差を認めなかった。

9) プローベの閉塞する頻度

5 分間の血腫除去の過程で吸引のみの場合は20検体中全例に閉塞を認めたのに対し、SAS&A では40検体中5例のみであった。

2. ゼラチン内血腫モデル

図12はゼラチン内血腫モデルにおいて各グループの血腫除去率を示したものである。水圧 20kg/cm²; 吸引圧 200mmHg の条件では84.2%, 水圧 20kg/cm²; 吸引圧 100mmHg の条件では72.0%, 水圧 10kg/cm²; 吸引圧 200mmHg の条件では81.0%, 水圧 10kg/cm²; 吸引圧 100mmHg の条件では73.0%の除去率であった。一方吸引のみの場合は吸引圧 200mmHg の条件では51.6%, 吸引圧 100mmHg の条件では45.0%の除去率であった。水圧 20kg/cm²; 吸引圧 200mmHg の群と吸引のみの 200mmHg, および 100mmHg の群間に有意差を認めた。また水圧 10kg/cm²; 吸引圧 200mmHg の群と吸引のみ 100mmHg の群間に有意差を認めた。有意差は認めなかったが SAS&A の各群は何れも吸引のみの群に比べ高い血腫除去率を示し

た。

III. SAS&A の安全性の検討

各条件下において1分間あたり吸引除去されてきた脳実質の重量を定量した(図13)。高圧水噴流の圧、吸引の圧が高くなるほど重量は増加する傾向にあったが、水圧 20kg/cm², 吸引 300mmHg 以下の条件では1分間に除去される脳実質は 0.02mg を超えることは無かった。

SAS&A の作用断面を組織学的に観察した。図14は 200mmHg の吸引圧、20kg/cm² の水圧の条件にて脳実質内で2分間 SAS&A を作用させた作用断面の組織写真である。SAS&A の挿入、および作用による組織の海绵状変性、細胞腫脹、空胞変性、核腫脹、および血管外出血などの損傷を認める。しかしその範囲は作用断面より 2 mm 以上には及んでいない。また断面に血管が残っている像が観察される。SAS&A の条件、すなわち吸引圧、および水圧の違いによる組織像の差は認めなかった。

考 察

高速水噴流は、作用する力が局所的であるため軟質材料の切断に適している^{20)~21)}。医学の分野では肝臓の

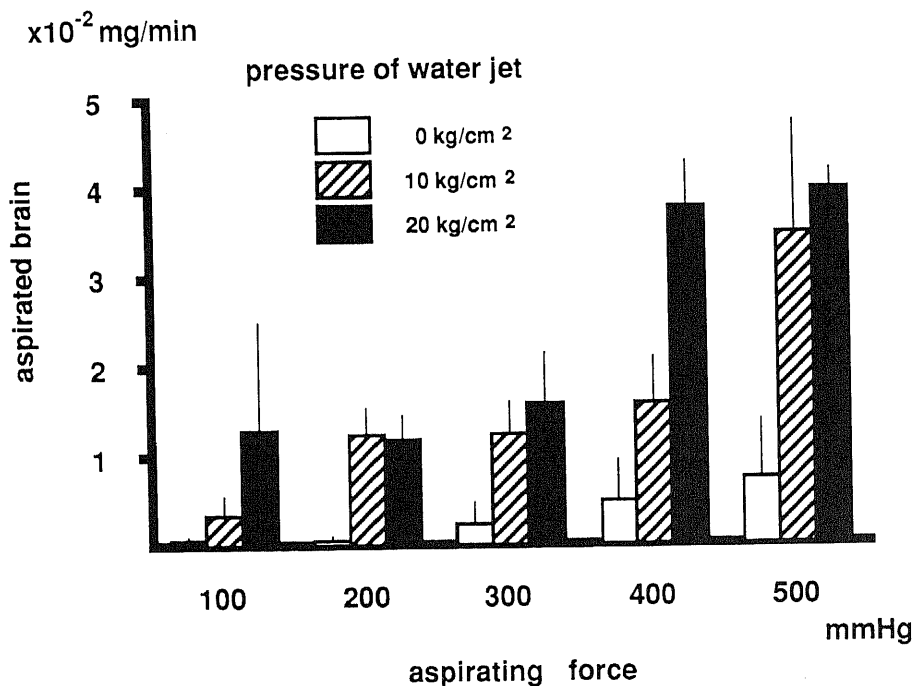


Fig.13. The correlation between the condition of SAS&A and weight of aspirated brain tissue. Horizontal bar shows the aspirating force. Values are expressed as the mean \pm standard deviation.

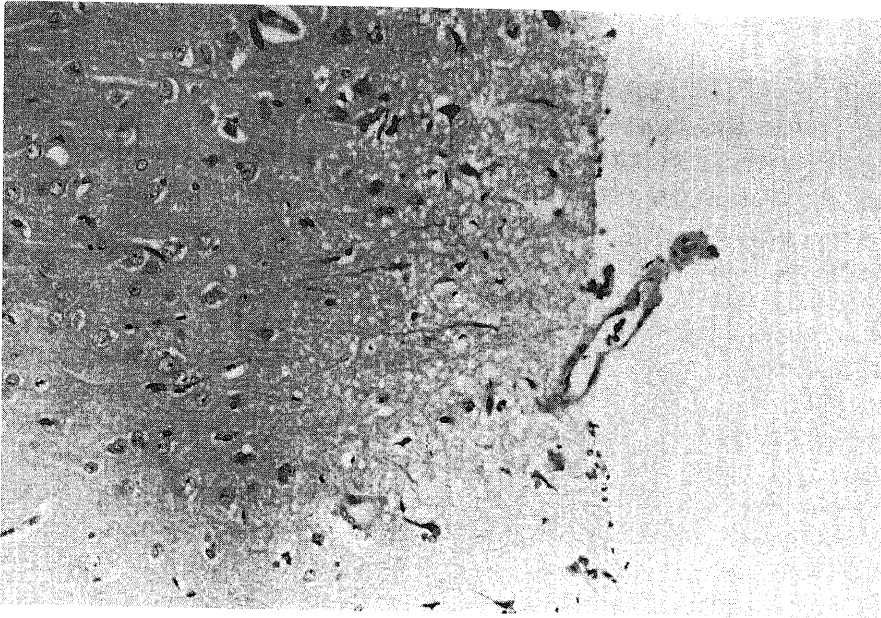


Fig.14. A photomicrograph of the brain tissue faced to the side window of probe of SAS&A. HE stain, $\times 100$. The range of degeneration of tissue due to procedure of the SAS&A was less than 2mm.

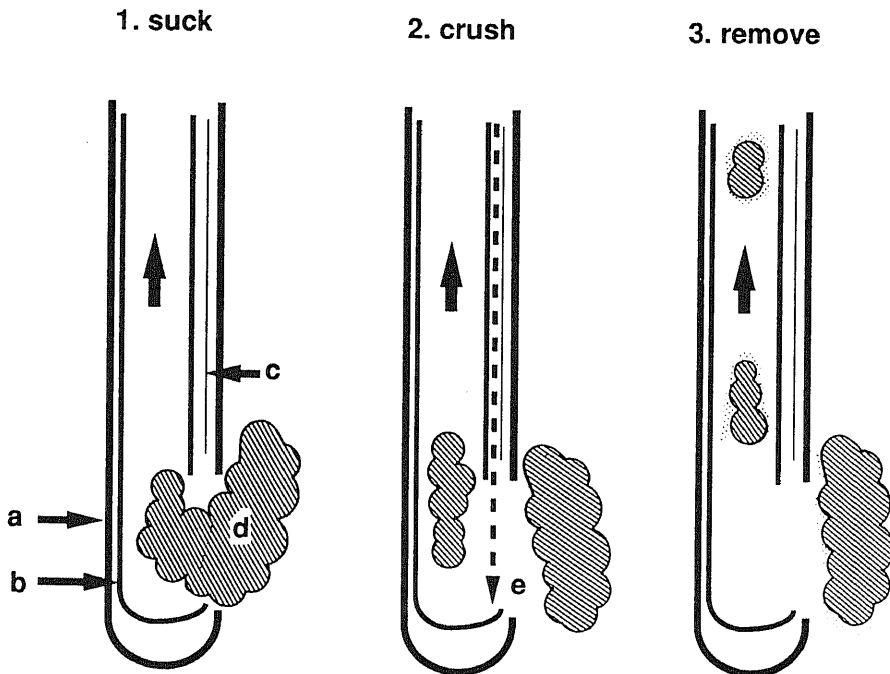


Fig.15. Movement of pieces of blood clot supposed to occur during removal of a hematoma. Longitudinal sections of the probe tip of SAS&A are shown at stages of suction of the hematoma through its side window (1), crushing of the hematoma (2), and removal of pieces of the hematoma through the suction tube (3). a, outer tube; b, suction tube; c, irrigation tube; d, hematoma; e, stream of water jet.

手術に応用され²⁸⁾²⁹⁾、血管を傷つけない性質のため術中の出血量を減少させることができたと報告されている。また近年伊藤ら³⁰⁾³¹⁾は高速水噴流を利用し、Aqua-stream and Aspirator (AS&A, マルイ医科, 東京)を中枢神経系の手術用具として開発し、血管を傷つけずに脳実質と病巣の剝離を安全、確実にできたことを報告している。SAS&Aはこの高速水噴流を利用し、高血圧性脳内血腫を除去する装置である。その原理は次のように考えられる。吸引の陰圧により凝血塊が外筒の側孔に嵌頓する。断続的に噴射される高速水噴流が、凝血塊の外筒に嵌頓した部分を粉碎する。粉碎された凝血塊は、生理食塩水と共に吸引される(図15)。この操作を繰り返すことにより血腫は除去される。今回実験的にSAS&Aの血腫除去能力、および安全性について検討した。

単位時間あたりSAS&Aが噴射する水量は吸引する量に比べ極めて少ない結果となった。従って生理食塩水は血腫腔に決して貯留しない。

試験管内血腫モデルにおいてSAS&Aの血腫除去能力は吸引のみの場合に比べ有意に優れていた。SAS&Aの吸引の陰圧、および高圧水の圧が高いほど血腫除去能力は高く、吸引圧100mmHg~200mmHg、水圧10kg/cm²~20kg/cm²の条件にて20mlの血腫を除去するのに30秒から5分を要した。血腫除去にはこの条件の範囲で十分と考えられる。従来の定位脳手術による血腫除去術は吸引のみに頼っており、その場合に必要の陰圧を本藤ら³²⁾は凝血塊に対しては700mmHg以上、融解した血腫に対しては200-400mmHg以上であると報告している。SAS&Aが血腫を除去するのに必要な吸引圧は200mmHg以下であり、高速水噴流による血腫粉碎の効果が大きいことがわかる。実際の手術に際しては低い圧条件から操作を始め血腫除去の程度をみながら、不十分なら徐々に条件を高くするのが適当と考えられる。

SAS&Aでは吸引のみに比べプローベの閉塞する頻度が著しく少ない結果となり、これは高速水噴流が血腫を粉々に粉碎するためと考えられる。実際の手術に際しては、プローベが閉塞すると一旦抜き閉塞を解除した後再挿入する必要があるが、その時挿入による脳実質の新たな損傷がおこる。プローベの閉塞する頻度が少ない分挿入する回数が少なくなり損傷を避けることができる。

血腫に圧を加えない場合は、加えた場合と比較すると吸引のみとSAS&Aの操作開始後早い時期にて有意に高い血腫除去率を示している。圧を加えない場合にはプローベの先端は血漿のなかにあり、操作を開始

するとまず血漿が吸引除去される。血餅に対しては吸引のみでは除去は不十分であるのに対し、SAS&Aはほぼ完全に血餅をも除去しているのがわかる。血腫に圧を加えた場合はプローベの先端は血餅の中にある。吸引のみの場合は血餅の除去が困難で、またプローベが早期に閉塞してしまうため低い血腫除去率を示している。一方SAS&Aは血漿を除去するのとほぼ同じペースで血餅を除去している。従ってSAS&Aは硬い凝血塊も容易に除去可能であることがわかる。

ゼラチン内血腫モデルでは、SAS&Aが吸引のみに比べて有意に高い血腫除去能力を示している。有意差は認めないが、吸引の陰圧、高圧水の圧が高いほど血腫除去能力が高い傾向を示している。実際に定位脳手術による血腫除去術の対象となる血腫の容量は10~50mlの範囲であることが多い。SAS&Aにより手術は短時間で終了可能である。脳内血腫は占拠性病変であるが、ゼラチンモデルでは、ゼラチン内にあらかじめ空洞を作りその中に血腫を作成した。実際の脳内血腫に比べこのモデルではゼラチンの復元力のせいで血腫腔が完全には押し潰されにくいという違いがある。また発症後早期の脳内血腫では頭蓋内圧が高く、血腫内にプローベを挿入すると血腫がプローベに向かい押し出されてくることが推測される。従って実際の手術ではより容易に血腫除去を行える可能性がある。

イヌの脳実質内でSAS&Aを作用させ安全性の検討を行った。粉碎、吸引されてくる脳実質の重量は吸引圧200mmHg、水圧20kg/cm²の条件、すなわち実際の手術時の最高の条件でも1分間に0.02mg未満であった。従ってSAS&Aは同条件下では血腫ならば1分間で20ml吸引、除去するのにに対し脳実質は0.02mg未満しか吸引、除去しないことになる。組織学的にSAS&Aの作用によると思われる組織の損傷は、作用断面より2mm以内に限られていた。また血管が組織断面に残っている像が観察されるのは、SAS&Aに使用している高速水噴流の強さが血管を残す条件にあるためと推察される。実際の手術に際しては、目標点は血腫の中心に置かれるので、SAS&Aによる血腫除去では脳実質はほとんど損傷されないと考えられる。

SAS&Aが血腫の粉碎、吸引に威力を発揮するのにに対し脳実質は殆ど損傷しない理由は次のように考えられる。すなわちSAS&Aは安全のために外筒内においてのみ高速水噴流が作用し、外筒の側孔に嵌頓した物質のみ破壊するよう設計されている。血腫はその粘弾性により容易に側孔に嵌頓するのにに対し、脳実質は

血腫に比べ粘弾性が小さいために側孔に嵌頓することが無く、よって破壊を受けない。

定位的脳内血腫除去術の際、従来の吸引のみの方法では急性期の硬い血腫ではプローベの先端が閉塞するために十分な除去が不可能であった。よって血腫が流動化する亜急性期から慢性期すなわち発症10日目以後に行われることが多かった。土井ら¹⁹⁾は13~37日目、林ら²⁰⁾は11~26日目に、本田ら¹⁴⁾は10~15日目に視床出血に対し血腫除去を行い有効であった症例を報告している。

しかしCTにて血腫を経時的に観察すると、血腫を除去しない場合発症後6時間から4日までの間に血腫周辺の低吸収域が進行性に増大した。この低吸収域は血腫周辺の二次的变化であり、周辺脳組織の浮腫、変性、壊死を示していることがわかってきた^{19)~21)}。また熊名ら²²⁾はイヌを使った実験にて血腫が周囲神経組織におよぼす影響は血腫の物理的圧迫のみでなく、血腫内の血漿成分や血球成分が浸潤してより増強することを解明した。従ってこの二次的变化を防ぐために血腫除去をなるべく早期に行うことが重視されている^{23)~24)}。金子ら¹⁰⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾は開頭による発症後6時間以内の超早期手術を行って臨床的に良好な成績をあげている。しかし本症は高齢者に好発する疾患のため、種々の合併症により血腫除去術の適応はあっても全身麻酔の適応とならず開頭による血腫除去を断念する場合がある。また動脈硬化性変化のため開頭術では手術侵襲が予想外に大きいこともあり必ずしも最適とは言い難い。

最近定位脳手術により早期に手術を行うため、硬い凝血塊を除去するための様々な方法が報告されている^{26)~29)}。定位的脳内血腫除去術後の残存血腫腔内にウロキナーゼを注入しこれを溶解したのちドレインより排除する方法が広く行われている^{13)(22)(24)(40)~43)}。この方法では血腫はほぼ全量排除可能で再出血は認めていない。しかしチューブを数日間留置することは頭蓋内感染の危険があり、またウロキナーゼの安全性に関しても問題が残っている。機械的除去方法としてはArchimedes screwを用いた吸引管で血腫除去が試みられており^{24)(44)~51)}高い血腫除去率を示しているが血腫壁の損傷による再出血が問題となる。Kandelら³²⁾は16%の再出血率を報告している。これに対しSAS&Aは硬い血腫を高速度噴流で粉碎し、完全に吸引、除去出来、また脳組織を殆ど損傷しないため再出血の危険性が低い。

よってSAS&Aの使用により発症早期の高血圧性脳内出血に対する定位的脳内血腫除去術を安全かつ完全に行うことが可能である。

結 論

定位的脳内血腫除去装置としてSAS&Aを開発した。この装置は高速水噴流の破壊力により硬い血腫を粉碎、吸引、除去することが出来る。臨床での使用のための基礎実験としてSAS&Aの血腫除去能力と安全性を検討し以下の結果を得た。

1. 試験管内血腫モデルにてSAS&Aの至適圧条件を検討したところ吸引圧は100~200mmHg、高速水噴流の圧は10~20kg/cm²との結果を得た。この条件にて20mlの血腫を除去するのに30秒から5分を要し、吸引のみの場合に比べ有意に除去能力が優れていた。

2. より脳内血腫に近いゼラチン内血腫モデルにて上記の至適圧条件にて血腫除去を行った。SAS&Aは5分間にて40mlの血腫の70~84.2%を除去した。また吸引のみの場合に比べ除去能力が優れていた。実際の手術では至適圧条件の範囲でまず低い条件から開始し、血腫の除去のされかたを見ながら徐々に条件を上げて行くのが適当と考えられた。

3. 安全性を検討するためにイヌの脳内でSAS&Aを作動させた。至適圧条件の範囲で吸引除去される脳実質は1分間に0.02mg未満であった。また組織学的にもSAS&Aの作用による組織の損傷は作用断面から2mm以内であった。実際の手術ではプローベの先端は血腫の中心部におかれ、脳実質に接する機会は少ない。従ってSAS&Aの脳実質に対する損傷はほとんど無く、再出血の危険性は低いと考えられた。

以上よりSAS&Aは発症早期の高血圧性脳内出血に対し、定位的脳内血腫除去術を安全かつ完全に行う上で極めて有用な装置と考えられた。

謝 辞

稿を終えるに臨み、御懇篤な御指導と御校閲を賜りました金沢大学医学部脳神経外科、山下純宏教授に深甚なる謝意を表します。終始御指導を頂いた山口大学医学部脳神経外科、伊藤治英教授、金沢大学医学部附属病院手術部、北村昭洋技術主任に深謝致します。本研究の遂行に際し、御指導頂きました金沢大学医学部脳神経外科、山本信二郎名誉教授、金沢大学医学部脳神経外科学教室の諸先生に心から感謝致します。また統計学的処理について貴重な御指導を賜りました金沢大学医学部衛生学、橋本和夫教授に深く感謝の意を表します。さらに機器の制作に御協力頂きましたマルイ医科株式会社へ厚く御礼申し上げます。

本論文の要旨は第48回日本脳神経外科学会総会(1989、盛岡)において発表した。

文 献

- 1) Hardy, T. & Koch, J.: Computer-assisted

- stereotactic surgery. *Appl. Neurophysiol.*, **45**, 396-398 (1982).
- 2) 金谷春之, 遠藤英雄: 高血圧性脳出血の外科的療法と治療成績. *脳と神経*, **36**, 847-857 (1984).
- 3) Yamanaka, R. & Satoh, S.: Comparison of stereotactic aspiration, craniotomy, and conservative treatment for putaminal hemorrhage. *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*, **28**, 986-990 (1988).
- 4) 中原 明, 西村敏彦, 三浦直久, 加川瑞夫, 喜多村孝一: 高血圧性脳内出血に関する研究 (第3報) 大脳基底核部出血の手術適応決定上の因子について. *脳外*, **6**, 647-655 (1978).
- 5) 遠藤英雄: 被殻出血の手術適応よりみた治療方針. *脳卒中*, **8**, 486-488 (1986).
- 6) 金谷春之, 湯川秀樹, 神野哲夫, 伊藤善太郎, 桑原武夫, 加川瑞夫, 水上公宏: 高血圧性脳出血における新しい Neurological grading および CT による血腫分類とその予後について. *高血圧性脳出血の外科*, **3**, 265-270 (1978).
- 7) Kanno, T., Sano, H., Shinomiya, Y., Katada, K., Nagata, J., Hoshino, M. & Mitsuyama, F.: Role of surgery in hypertensive intracerebral hematoma. A comparative study of 305 nonsurgical and 154 surgical cases. *J. Neurosurg.*, **61**, 1091-1099 (1984).
- 8) 川村伸悟, 大田秀則, 鈴木明文, 安井信之, 上山博康: 基底核部脳出血重症例の手術適応と限界. *脳外*, **14**, 1071-1076 (1986).
- 9) Mituno, T., Kanayama, H., Shirakata, S., Ohsawa, K. & Ishikawa, Y.: Surgical treatment of hypertensive intracerebral hematomas. *J. Neurosurg.*, **24**, 70-76 (1966).
- 10) Kaneko, M., Koba, T. & Yokoyama, M.: Early surgical treatment for hypertensive intracerebral hemorrhage. *J. Neurosurg.*, **46**, 579-583 (1977).
- 11) 伊藤善太郎: 高血圧性脳出血の外科的治療. *脳と神経*, **28**, 227-244 (1976).
- 12) 林 実, 長谷川健, 古林秀則, 宗本 滋, 山本信二郎: 高血圧性脳出血に対する定位脳手術的血腫除去. *脳外*, **9**, 1365-1371 (1981).
- 13) 土井英史, 森脇 宏, 駒井則彦, 岩本宋久: 高血圧性脳出血に対する定位的血腫溶解排除法. *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*, **22**, 461-467 (1982).
- 14) 本田英一郎, 林 隆士, 島本宝哲, 原 邦忠, 森高一彦, 佐藤能啓: 視床出血に対する CT guided stereotaxic operation の効果. *脳外*, **16**, 665-670 (1988).
- 15) 秋本 宏, 牧 豊: 高血圧性脳出血における CT 所見の経時的検討. *脳外*, **7**, 455-464 (1979).
- 16) 三浦直久, 中原 明, 加川瑞夫, 喜多村孝一, 小林直紀: 高血圧性脳内出血に関する研究 (第2報) 血腫の経時的追跡および CT 分類について. *脳外*, **6**, 635-645 (1978).
- 17) 富田幸雄: 高血圧性脳出血における Computed Tomography による血腫周辺の低吸収域に関する研究. *脳と神経*, **32**, 545-553 (1980).
- 18) Takasugi, S.: Cause of ring enhancement in computed tomographic image of intracerebral hematomas. An experimental histological study. *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*, **20**, 689-700 (1980).
- 19) 高杉晋輔, 曾我哲朗, 増田 勉, 山下 茂, 松本圭蔵: 高血圧性脳出血における血腫ならびにその周辺病態の自然経過—CT による経時的観察と治療方針に関する若干の考察. *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*, **19**, 261-269 (1979).
- 20) 富田幸雄, 大内忠雄, 湯川英機, 今野譲二, 斎木 巖, 金谷春之, 小野寺秀樹: 高血圧性脳出血の CT による内包障害の判定. *CT 研究*, **5**, 657-661 (1983).
- 21) 三浦直久, 加川瑞夫, 喜多村孝一: 高血圧性脳内出血に関する研究 (第1報) CT スキャンによる血腫の進展と消長. *脳外*, **5**, 845-854 (1977).
- 22) Yague, L., Garcia-March, C., Paniagua, M. J., Sánchez-Ledesma, Diaz, P., Ludeña, D., Maillo, A. & Broseta, J.: Stereotactic evacuation and local administration in intracerebral hematomas. A comparative study. *Acta Neurochir. Suppl.*, **39**, 45-48 (1987).
- 23) 金子満雄: 急性期血腫摘除術. *日獨医報*, **29**, 506-517 (1984).
- 24) 上田 伸, 山下 茂, 松本圭蔵: 急性期定位脳手術による血腫摘出術. *日獨医報*, **29**, 518-534 (1984).
- 25) 幾 世橋: ウォータージェット利用技術と最近の開発動向. *日本機械学会誌*, **90**, 1487-1494 (1987).
- 26) 小林陵二, 新井隆景, 山田泰司: ウォータージェット加工技術における噴流の構造と金属材料の壊食過程. *日本機械学会論文集 (B編)*, **53**, 1539-1542 (1987).
- 27) 横田 章, 山門憲雄: 高速連続水噴流による固体の壊食と水噴流の構造について. *日本機械学会論文集 (第2部)*, **33**, 723-734 (1987).

- 28) 小林陵二：ウォータージェット技術の将来。日本機械学会誌, 92, 12-17, (1989).
- 29) 永川宅和, 泉 良平, 山口明夫, 小西幸司, 宮崎逸夫, 北村昭洋, 杉野芳宏, 籠口幹夫：アクアジェットメスによる肝切除術の臨床応用。医科器械学, 10, 480-484 (1987).
- 30) 伊藤治英, 北村昭洋, 山本信二郎：脳神経外科用 AS&A (Aqua-stream and Aspirator) の開発。脳外, 16, 1451-1455 (1988).
- 31) Ito, H., Mukai, H., Fujii, T. & Yamamoto, S.: AS&A (Aqua-stream and Aspirator) in experiment and neurosurgery. J. Neurosurg., in press.
- 32) Kandel, E. I. & Peresedov, V. V.: Stereotaxic evacuation of spontaneous intracerebral hematoma. J. Neurosurg., 62, 206-213 (1985).
- 33) 鮫名 勉, 桜井芳明, 鈴木二郎：血腫の脳実質に及ぼす影響, 経時的変化。日獨医報, 29, 497-505 (1984).
- 34) Kaneko, M., Tanaka, K., Shimada, T., Sato, K. & Uemura, K.: Longterm evaluation of ultra-early operation for hypertensive intracerebral hemorrhage in 100 cases. J. Neurosurg., 58, 838-842 (1983).
- 35) 金谷春之, 西村謙一, 斎木 巖, 小穴勝麿, 大内忠夫：高血圧性脳出血の外科的治療－自験例174例の検討－。Neurol. Med. Chir. (Tokyo), 16 part II, 19-27 (1976).
- 36) Auer, L. M., Holzer, P., Ascher, P. W. & Heppner, F.: Endoscopic neurosurgery. Acta Neurochir. (Wien), 90, 1-14 (1988).
- 37) Auer, L. M., Deinsberger, W., Niederkorn, K., Gell, G., Kleinert, R., Schneider, G., Holzer, P., Bone, G., Mokry, M., Korner, E., Kleinert, G. & Hanusch, S.: Endoscopic surgery versus medical treatment for spontaneous intracerebral hematoma: a randomized study. J. Neurosurg., 70, 530-535 (1989).
- 38) Niizuma, H. & Suzuki, J.: Stereotactic aspiration of putaminal hemorrhage using a double track aspiration technique. Neurosurgery, 22, 432-436 (1988).
- 39) 松本圭蔵：高血圧性被殻出血に対する血腫吸引術の特徴。脳卒中, 8, 492-497 (1986).
- 40) 本藤秀樹, 松本圭蔵：高血圧性および外傷性脳内血腫に対する CT を応用した定位脳内血腫除去術。脳外, 11, 35-48 (1983).
- 41) 七篠文男, 松本圭蔵：CT-controlled stereotactic operation による高血圧性脳内血腫除去術 その1。脳外, 13, 845-852 (1985).
- 42) 七篠文男, 松本圭蔵：CT-controlled stereotactic operation による高血圧性脳内血腫除去術 その2。脳外, 13, 945-952 (1985).
- 43) Matsumoto, K. & Hondo, H.: CT-guided stereotaxic evacuation of hypertensive intracerebral hematomas. J. Neurosurg., 61, 440-448 (1984).
- 44) Higgins, A. C. & Nashold, B. S.: Stereotaxic evacuation of large intracerebral hematoma. Appl. Neurophysiol., 43, 96-103 (1980).
- 45) 塩飽哲士, 天野恵市, 河村弘庸, 谷川達也, 川島弘子, 能谷正雄, 伊関 洋, 長尾建樹, 岩田幸也, 平孝臣, 梅沢義裕, 清水常正, 喜多村孝一：高血圧性脳内血腫の CT 誘導定位脳手術 46症例の追跡調査。脳外, 14, 751-758 (1986).
- 46) Backlund, E. O. & von Holst, H.: Controlled subtotal evacuation of intracerebral hematomas by stereotactic technique. Surg. Neurol., 21, 99-101 (1978).
- 47) Broseta, J., Gonzalez-Darder, J. & Barcia-Salorio, J. L.: Stereotactic evacuation of intracerebral hematomas. Appl. Neurophysiol., 45, 443-448 (1982).
- 48) Higgins, A. C., Nashold, B. S. & Cosman, E.: Stereotactic evacuation of primary intracerebral hematomas. New instrumentation. Appl. Neurophysiol., 45, 438-442 (1982).
- 49) Higgins, A. C. & Nashold, B. S. Jr.: Modification of instrument for stereotactic evacuation of intracerebral hematoma. Neurosurgery., 7, 604-605 (1980).
- 50) Iseki, H., Amano, K. & Kawamura, H.: A new apparatus for CT guided stereotactic surgery. Appl. Neurophysiol., 48, 50-60 (1985).
- 51) Amano, K., Kawamura, H., Tanikawa, T., Kawabatake, H., Notoni, M., Iseki, H., Shiwaku, T., Nagao, T., Iwata, Y., Taira, T., Umezawa, Y., Shimizu, T. & Kitamura, K.: Surgical treatment of hypertensive intracerebral hematoma by CT-guided stereotactic surgery. Acta. Neurochir. Suppl., 39, 41-44 (1987).

Stereotactic Aqua-stream and Aspirator (SAS&A) for Hypertensive Intracranial Hematoma: An Experimental Study Hironobu Mukai, Department of Neurosurgery, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920—J. Juzen Med. Soc., 99, 271—286 (1990)

Key words stereotactic instrument, hypertensive intracerebral hematoma, Stereotactic Aqua-stream and Aspirator (SAS&A), water-jet knife, hematoma model

Abstract

The Stereotactic Aqua-stream and Aspirator (SAS&A) is designed for stereotactic evacuation of hypertensive intracerebral hematoma in the early stages of onset. This device can be used to aspirate solid as well as liquid hematoma, because of the destructive power of water jet. The aim of the present study was to examine the ability to aspirate hematoma and the safety of the device when used on brain tissue experimentally. The SAS&A is mainly controlled by the positive pressure of the water jet and the aspirating force of the suction. Using hematoma models in test tubes the ability of the SAS&A was tested. This was found to be significantly greater than that of suction only. The higher the positive pressure of the water jet and the aspirating force of the suction, the greater the ability of evacuation of hematoma. The water jet pressure of 10~20kg/cm² and aspirating force of 100~200mmHg was usually sufficient to aspirate the clots. In practice, the SAS&A is operated under minimum conditions at the beginning and up-graded gradually if necessary. A lump of gelatin with a hematoma of 40ml in its center was sunk under 20cm of water. The SAS&A was inserted into the center of the hematoma for 5min and operated at 10~20kg/cm² of water jet pressure and 100~200mmHg of aspirating force, 70~84.2% of hematoma was aspirated and the rate was significantly greater than that of suction only. To examine the safety for brain tissue, the SAS&A was inserted into the brain of a dog for 2min and operated at 10~20kg/cm² of water jet pressure and 100~200mmHg of aspirating force. The fragments of the brain tissue collected during the operation were less than 0.02mg/min. Histological examination showed the range of injuries to the brain tissue, due to the procedure of SAS&A was less than 2mm from the window of the probe. Using the SAS&A, hypertensive intracranial hematoma can be evacuated safely and satisfactorily in the early stages of onset.