

脳神経外科手術用連続的腫瘍摘出鉗子の開発

－試作した実寸大モデルの外パイプ移動時の動作検証－

Development of forceps with continuous suction function for resecting brain tumors

－Evaluation of trial model in real scale when the outer cover pipe is slid－

○ 清水ふみ香（芝浦工大） 花房昭彦（芝浦工大）

正宗賢（東京女子医大） 村垣善浩（東京女子医大） 伊関洋（早稲田大）

Fumika SHIMIZU, Shibaura Institute of Technology
 Akihiko HANAFUSA, Shibaura Institute of Technology
 Ken MASAMUNE, Tokyo Women's Medical University
 Yoshihiro MURAGAKI, Tokyo Women's Medical University
 Hiroshi ISEKI, Waseda University

Abstract: Doctors use small forceps to resect brain tumors. Due to the small tip, the forceps must be frequently inserted into, and removed from the operative field. This process requires time and effort on the part of the doctor. The purpose of this study is to develop forceps that can resect and suction tumors continuously. The forceps are composed of tips, inner pipe, springs and outer cover pipe. Properties of developed trial model in real scale are evaluated when the outer cover pipe is slid. The relation between tip opening angle and the cover slid distance was measured. And the transition of suction pressure was measured when the cover positions were changed. As a result, it is necessary to slide the cover more than 5 [mm], to close the tips. And the sealing performance was improved when the tips were totally covered by the cover.

Key Words: Neuro surgery, Forceps, Tumor, Resect, Suction

1. 序論

脳神経外科では鉗子を用いて脳腫瘍摘出の手術が行われている。鉗子は鉗のような形状をしている処置具であり、手元での操作により腫瘍採取に用いる先端部の開閉を行うことができる。従来の脳腫瘍摘出方法では、まず鉗子の先端にあるカップで腫瘍採取を行った後、鉗子を抜き出し、カップから採取した腫瘍を取り出し、再び鉗子を挿入するという動作を繰り返す必要がある。しかしこの方法は、一回の摘出量が少なく⁽¹⁾、鉗子の出し入れに手数がかかるため、手術の長時間が懸念され、医師・患者への負担が大きいといえる。本研究では、従来の鉗子に吸引システムを導入し、腫瘍摘出の簡易化・効率化を可能とする連続的腫瘍摘出鉗子の開発を目的とした。

これまでに筆者らは、鉗子の開閉動作に用いる板バネの評価⁽²⁾、腫瘍代替モデルの切除・吸引検証⁽³⁾を行った。板バネの評価では、得られた結果を基に実寸大モデルの鉗子を試作した。また、腫瘍代替モデルの切除・吸引検証より、本試作品は連続的に腫瘍代替モデルの切除・吸引が可能であった。本報告では、試作した実寸大の鉗子を用いて、外パイプ移動時の鉗子先端の開き角度や吸引実験を行い、必要とする外パイプの移動量を検討した。

2. システム構成

連続的腫瘍摘出鉗子のシステム構成を Fig.1 に示す。鉗子の先端を閉じた状態で術部に挿入し、腫瘍付近で鉗子を開き腫瘍を吸着する。吸着した腫瘍は、鉗子の先端を閉じることにより切除し、同時に吸引が開始する。吸引により、切除した腫瘍はトラップへ回収される。なお、吸引は真空ポンプ、吸引圧の制御は圧力センサやレギュレータ等を用いて行う。

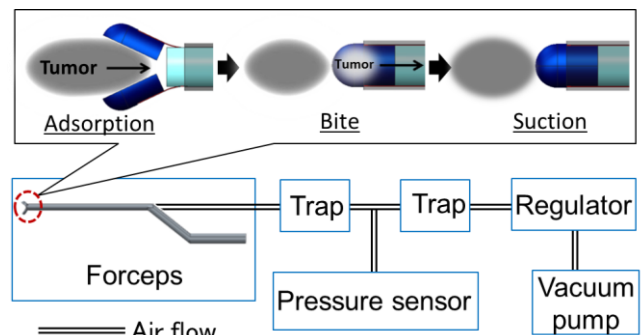


Fig.1 System configuration

3. 試作した鉗子

鉗子の機構を Fig.2 に示す。本機構は、腫瘍切除を行う先端の部品 (Tip: 内径 2.4 [mm], 外径 2.7 [mm], 長さ 4 [mm]), 吸引を行う際に腫瘍が通る内パイプ (Pipe: 内径 2.40 [mm], 外径 2.70 [mm]), Tip の開閉に使用する外パイプ (Cover: 内径 2.85 [mm], 外径 3.00 [mm]) から構成した。また、Tip と Pipe の結合は、板バネ (Spring: 幅 1.0 [mm], 長さ 7.0 [mm], 厚さ 0.07 [mm]) の溶接によって行った。Spring は、Cover が後方にあり、フリーの状態の時には Tip を開く方向に曲がった状態とし、Cover を前方にスライドさせて Spring に被せることにより Tip を閉じる。Tip, Pipe, Cover, Spring の材料は SUS304 を用いた。鉗子の Cover には、光造形機にて作成した部品を用いてピンセットを結合した (Fig.3)。ピンセットに力を加えると Cover が前方へスライドし先端部が閉じ、力を緩めると Cover が後方に戻り先端部が再び開く動作を実現した。

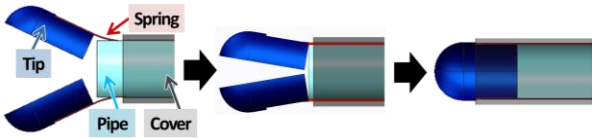


Fig.2 Opening, and closing mechanism

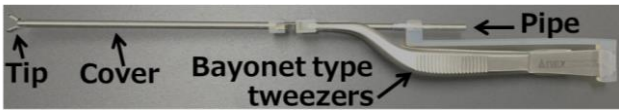


Fig.3 Developed trial forceps

4. Cover 移動量と先端開き角度の関係性

4.1 目的・方法

試作した鉗子を用いて，Cover 移動量と先端開き角度の2つの関係を計測した．この結果より，開閉動作に必要なとする Cover 移動量の検討を行った．計測方法として，Fig.4 左図に示すようにスケールと共に鉗子を固定し，Cover の移動を行った．Cover 位置を移動した時の Tip の開き角度を撮影した．撮影した画像を利用して，Matlab によって先端開き角度と Cover 移動量を算出した．Cover 移動量はFig.4 右図に示すように Spring と Pipe 溶接位置の端を 0 [mm]とすると，Spring 長は 7 [mm]なので Spring と Tip 溶接位置の端は 7 [mm]となる．なお，Spring は長さ 7 [mm]のうち Pipe・Tip 各々と長さ 2 [mm]が溶接されている．

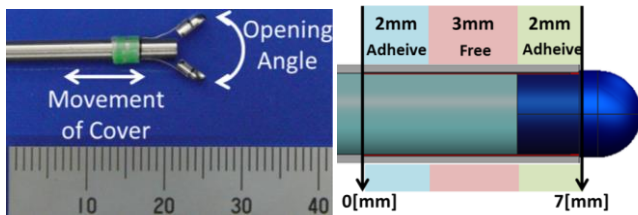


Fig.4 Opening / closure test condition and distance of movement of cover

4.2 結果・考察

Cover 移動量と Tip 開き角度の関係を Fig.5 に示す．Cover 位置 0～2 [mm]間は，Pipe と Spring 溶接部の上を移動するため，Tip は開いたままで先端開き角度に変化はなかった．Cover 位置 2～5 [mm]間では，Spring を閉じつつ移動するため，徐々に Tip は閉じられていき，先端開き角度は小さくなっていった．Cover 位置 5～7 [mm]間では，Tip と Spring 溶接部の上をさらに閉じつつ移動し，7 [mm]でほぼ Tip は閉じられた．7 [mm]以上では Tip 上を移動する為，Tip は閉じられた状態のままである．これより，Cover 移動量は開き角度の変化が顕著な 2～7[mm]間の最低 5 [mm]の確保が必要であった．

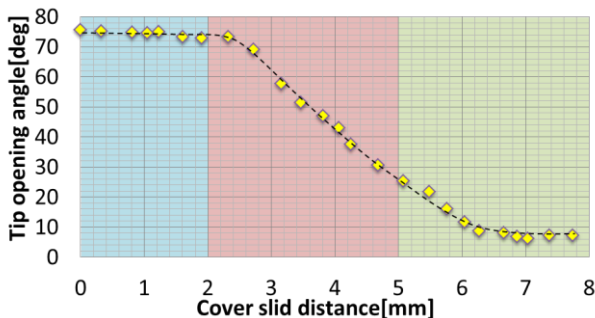


Fig.5 Relation between Cover slid distance and Tip opening angle

5. Cover 位置と吸引圧の関係性

5.1 目的・方法

試作した鉗子を用いて，Fig.6 に示す 2 種類の Cover 位置（7 [mm]，9 [mm]）において腫瘍代替モデル（豆腐⁴⁾の吸引実験を行った．計測した吸引圧の変化を比較し，Cover 位置の検討を行った．計測方法は次の通りとした．まず腫瘍代替モデルの切除を行い，定めた Cover 位置まで Cover を移動する．その後，吸引を開始した約 10 秒後に吸引を停止し，その間の吸引圧の変化を計測した．なお，吸引時のレギュレータ設定値は-50 [kPa]とした．計測値には 3 [Hz]のローパスフィルタをかけ，5 試行分の平均値を求めた．



Fig.6 Position of the Cover in suction experiment (Left : 7 [mm], Right : 9 [mm])

5.2 結果・考察

腫瘍代替モデルの吸引は全試行において可能であった．各 Cover 位置の吸引圧平均値の変化を比較した結果を Fig.7 に示す．Cover 位置 7 [mm]，9 [mm]の吸引圧最小値は各々約-40 [kPa]，約-44 [kPa]であった．これより，Cover 位置が 7 [mm]の時と比較し，9 [mm]は密閉度が向上した．これは，Cover と Pipe 間の 0.15 [mm]のクリアランスにより発生した Tip 間の隙間を，Cover が覆ったためであると考えられる．

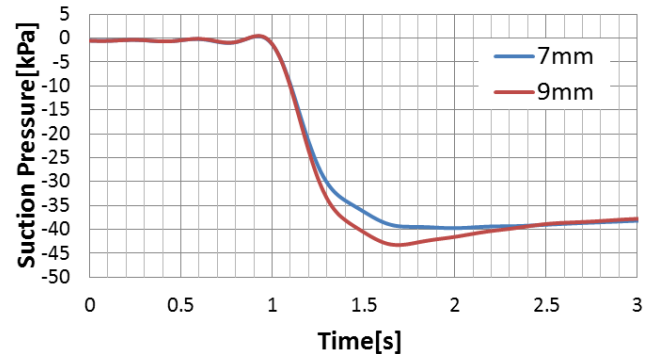


Fig.7 Transition of suction pressure when Cover positions are changed

6. 総括

試作した鉗子に必要なとされる Cover 移動量の検討を目的として，2つの検証を行った．Tip を十分に閉じるためには，最低 5 [mm]の Cover 移動量の確保が必要であった．また，さらに 2 [mm]移動することにより，密閉度向上が可能であった．今後は，鉗子の密閉度向上のための機構改善や強度検証，最終的には全体のシステム構築を行う．

参考文献

- (1) 鈴木智成 他，脳腫瘍の外科療法神経内視鏡下手術（新時代の脳腫瘍学--診断・治療の最前線），日本臨床，Vol.68，pp.368-374，2010．
- (2) 清水ふみ香 他，脳神経外科手術用連続的腫瘍摘出鉗子の開発 - 実物大モデルの試作 -，日本コンピュータ外科学会誌，Vol.17，p.290，2015．
- (3) 清水ふみ香 他，脳神経外科手術用連続的腫瘍摘出鉗子の開発，第25回ライフサポート学会フロンティア講演会，p.143，2016．
- (4) 小野寺賢 他，手術訓練用脳モデル，Rokko Research Wind of Engineering，Vol.9，pp2-7，2009．