

図2 胎児尿道への内視鏡的アプローチ (胎児膀胱尿道鏡)

(from Johnson MP)

閉塞性尿路疾患に対する子宮内 intervention の成績

これまでの閉塞性尿路疾患に対する子宮内 intervention (胎児期の尿路変更・減圧術) のこれまでの報告は、いずれも比較的 small シリーズをもとにしたもので、いまだ大規模な multicenter study ないし randomized trial は実施されていない (この意味では、1985 年の international registry³⁾ の結果もすでに現在 reliable ではない)。したがって、本 intervention は閉塞性尿路疾患に限られた症例に対して有効でありうると思われている^{15)~20)} もの、その正確な評価を下すことはできない現状にある。これらの報告において、子宮内 intervention に明らかな効果が証明されない場合、その理由として胎児尿路閉塞の診断時にすでに高度腎障害が進行している症例や、出生前に診断し得なかった他の異常合併例の存在も指摘されている。また、胎児腎機能からみて良好な予後が期待できるとして intervention を受けた症例においても、その長期的成績については次の点が指

摘されるにとどまっている。すなわち、このような症例では確かに出生直後に肺低形成にて児を失うことは減少しうるが、出生後さまざまな時点で、腎不全あるいは成長障害を認めるものが看過しえない数にのぼることから、長期的な腎機能評価ではやはり問題が残るということである。このような見解は、shunt intervention の成績に関する複数の文献発表をもとにした包括的検討にも関連している²¹⁾。

この報告で注目される点は、shunt intervention 関連の合併症 (shunt-related complications) 発生率が 45% に達すること (intervention 後の児生存率が 47% と高くはないにもかかわらず)、および intervention が肺低形成を低減することで新生児期予後を改善するということ (児の腎機能を必ずしも改善しないにもかかわらず) である。後者の結論の妥当性は、すでに羊水過少を示していた症例の死亡率が明らかに高く、かつ intervention が羊水量回復効果を示さなかった場合の死亡率が 100% に達していたことからうかがえる。

Johnson (2001) は、自施設での胎児閉塞性

尿路疾患 55 例につき、短期的、長期的な評価を行っている⁸⁾。

まず短期的成績であるが、報告された 55 症例の主な内訳は、PUV 24%、urethral atresia 20%、prune belly syndrome (PBS, urethra patent) 16%であり、出生前診断時の胎児腎機能評価/urinary profile で 60%が予後良好、40%が不良と判定されている。予後良好例の 64%が vesicoamniotic shunting を受け、その 64%が生存していた（この予後良好例では nonshunted fetuses の 45%も生存しているが、nonshunting となった理由の多くは、出生前診断時に羊水過少のみられなかったことにある）。出生前にすでに予後不良と評価された 40%（22 例）のなかで、shunting が施行（両親の要望）された 27%のうち 50%は生存しえたが、残りの nonshunting 症例は全例死亡している（ただし、多くは pregnancy termination による）。これら 55 例全体を眺めれば、その 40%が生存し分娩されたが、いわゆる shunted survival は 61%であった。このデータを基礎疾患ごとにみた場合の生存分娩率（および shunted survival）は、PUV で 46%（および 67%）、PBS (urethra patent) では 67%（および 100%）であり、shunting の救命率は決して不良ではない。一方、urethral atresia 症例では、このシリーズについては生存例がみられず、胎児腎機能の良否（出生前診断時）にかかわらず予後改善は困難と考えられた（ただしその後、urethral atresia でも生存例が得られ始めている）。

次いで長期的成績については、vesicoamniotic shunting を受けて出生し、生後 2 年を超えた 14 例（平均で生後 54.3 カ月；内訳は PBS 50%、PUV 29%等）につき検討がなされている。成長・体重増加はいずれも不良で、全体の 29%は生直後の人工呼吸管理、その一部は一カ月間以内のサポート遷延をみたが、呼吸機能の問題でその後運動制限を要した児はみえていない（ただ

し、一部は asthma, bronchitis などの反復性呼吸器感染症あり）。

一方、腎・膀胱機能であるが、全体の 57%には排尿障害をみない（残りは、何らかの程度でカテーテルによる補助排尿を要す）ものの、PUV 症例の 4 例中 2 例で外科手術（bladder augmentation）を要した。さらに腎機能（creatinine clearance）からみると、46%は正常域内に、21%が腎不全状態にあり、36%が腎機能廃絶（end-stage renal disease）のため腎移植を受けている。

上記 Johnson の報告以後同じ施設の Wilson (2003) は、自験例を含めた胎児 vesicoamniotic shunting の成績につき文献的 review (1987 ~ 2003) を行っている⁹⁾。この検討には胎児尿路閉塞 281 例が含まれ（ただし、一部の症例重複あり）、45 例で shunting に成功している。胎児診断時の“予後（腎機能）良好群”では 85%で十分な腎機能が得られ、その一方出生前の“腎機能不良群”では出生後も腎機能の低下が確認されている。子宮内 intervention により羊水量回復をみた例で注目されることは、出生後に呼吸障害をみた症例のなかった点である。子宮内 intervention を受けかつ生存している児においては、出生後に全体で 46%が腎機能障害/腎不全を呈していた。ただし、腎機能障害/腎不全の発症率は実際にはより高いものと想定されている。これは、症例全体での生存率が 44%と低値であり、かつ review した文献毎に follow-up 期間にバラツキのあったためである。

この Wilson による review⁹⁾ 文献のなかでは、Harrison グループからのもの²⁰⁾ が注目される。この報告では、子宮内 intervention を施行した PUV の 14 例（1981 ~ 1999 年；いずれも胎児尿サンプルの評価で腎機能が保たれていると判定）につき、出生後の長期フォローアップ成績を報告している。子宮内 intervention は妊娠週数平均 22.5 週で行われ、術式は、vesicoamniotic

shunting 9例, 尿道弁切開術 (内視鏡的) 2例, 膀胱瘻造設術 2例, 尿管皮膚瘻造設術 1例である。結果として, 死亡例・生存例は各々 43%・57%で, 死因は未熟児分娩や妊娠中絶 (シャント脱落の後) であり, 生存例の平均フォローアップ期間は 11.6年であった。注目される点は, 生存例のうち 63% は慢性腎疾患を伴っていたこと (2例はすでに腎移植を受け, 1例は移植待機中), およびやはり 63%ではなんらかの尿路変更術 (膀胱瘻, 尿管皮膚瘻, 膀胱形成術等) が施行されていたことである。この報告は, Harison らの過去 20年にわたる胎児手術・intervention 症例をもとにしたものであり, 必ずしも近年の動向を正しく反映するものではないが, 著者らは以下の点を結論としている。すなわち, 胎児手術は一定のリスクを伴うものであると同時に出生後の長期予後改善に必ずしも寄与しないこと, また, 手術前の胎児腎機能評価 (胎児尿電解質濃度など; 前稿参照) は必ずしも出生後経過に反映されないこと等である。換言すれば, 子宮内 intervention は胎児を子宮内に満期近くまで留め置く意義を有するが, 必ずしも PUV の後遺症を防止しうるとは限らず, 今後とも子宮内 intervention はその適応をいっそう明確とし, かつ限られた症例に行うべきものといえよう。

非閉塞性機序による腎尿路異常

1. Prune-belly syndrome (PBS)

PBS は男児に圧倒的に多く, 一連の特異的異常 (腹壁伸展と筋層欠損, 尿路異常, 男児では停留精巣) を有するものであるが, その成因には種々の議論がみられる。近年は, 妊娠早期の著明な腹壁伸展 (多くは megacystis などによる) により引き起こされた (腹壁) 筋層の発達異常との考えも有力視されている。その胎児期超音波像は (拡張尿道の画像所見等を除けば) PUV のそれに類似しているが, 典型的なケース

では出生後に明らかな尿路閉塞をみとめない。したがって, 研究者によっては PBS に対する子宮内 intervention (in utero urinary diversion) の意義について疑問を呈する向きもある²³⁾。ただし本症では, 妊娠早期には存在した何らかの閉塞機転が子宮内で自然寛解したとも考えられ, その視点からは PBS は一種の閉塞性尿路疾患と考えられる。しかも, PBS は高率に伴う羊水過少と肺低形成により出生後予後が不良となる疾患であり, もし他の合併異常がなく腎機能が正常域にある場合には, 羊水過少 (および肺低形成等のリスク) に対する, 予防的子宮内 vesicoamniotic shunting にて, 生存率 (および腎機能) の改善をはかることの意義は認められよう^{20,24)}。

2. 脊髄髄膜瘤 (myelomeningocele, MMC)

MMC 自身は腎尿路系の器質的異常ではないが, 膀胱の神経学的・機能的異常から, 水腎症をはじめとする腎尿路異常 (膀胱機能異常/VUR・進行性の水腎症等) をきたすことがある。しかし実際には, MMC の多くで出生前にこのような腎尿路異常はみられず²⁵⁾, したがって逆に, MMC の胎児期修復術が周産期・小児期腎機能障害との関連で重要な課題となっている²⁶⁾。ただしこれまでの報告でみる限り, MMC の胎児期修復術における最大の意義は, 児の生命的予後・QOL を最も損なう Chiari II 奇形の発症頻度・重症度, それに水頭症発症と脳室シャント手術の必要性を軽減しうるという点にあり, 他の神経学的機能 (膀胱・生殖機能, 下肢の知覚・運動機能改善) の評価ははまだ十分明らかにされてはいない。これに関して Harrison グループ²⁷⁾ は, 妊娠 24 週未満で胎児期修復術を受け, 32 週前に分娩された MMC (腰髄・腰仙髄) の 4 例において, 生後 1 カ月の時点で膀胱機能 (膀胱容量, 排尿筋による尿貯留能, 残尿量) および尿路異常 (水腎症および VUR) 合併の有無につき検討を行った。その結果, 胎児

手術群では対照群と比べ有意差を認めなかった。この理由は明らかではない。しかしこの結果は、胎児期修復術が行われるより10数週前の胎生早期に、MMCがどの脊髄レベルに生ずるのかにより、出生後の膀胱機能障害が決定されうること示唆するとも解釈される。しかしこのような評価は、生後1カ月という時点よりさらに長期的な視点でなされるのが妥当であり、今後の長期フォローアップの結果が待たれる。

おわりに

今回は、胎児閉塞性尿路疾患に対する子宮内 intervention の意義・評価という視点から、近年の動向・考え方につき述べてみた。胎児期に選択される intervention 手技としては、腎機能のみならず膀胱機能の生理的発達過程をも損なわないものであることが望ましい。近年の intervention 手技としては、胎児尿路減圧術(超音波ガイド下 vesicoamniotic shunt 等)あるいは胎児尿路閉塞の(胎児内視鏡等による)直接的解除術がおもに選択されている。このような流れにあって、胎児膀胱における生理的(蓄尿—排尿)サイクルも考慮すれば、今後は後者のさらなる手技開発とともに、より生理的な膀胱減圧術の開発が望まれよう。また、これらの子宮内 intervention の意義を高めてゆくポイントとして、一層早期かつ正確な胎児腎機能評価法の開発も不可欠である。

—周産期外科シリーズの連載を終了するにあたり—
 筆者は、これまで本シリーズにおいて、新生児期治療への橋渡しとしての胎児外科治療の意義や現状につき、各疾患ごとに周産期外科という視点から26回にわたり解説を行ってきた。そこで、主な疾患につきほぼ網羅しえた今回をもって、このシリーズを終了することとしたい。このような新しい医学領域につき、学識、経験ともに未熟な筆者が解説するという試みにおいて、長期にわたり想像を越える忍耐

と多大のご尽力によりご支援下さった、栗田洋子氏、および多くの診断と治療社のスタッフの方々には、この場を借りて改めて厚くお礼申しあげる次第である。誠に有難うございました。

- 1) chiba T, et al.: In utero repair of rectal atresia after complete resection of a sacrococcygeal teratoma. *Fetal Diagn Ther* 15:187-190, 2000.
- 2) Harrison MR, et al.: Fetal surgery for congenital hydronephrosis. *N Engl J Med* 306:591-593, 1982.
- 3) Manning FA: International fetal surgery registry: 1985 update. *Clin Obstet Gynecol* 29:551-557, 1986.
- 4) Shimada K, et al.: Follow-up of children after fetal treatment for obstructive uropathy. *Int J Urol* 5:312-316, 1998.
- 5) Kim SK, et al.: Successful vesicoamniotic shunting of posterior urethral valves in the first trimester of pregnancy. *Ultrasound Obstet Gynecol* 26:666-668, 2005.
- 6) Wilson D, Johnson MP: Prenatal ultrasound guided percutaneous shunts for obstructive uropathy and thoracic disease. *Semin Pediatr Surg* 12:182-189, 2003.
- 7) Jouannic J-M, et al.: Perinatal outcome in fetuses with megacystis in the first half of pregnancy. *Prenat Diagn* 23:340-344, 2003.
- 8) Harrison MR, et al. (eds) In: *The unborn patient*, 3rd ed, Saunders, Philadelphia, PA, Fetal obstructive uropathy, Johnson MP, pp 259-286, 2001.
- 9) Agarwal SK, Fisk NM: In utero therapy for lower urinary tract obstruction. *Prenat Diagn* 21:970-976, 2001.
- 10) Quintero RA, et al.: In utero endoscopic treatment of posterior urethral valves: preliminary experience. *Prenat Neonat Med* 3:208-216, 1998.
- 11) Quintero RA, et al.: Percutaneous fetal cystoscopy and endoscopic fulguration of posterior urethral valves. *Am J Obstet Gynecol* 172:206-9, 1995.
- 12) Quintero RA, et al.: In utero percutaneous cysto-

日本小児外科学会雑誌

JOURNAL OF THE JAPANESE SOCIETY OF PEDIATRIC SURGEONS



第43回

日本小児外科学会総会

日程・抄録

平成18年6月7日(水), 8日(木), 9日(金)

総会案内他	(307)
日程	(316)
演題名	(333)
講演内容要旨	(349)

日小外会誌 ● J. Jpn. Soc. Pediatr. Surg.

2006年5月 第42巻 第 3 号

特定非営利活動法人 日本小児外科学会 <http://www.jsps.gr.jp/>

R-13 低侵襲胎児外科手術を対象としたデバイスの研究開発

国立成育医療センター特殊診療部¹⁾, 国立成育医療センター第二専門診療部²⁾, 国立成育医療センター研究所移植・外科研究部³⁾, 北里大学医学部胸部外科⁴⁾, 東京大学大学院情報理工学系研究科⁵⁾, 東京大学大学院新領域創成科学研究科⁶⁾, 東京女子医科大学大学院先端生命医科学研究所⁷⁾, 早稲田大学理工学部機械工学科⁸⁾, (独)日本原子力研究開発機構⁹⁾, アロカ株式会社¹⁰⁾, ペンタックス株式会社¹¹⁾ 千葉敏雄¹⁾, 原田香奈子¹⁾, 藤崎正之²⁾, 絵野沢伸³⁾, 宮本隆司⁴⁾, 土肥健純⁵⁾, 下山 勲⁵⁾, 佐久間一郎⁶⁾, 伊関 洋⁷⁾, 藤江正克⁸⁾, 岡 潔⁹⁾, 望月 剛¹⁰⁾, 日高恒夫¹¹⁾

胎児（および胎盤）外科手術は近年、双胎間輸血症候群、胎児腫瘍、中枢神経・心臓疾患等におよぶ広範な領域で大きな発展を遂げ、子宮切開を伴う従来の直視下手術から、より低侵襲性（内視鏡下、超音波ガイド下）手術への手技的移行も試みられている。しかし、狭い子宮腔内で行う胎児（羊水中に浮遊）や胎盤に対する手術では、術中画像や手術機器の機能的制約が治療成績の向上を妨げていることも事実である。そこで我々は、大学や企業との共同研究により、術者を支援する“新しい目（画像技術）と手（手術機器）”の開発に取り組んでいる。画像技術としては、鳥瞰図ナビゲーション、近接覚ナビゲーション、三次元超音波、三次元内視鏡（細径）、マイクロMRIが挙げられる。鳥瞰図ナビゲーションとは、超音波画像上の（狭視野）内視鏡画像をつなぎ合わせることで擬似的に視野を拡大する技術であり、対象部位の全体像把握に役立つ。近接覚ナビゲーションは、手術対象の危険領域を術前画像にて設定し、その領域に対する手術機器・内視鏡先端の術中接近度を常に監視し、画面の色調変化や警告音にて接触を防ぐものである。三次元内視鏡としては、先端にCCDを2つ配置した世界最小径（径5.4mm）の硬性鏡開発に成功した。マイクロMRIとは、MRI信号受信コイルを内視鏡（MRI対応）先端に取り付け、MRI磁場内で、内視鏡による臓器表面観察とその直下深部の観察を同時に行なうためのものである。一方、手術機器としては、複合光ファイバ、多自由度ロボット鉗子、集束超音波装置（HIFU）の開発を進めている。複合光ファイバとは、画像（内視鏡）伝送用ファイバと治療用レーザーファイバを一体化し先端に集光レンズを装着したものであり、標的部位を内視鏡画像の中心に確認しつつ安全かつ効率的なレーザー照射を可能とする。多自由度ロボット鉗子としては、リンク式とワイヤ式の世界最小径（各々径3.5mm, 2.4mm）のものを開発しており、いずれも片手操作可能にて子宮内での高い自由度が確保される。また、HIFUは、超音波ガイド下での非接触深部治療を可能とし、今後とも胎児治療には大いに期待される。我々は、胎児外科という狭い分野のみならず、あらゆる年齢層の広範な疾患を対象とした治療への応用を目指し、これらの技術開発を進めている。

R-14 後天性声門下腔狭窄症の治療成績に影響を及ぼす因子の検討～術後ステントとしての気管Tチューブの効果と問題点

愛仁会高槻病院小児外科

尾藤祐子, 山本哲郎, 島山 理, 久松千恵子

【はじめに】後天性声門下腔狭窄症（以下本症）は治療に難渋する疾患である。本症患者の抜管成功率を上げるべく使用した気管Tチューブの効果と問題点につき検討を加え報告する。【対象】1985年以降当科にて声門下腔形成術を施行した本症症例のうちTチューブを術後ステントに使用した36例を対象とした。【治療プロトコル】声門下腔の炎症軽減まで気管切開管理・待機手術とする。輪状軟骨前方切開または内視鏡的肉芽切除を行い声門下腔の内腔を確保、喉頭側は声門上を越えてTチューブを留置する。呼吸状態安定後に在宅管理とし、約半年毎に硬性気管鏡下にチューブを交換、声門下腔の所見を評価し抜管を計画する。【結果】1) Tチューブ留置早期（1カ月以内）の問題点：喉頭からチューブ内への唾液の流入や誤嚥が原因で、3例がチューブを短くするため早期交換を必要とした。Tチューブ末梢側の狭窄による呼吸困難を1例に認めた。喉頭側の肉芽形成のため2例は内視鏡下切除、1例はチューブ口側を長くして再挿入、1例はチューブを抜去した。2例は術後11, 22日目に事故抜去し再挿入した。2) 治療成績と長期の問題点：2006年1月までに15例が抜管成功、6例が不成功、16例が留置中である。Tチューブ上端の浮腫・肉芽形成による気道閉塞のため4例が抜去を余儀なくされ、1例は抜去後1カ月以内に声門下腔の再狭窄をきたし気管切開管理に戻った。また留置中症例のうち3例は3年以上留置しており、2例は途中で抜管を試みたが再狭窄にてTチューブの管理を続行している。【まとめ】声門下腔形成術後のステントとしてTチューブを選択するとQOLを大きく損なわず長期留置が可能で、抜管困難な重症例を治療できる可能性が広がる。しかしTチューブの口側を至適位置に留置するのは難しく、肉芽形成により抜去せざるを得ない症例や再狭窄にて抜管できない症例も経験した。治療に難渋する本症に対して15例に抜管できたことは特筆されるものと考えられる。

143.

EXIT

Ex utero intrapartum treatment

国立成育医療センター特殊診療部

千葉敏雄

Toshio Chiba

Key words : 胎児頭頸部腫瘍, CHAOS (congenital high airway obstruction syndrome), 吸入深麻酔/子宮弛緩, 胎児気道確保, 母体出血

EXIT (ex-utero intrapartum treatment) とは、気道系に問題を有する胎児で、出生時の呼吸障害・気道確保困難が予想される場合の lifesaving procedure である。すなわち、分娩時に母体開腹、子宮切開下で胎児を露出し、臍帯非切断下 (すなわち、胎盤循環が保たれた環境下 placental support/bypass) で気道閉塞解除ないし気道確保を行い、子宮内から子宮外環境への円滑・安全な移行をはかる (anoxic brain injury 等を避ける) 術式といえる。

EXIT 手術の適応

- 1) 気管閉塞術を施行した先天性横隔膜ヘルニア (congenital diaphragmatic hernia, CDH) 胎児に対する分娩時気道閉塞解除 (気道確保)。
- 2) 頭頸部・口腔腫瘍 (奇形腫 cervical teratoma, リンパ管腫 lymphangioma など) による気道閉塞 (主に外因性), CHAOS (congenital high airway obstruction syndrome, 気道の形態的異常による内因性の気道閉塞)。これらの場合、双胎妊娠例は必ずしも適応より除外されない。
- 3) その他: 両側性の胎児胸水, EXIT-to-CCAM resection (致死的病態を呈する胎児肺腫瘍 CCAM の分娩時切除), EXIT to ECMO strategy (EXIT with trial of ventilation; 重度心肺機能障害を有する胎児を, EXIT 下に円滑に ECMO 管理に移行せしめる手技)。

1. 胎児頭頸部腫瘍

腫瘍のサイズよりも、その局在 (顔面・頸部あるいは口腔・舌根部, 気管入口部との位置関係) や気道走行異常・distortion の有無が適応決定では重要である。頸部腫瘍では、これが肺低形成を生じ得ること (頸部過伸展で carina が頭側に牽引され、肺組織自体が胸膜腔頂部に陥入される), また goiter との鑑別を念頭におくべきことが重要である (頸部腫瘍に

心室肥大や徐脈がみられれば、羊水腔内への試験的な thyroxine 投与/経過観察も行われる)。

2. CHAOS

内因性気道閉塞 (喉頭/気管閉鎖, 嚢胞など) であり, ①両側肺の腫大 (横隔膜の平坦化やドーム状下方突出) と echogenicity 増加, ② (閉塞部末梢の) 気道拡張, ③ 腹水ないし胎児水腫 (および placentalomegaly, 羊水過多) の併発など, 一連の所見を呈する。

患児家族への出生前カウンセリングでは, ① EXIT など何らかの fetal intervention なしに患児を救命することは困難であること, ② 合併する気管軟化症 (胎児気道の拡張による) や横隔膜機能障害 (横隔膜の胎児期過伸展に伴う) により出生後も一定期間 ventilatory support を要したり, 何らかの出生後気道再建が必要となり得ること, あるいは③ 恒久的な気管切開管理や長期的言語障害の可能性について言及しておくことが望ましい。

EXIT の施行時期

多くは平均 31~36 週で施行されている (通常ステロイド剤があらかじめ投与される)。しかし, 病態 (胎児水腫/心機能障害, preterm labor など) によっては, 緊急あるいは早期の EXIT (20 週後半), あるいは何らかの気道への intervention も考慮される (ただし, 早期の fetal intervention では, 未熟児分娩や気道減圧による肺低形成併発のリスクに注意が必要)。

EXIT と (待機的) 帝切分娩との相違

子宮を切開して児を娩出せしめるという点以外, 両者間に共通点はほとんどない。最も重要な相違は麻酔法にあり, この点が EXIT の最大のリスク (母体術中出血) をもたらす。すなわち, 通常 regional anesthesia (ときに低濃度吸入麻酔剤による全麻) が用いられる帝切とは異なり, EXIT は常に全麻下で, しかも完全な子宮弛緩 (complete uterine relaxation)・子宮血管抵抗低減を得るための高濃度吸入麻酔が行われるために, uterine atony/母体出血および母体低血圧 (子宮灌流低下・胎児低酸素) のリスクをきたすことになる。出血のリスクに対しては, 子宮切開を uterine stapling device にて行い (不妊防止のため吸収性 staple 使用), 臍帯切断前に母体

にオキシトシンが投与される。また母体低血圧に対しては、輸液ないし昇圧剤投与、特に α -adrenergic agent(子宮血管収縮をきたさない ephedrine や phenylephrine)や angiotensin の投与にて対処する。

EXIT のポイント

- EXIT の目的は胎児気道への分娩前アクセスにあり、母体全身状態の十分な把握のほかに胎児画像(超音波, MRI)による胎児気道系の評価が求められる。他の胎児術前評価のポイントは、まず karyotyping/genetic disorder の検索、循環機能評価(胎児心エコー)である。これに胎位、胎盤の位置(anterior, posterior)、臍帯の位置・付着、羊水量、胎児水腫ないし placentomegaly の有無などが加わる。胎児頸部腫瘍では goiter との鑑別、肺低形成併発について常に注意する。
- 術中麻酔は高濃度吸入麻酔剤にて維持される。さらに術中の子宮弛緩維持には、nitroglycerine(静注, 点滴)も時に併用される(その場合は母体肺水腫合併への注意も必要)。
- 各種の加温滅菌機器類を術野に準備しておく。その中には、術中胎児評価用の超音波 probe/cable, 胎児用 pulse oximeter probe/cable, 子宮腔灌流用留置カテーテルおよび加温生食循環回路、新生児用 bronchoscope/光源 cable/カメラヘッド(および cable)等、胎児気管内挿管チューブ, laryngoscope(および胎児口腔・気道内吸引用器機一式)、新生児人工呼吸回路、胎児胸部聴診用 stethoscope, それに胎児手背用静脈留置針・点滴セット、輸液 tube, 三方括栓類、胎児輸血・輸液(いずれも加温)・投薬(筋注, 静注; 胎児鎮痛, 筋弛緩)も含まれる。
- 母体開腹部位は、胎盤付着部位と予想される子宮切開部位により決められる(通常は low transverse abdominal incision)。羊水過多症例では子宮切開前に、(胎盤辺縁の確認とその剥離防止のため)緩徐に羊水を穿刺除去し子宮内減圧をはかる(逆に、fetal version のために amnioinfusion の行われることもある)。子宮切開(uterine stapling device/吸収性 staple)は、吸入深麻酔による十分な子宮弛緩(主に子宮触診にて評価)を確認して行うが、できるだけ通常の帝切部位(lower uterine

segment transverse hysterotomy: 次回妊娠・分娩の可能性を考慮)を選択する。しかし、胎盤付着部位(low anterior placenta など)・辺縁の位置や胎児頭頸部・臍帯の位置(および巻絡の有無)、頸部腫瘍サイズによっては、子宮体部切開(classic hysterotomy)・背側子宮切開(posterior hysterotomy)も考慮される。子宮切開のサイズを縮小せしめる試み(腫瘍内貯留液や胎児腹水の吸引・減圧)はときに有用である。

- 子宮切開後はまず、胎児の頭部・頸部・両肩部のみを引き出し("half" delivery, partial exposure), 胎児気道確保・臍帯切断がなされるまでは臍帯の露出は避ける。しかし、この胎児部分的露出には児低体温のリスクがあり、児の術中保温に注意を要する(子宮よりの露出後、10分で体温は37°Cから31°Cにまで低下し得る)。
- 胎児上肢へは pulse oximetry probe を装着し、ときに静脈ライン留置も行われる。術中胎児モニタリングには、pulse oximetry と胎児心エコーの組み合わせが有用である。術中の胎児麻酔および鎮痛剤で胎児心拍の生理的 variability は喪失するが、徐脈は fetal distress の徴候としてなお有用である(一方、胎児の薄い皮膚や胎児ヘモグロビンの特性は、酸素飽和度計測値の解釈変更を要する)。もし術中に fetal hemodynamics が増悪すれば、まず臍帯の位置・走行、子宮内腔容積ないし子宮壁緊張度、母体出血などをチェックし対応する(含、胎児への輸液・輸血・投薬等)。
- 胎児気道確保のため、①子宮切開口より胎児の頭部・頸部・両肩部のみを引き出す(術中に子宮腔容積を一定程度維持)が、その際、もし臍帯巻絡がある場合は臍帯の不用意な牽引(および胎盤剝離)を避け、また胎盤と胎児とはできるだけ同じレベル高に保つ(胎児の循環血液量変動をおさえる)。術中は早期から、fentanyl, atropine, 筋弛緩剤を胎児に筋注投与する。術中は、子宮切開口より子宮腔内の"continuous amnioinfusion(加温生食ないし lactated Ringer's solution 持続注入)"にて子宮腔容積を維持し、臍帯への圧迫・屈曲を防止する(同時に胎児・子宮・臍帯の保温と臍帯血管の攣縮を防ぐ)。また、②多くは direct laryngoscopy(ないし硬性 bronchoscope)による胎児気道精査がまず行われる。これは、conventional

laryngoscopy による胎児気道確保では、たとえ声門を越えて経口気管内挿管を行っても、その遠位で気管圧迫ないし distortion が存在し得るためである(この場合、頸部腫瘍の manipulation ないし partial dissection・可動化は、bronchoscope の通過あるいは trachea 同定を可能とし得る)。気管内挿管が不能ないし無効の場合には、気管切開(あるいは気管切開口よりの retrograde intubation)も行われる。

- 8) 気道の確保後胎児換気を試みる(気管内吸引や肺表面活性物質注入も行われる)。これが十分奏功しない場合、気管内 tube 位置のチェック、肺聴診(と前胸部の動き観察)を行う。
- 9) 15 分前後の combined oxygenation(胎盤循環/胎児肺換気)にて胎児動脈血酸素飽和度が(30~70%から 90%以上へ)上昇し、右室容積増加(胎児心エコー)もなく、臍帯拍動減弱がみられれば、臍帯の結紮・切断と児娩出は可能である(臍帯動脈・静脈 cannulation の行われることもある；もし胎盤循環を維持するのであれば、胎児肺換気をしてはならない)。もしこの胎児換気・酸素投与に

て児の酸素飽和度が上昇しなければ、児の肺機能や予後は不良と予想される。

- 10) 臍帯クランプに際し吸入麻酔剤は停止(あるいは大幅に低濃度化)され、臍帯切断直前には oxytocin を投与し子宮収縮反応を観察する(もし母体出血が続けば、母体への輸血、子宮収縮剤投与追加を行う)。母体止血、子宮緊張回復、胎盤娩出がみられ、母体循環動態が安定していれば、母体閉腹に向けて吸入麻酔剤を停止し母体覚醒をはかる。娩出された児は直ちに待機専門医チーム(新生児科医、麻酔医、小児外科医、看護師など)のケアに委ねられる。

以上、EXIT 手術の適応や手技的に重要なポイントにつき述べてみた。この手術では、術中の“complete uterine relaxation”が最も重要となるが、実はこの点が母体を最もリスクに曝す問題でもある。ここで、EXIT 手術における“complete uterine relaxation”の 2 面性を克服するものは、手術に参加する多くのスタッフ間の緊密な協力関係にあることを強調しておきたい。

* * *

第4回

日本胎児治療学会



2006年

10月20日(金)・21日(土)



静岡県浜松市 アクトシティ浜松
コンgresセンター

The Japan Society of Fetal Therapy

■事務局/聖隷浜松病院
〒430-8558 静岡県浜松市住吉2-12-12
Tel:053-474-2222 Fax:053-471-6050
日本胎児治療学会ホームページ
<http://fetus.umin.jp/>

■学会長/聖隷浜松病院 麻酔科 小久保狂太郎



第4回 日本胎児治療学会

[プログラム・抄録集]

- 会 期 : 平成18年10月20日(金)・21日(土)
- 会 場 : アクトシティ浜松コンgresセンター 31会議室
静岡県浜松市板屋町111-1
TEL 053-451-1111 FAX 053-451-1123
- 会 長 : 小久保荘太郎(聖隷浜松病院 副院長)

第4回 日本胎児治療学会日程表

第1日目 10月20日(金)

11:00	幹事会 (オークラアクトシティホテル浜松30階 ルビーの間)
12:00	
12:45	
13:00	開会の挨拶 小久保荘太郎 (聖隷浜松病院)
	セッション1 「シャント関連」
	座長：川 鱈 市 郎 (長良医療センター)
	演者：夫 律 子 (クリフム臨床胎児医学研究所MC)
	長 江 秀 樹 (聖マリアンナ医科大学 小児外科)
	湯 元 康 夫 (国立成育医療センター 周産期診療部)
	岩 垣 重 紀 (長良医療センター 産科)
	谷 杏 奈 (徳島赤十字病院産婦人科 産婦人科)
	上 妻 友 隆 (久留米大学病院 総合周産期母子医療センター)
14:30	
14:45	休 憩
	セッション2 「IMD双胎」
	座長：村 越 毅 (聖隷浜松病院)
	林 聡 (国立成育医療センター)
	演者：三 輪 一 知 郎 (山口大学大学院 医学系研究科産科婦人科学)
	林 聡 (国立成育医療センター 周産期診療部胎児診療科)
	住 江 正 大 (山口大学病院 周産母子センター)
	瀬 戸 佐 和 子 (大阪府立母子保健総合医療センター 産科)
	山 本 信 博 (八尾市立病院 産婦人科)
	室 月 淳 (岩手医科大学 産婦人科)
	森 川 守 (北海道大学医学部 産婦人科)
16:30	
16:45	休 憩
	セッション3 「新技術」
	座長：名 取 道 也 (国立成育医療センター)
	窪 田 昭 男 (大阪府立母子保健総合医療センター)
	演者：千 葉 敏 雄 (国立成育医療センター)
	岡 潔 (独立行政法人日本原子力研究開発機構)
	奥 山 宏 臣 (大阪府立母子保健総合医療センター 小児外科)
	藤 崎 正 之 (国立成育医療センター 第2専門診療部心臓血管外科)
	市 塚 清 健 (昭和大学 産婦人科)
	小 室 広 昭 (筑波大学 小児外科)
18:30	
19:00	懇親会 (オークラアクトシティホテル浜松45階スカイバンケット)

第3日目 10月22日(日)

9:00	サテライト企画 超音波セミナー 「胎児治療に向けた超音波診断」
	コーディネーター：村越 毅 (聖隷浜松病院)
	講師：左合治彦 (国立成育医療センター 周産期診療部胎児診療科)
	室月 淳 (岩手医科大学医学部 産婦人科学教室)
	中田雅彦 (山口大学医学部附属病院 周産母子センター)
	石井桂介 (新潟大学大学院医歯学総合研究科 産科婦人科学教室)
	高橋雄一郎 (国立病院機構長良医療センター 産科)
	林 聡 (国立成育医療センター 周産期診療部胎児診療科)
12:00	

14:45～16:30 セッション2 『MD双胎』

座長 村越 毅 (聖隷浜松病院)
林 聡 (国立成育医療センター)

- 7 双胎間輸血症候群に対する胎児鏡下胎盤吻合血管レーザー凝固術前後での胎児循環動態の変化に関する検討
三輪一知郎¹⁾、中田雅彦²⁾、村田 晋¹⁾、住江正大²⁾、杉野法広¹⁾²⁾
山口大学大学院医学系研究科産科婦人科学¹⁾、山口大学医学部附属病院周産母子センター²⁾
- 8 双胎間輸血症候群(TTTS)症例の胎児鏡下胎盤吻合血管凝固術(FLP)後の臨床経過と胎盤所見
林 聡¹⁾、左合治彦¹⁾、井原規公¹⁾、渡場孝弥¹⁾、中村知夫²⁾、伊藤裕司²⁾、千葉敏雄³⁾
北川道弘¹⁾²⁾、渡辺紀子⁴⁾、松岡健太郎⁴⁾、中川温子⁴⁾、名取道也¹⁾²⁾³⁾⁴⁾
国立成育医療センター周産期診療部 胎児診療科¹⁾、周産期診療部 新生児科²⁾、特殊診療部³⁾
臨床検査部病理検査室⁴⁾
- 9 胎児鏡下レーザー凝固術施行中に血管破綻を来たし一児死亡となった一症例
住江正大¹⁾、中田雅彦¹⁾、村田 晋¹⁾、三輪一知郎²⁾、杉野法広¹⁾²⁾
山口大学病院 周産母子センター¹⁾、同大学院医学研究科(産科婦人科)²⁾
- 10 胎児鏡下胎盤吻合血管レーザー凝固術を行わなかった TTTS 11 症例の検討
瀬戸佐和子¹⁾、奥野健太郎¹⁾、数見久美子¹⁾、木下聡子¹⁾、福井 温¹⁾、濱中拓郎¹⁾、門脇浩三¹⁾
末原則幸¹⁾、白石 淳²⁾、北島博之²⁾、奥山宏臣³⁾、窪田昭男³⁾、村越 毅⁴⁾
大阪府立母子保健総合医療センター産科¹⁾、大阪府立母子保健総合医療センター新生児科²⁾
大阪府立母子保健総合医療センター小児外科³⁾、聖隷浜松病院産婦人科⁴⁾
- 11 Discordant twin の小児の臍帯動脈血流波形に途絶・逆流が認められたにもかかわらず予後良好であった MD twin の一例
山本信博¹⁾、常見泰平¹⁾、阪倉滋是¹⁾、新川友子²⁾、柴田真理²⁾、高瀬俊夫²⁾、坂田麻理子³⁾
八尾市立病院産婦人科¹⁾、同小児科²⁾、奈良県立医科大学産婦人科³⁾
- 12 無心体双胎 (TRAP sequence) に対して超音波ガイド下ラジオ波焼灼術 (RFA) による胎児治療をおこなった2例
室月 淳、賀来宏維、高 崇、福島明宗、杉山 徹
岩手医科大学産婦人科
- 13 無心体双胎妊娠における正常児心不全に対する無心体の経皮的ラジオ波焼灼療法(RFA)の経験
森川 守、山田 俊、山崎綾野、山田崇弘、太田智佳子、庄野理奈、佐々木瑞恵、長 和俊
山田秀人、櫻木範明、水上尚典
北海道大学医学部産婦人科

16:30～16:45 休憩

■プログラム 第1日目

16:45～18:30 セッション3 『新技術』

座長 名取 道也 (国立成育医療センター)
窪田 昭男 (大阪府立母子保健総合医療センター)

- 14 TTTSに対するレーザー手術低侵襲化：複合型光ファイバスコープ、ロボット鉗子の開発
千葉敏雄¹⁾、岡 潔²⁾、原田香奈子^{1) 3) 5)}、中村哲也⁴⁾、植田裕久⁴⁾、大川慶直²⁾、藤江正克⁵⁾
国立成育医療センター¹⁾、(独)日本原子力研究開発機構²⁾、(財)医療機器センター³⁾、
ペンタックス(株)⁴⁾、早稲田大学⁵⁾
- 15 TTTSに対するFLPCのための新しいレーザー内視鏡による組織焼灼試験
岡 潔¹⁾、中村哲也²⁾、植田裕久²⁾、千葉敏雄³⁾
独立行政法人日本原子力研究開発機構¹⁾、ペンタックス株式会社²⁾、国立成育医療センター³⁾
- 16 低侵襲子宮内手術のための3D硬性内視鏡と細径ロボット鉗子
千葉敏雄¹⁾、山下紘正²⁾、福与恒雄³⁾、正宗 賢²⁾、佐久間一郎²⁾、土肥健純²⁾
国立成育医療センター¹⁾、東京大学大学院²⁾、(有)新興光器製作所³⁾
- 17 胎児鏡下バルーン気管閉塞術—妊娠羊を用いた実験的検討—
奥山宏臣¹⁾、窪田昭男¹⁾、川原央好¹⁾、長谷川利路¹⁾、上野豪久¹⁾、渡邊高士¹⁾、森下祐次¹⁾、
阪 龍太¹⁾、香河清和²⁾、小野理恵²⁾、臼井規朗³⁾
大阪府立母子保健総合医療センター小児外科¹⁾、麻酔科²⁾、大阪大学小児外科³⁾
- 18 高密度収束超音波(HIFU)を利用した胎児心臓病治療応用への可能性
藤崎正之¹⁾、千葉敏雄²⁾、絵野沢伸³⁾、土肥健純⁴⁾、高本眞一⁵⁾
国立成育医療センター第2専門診療部心臓血管外科¹⁾、国立成育医療センター特殊診療部²⁾、
国立成育医療センター研究所³⁾、東京大学大学院情報理工学系研究科⁴⁾、東京大学附属病院胸部外科⁵⁾
- 19 強出力集束超音波(HIFU)の胎児治療への応用に向けての基礎研究
市塚清健¹⁾、市原三義¹⁾、折坂 勝¹⁾、松岡 隆¹⁾、岡井 崇¹⁾、石田一成²⁾、佐々木一昭³⁾
昭和大学産婦人科¹⁾、日立メディコ²⁾、日立中央研究所³⁾
- 20 新たな幹細胞源としての羊膜の利用とそれを用いた神経再生の試み
小室広昭、真家未妃、瓜田泰久、劉 穎、金子道夫
筑波大学 小児外科

19:00～ 懇親会 (オークラアクトシティホテル浜松 45階スカイバンケット)

14 TTTSに対するレーザー手術低侵襲化:複合型光ファイバースコープ、ロボット鉗子の開発

千葉敏雄¹⁾、岡 潔²⁾、原田香奈子^{1,3,5)}、中村哲也⁴⁾、植田裕久⁴⁾、大川慶直²⁾、藤江正克⁵⁾

国立成育医療センター¹⁾、(独)日本原子力研究開発機構²⁾、(財)医療機器センター³⁾、ペンタックス(株)⁴⁾、早稲田大学⁵⁾

双胎間輸血症候群(TTTS)を対象とした現行の胎児鏡下胎盤吻合血管レーザー凝固術(FLPC)では、(1)レーザー光拡散により標的部位の焼灼エネルギー密度が低下する、(2)時に胎盤表面に垂直にアプローチすることが困難である(特に腹側付着胎盤の場合)、(3)レーザーファイバー先端と胎盤表面との測距ができない、(4)被焼灼血管の血流遺残・再発が確認できないという問題がある。今回我々は、新しい複合型光ファイバースコープと多自由度ロボット鉗子の組み合わせによる、安全・確実な手技を提案したい。

1)複合型光ファイバースコープ(径2.2mm):中心コアにYAGレーザー導光用ファイバーを同軸性に一体化した細径ファイバースコープで、先端に焦点距離10mmの集光レンズ(レーザー光エネルギーの拡散を防ぐ)を備える。高い集光性により、十分な血管焼灼能を発揮すると同時に、先端が鈍であるため物理的接触による胎盤損傷の危険が少ない。本ファイバースコープにはさらに、標的組織までの測距能・血管血流計測能(いずれもリアルタイム)の付与を目指している。

2)(複合型光ファイバー搭載用)細径ロボット鉗子(径2.4mm):ワイヤ駆動式で、現在2自由度の多関節屈曲機構と手持ち式のインターフェイスを備える。ファイバーの最少曲げ半径を確保した上での屈曲が可能で、現在0.7mm(コア径0.4mm)のYAGレーザーファイバーを挿入した状態でも、鉗子自体を動かすことなく任意方向へ先端を90度屈曲させることが可能である。

以上、複合型光ファイバースコープを細径化して細径ロボット鉗子に搭載することにより、FLPCの一層の低侵襲化が可能になると期待される。

15 TTTSに対するFLPCのための新しいレーザー内視鏡による組織焼灼試験

岡 潔¹⁾、中村哲也²⁾、植田裕久²⁾、千葉敏雄³⁾

独立行政法人 日本原子力研究開発機構¹⁾、ペンタックス株式会社²⁾、国立成育医療センター³⁾

双胎間輸血症候群(TTTS)に対し、我々は胎盤付着部位にかかわらず、低侵襲で安全・確実な胎児鏡下胎盤吻合血管レーザー凝固術(FLPC)を可能とすべく新しいレーザー内視鏡装置(複合型光ファイバースコープ)の開発を行った。本ファイバースコープ(外径2.2mm;先端に焦点距離10mmの集光レンズを有し、レーザー光と内視鏡画像情報を一体として伝送)は、カップリング光学系(レーザー光伝送と対象物画像情報の取得用)とレーザー治療用光源等から構成される。

実験系:レーザー照射対象物として豚肝臓を用い、通常のレーザー伝送用光ファイバー(ϕ 0.6mm)と、開発した複合型光ファイバースコープとで組織焼灼能を比較した。組織焼灼度は、顕微鏡によるレーザー照射痕の直径、深さ及び色調変化の計測・観察にて評価した。試験環境として、37°Cの生理食塩水を満たした2重水槽にて子宮内を模擬し、1)光ファイバ先端からのレーザー出力変化(10,20,30,40W)、および2)光ファイバ先端から豚肝臓表面までの距離変化(5,10,15,20mm)の影響について比較検討した。

結果:1)通常使用されるレーザー伝送用光ファイバでは、対象物までの距離とレーザー出力の変化により組織焼灼度は大きく変化していた。一方、2)複合型光ファイバースコープの場合、対象物との距離を10mm(焦点距離)に設定した場合、レーザー出力の変化は焼灼部の色調(いわゆる焼け具合)のみを変動せしめ、照射痕の直径・深さはいずれもが常に一定に保たれていた。これに加え、対象物との距離が10mmを超えた(焦点距離からずれた)場合には、焼灼能が低下し過焼灼が防止された。以上より、複合型光ファイバでは、組織焼灼の範囲・程度の調節が容易であり、安定した治療が可能になると期待される。

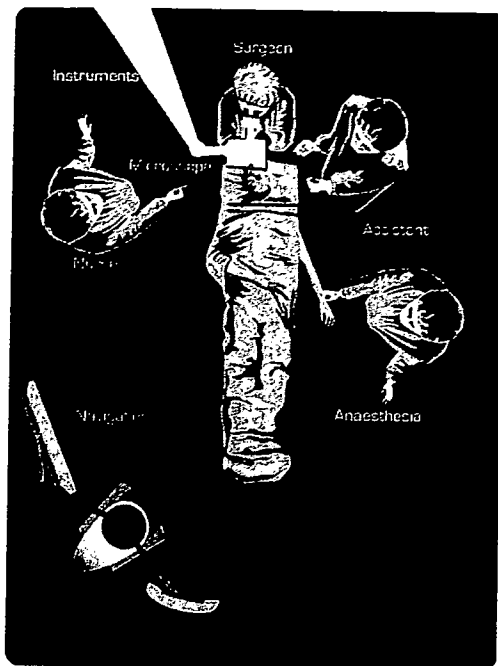


Fig. 1

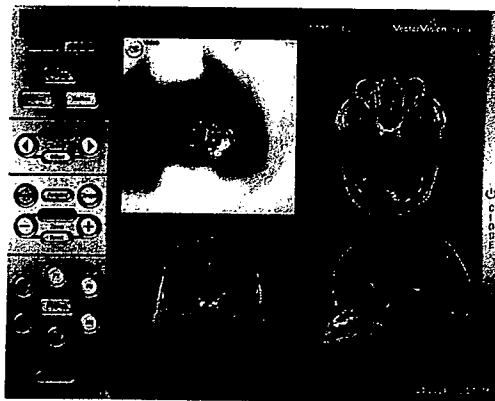


Fig. 2

3 Results

Postoperative MRI investigations of the nine patients treated with image-guided transsphenoidal microsurgery, showed total tumour removal in seven patients (77%) and subtotal in two patients (23%). One patient (11%) developed cerebral a cerebral spinal fluid (CSF)-leak and was treated conservatively. One patient (11%) had preoperative insufficiency of the corticotrope axis which remained unchanged postoperatively. Of the remaining eight patients who did not have preoperative endocrinological disturbance, only one (12%) developed postoperative insufficiency of the corticotrope axis. Out of the seven patients with hormone active tumours, five patients (72%) showed no more postoperative hormonal activity.

4 Conclusion

Microneurosurgical transsphenoidal techniques combined with image guided systems can precisely define the localization and removal of lesions in the sella region with respect to the margins of important anatomical structures in the neighbourhood and the endocrinological functionality of the pituitary gland.

Neuro-navigation system with colour-mapped contour generator for quantitative recognition of task progress and importance

R. Nakamura^a · H. Suzukawa^b · Y. Muragaki^a · H. Iseki^a

^aInstitute of Advanced Biomedical Engineering and Science, Tokyo Women's Medical University, Tokyo, Japan

^bInfocom Corporation, Tokyo, Japan

Keywords Navigation system · Neurosurgery · Segmentation · Tumor resection

1 Introduction

On this research, we focused on the problems: (1) it is difficult for surgeons to recognize the task progress and value of treatment shortly from rich information on medical images shown on the navigation system, (2) it is difficult for surgeons who concentrate to surgical field to see navigation window directly and carefully. In this paper, we report the development of novel navigation system with colour-mapped contour that helps surgeons with intuitive recognition of task progress and values.

2 Method

The segmented tumor volume (or volume of interest) of patients' MRI data is generated by semi-automatic segmentation module [1] and is transferred to navigation system. After the registration between images and surgical fields is completed, contour lines of segmented volumes are generated using the distance between each voxel inside of segmented tumor and the center point of microscope's lens. Segmented volume represents the distance from original volume's boundary with different colors and sounds. We evaluated this navigation system with colour-mapped contour generator using phantom and under clinical trial. We measured computation time to generate colour map on several phantom data and different position of microscope. In clinical trial, we evaluated the availability of navigation system qualitatively by surgeons' review.

3 Results

The computation time of colour map is from 0.20 (tumor size $\Phi 25$ mm) to 6.14 s ($\Phi 100$ mm) on each data. There are no significant differences in calculation time with different microscope positions. In clinical trial, the representation of the quantitative progress and importance of removal procedure, which was not provided under the traditional navigation system, is useful.

4 Conclusion

We developed new navigation system which offers the intuitive and quantitative understanding of a work progress/importance, by displaying a tumor region with contour lines which is generated using the distance between tumor outline and surgeon's viewpoint. We extracted the utility and examination mater on use in phantom test and clinical trial. We will add evaluation and improvements of surgical effectiveness of this system thorough clinical test.

Acknowledgment This research is supported by Health Labour Science Research Grant for medical device for analyzing, supporting, and substituting the function of human body, the Ministry of Health Labour and Welfare.

References

- Hata N, Muragaki Y, Inomata T et al (2005) Intraoperative tumor segmentation and volume measurement in MRI-guided glioma surgery for tumor resection rate control. *Acad Radiol* 12(1):116–122

MRI-based surgical simulation of transtrochanteric rotational osteotomy for femoral head osteonecrosis

T. Koyama · N. Sugano · T. Nishii · H. Miki · M. Takao · Y. Sato · H. Yoshikawa · S. Tamura

Graduate School of Medicine, Osaka University, Osaka, Japan

Keywords MRI-based surgical simulation · Transtrochanteric rotational osteotomy · Osteonecrosis of the femoral head

1 Introduction

Transtrochanteric rotational osteotomy (TRO) [1] is an effective joint-preserving treatment for osteonecrosis of the femoral head

Two-DOFs Bending Forceps Manipulator of 3.5-mm diameter for Intrauterine Fetus Surgery: Feasibility Evaluation

H. Yamashita^a, K. Matsumiya^a, K. Masamune^a, H. Liao^b, T. Chiba^c, T. Dohi^a,

^aGraduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

^bGraduate School of Engineering, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

^cDepartment of Strategic Medicine, National Center for Child Health and Development, Tokyo, Japan

Abstract. This paper proposes 2-DOFs bending forceps manipulator of 3.5-mm diameter for intrauterine fetus surgery, especially for twin-to-twin transfusion syndrome (TTTS). Recent therapy for this case requires endoscopic approach toward placental anastomotic vessels on the placenta through a small trocar. For this purpose, we developed newly designed 2-DOFs bending mechanism. Each DOF bending mechanism consists of 3 frames, 2 links and a pair of guide-wire with simple driving mechanism from -90 to $+90$ degrees, suitable for a miniaturized design to minimize surgical invasiveness. The central channel diameter is 0.8mm to pass various end-effectors. In feasibility study using a phantom model of placenta, this miniature manipulator enabled underwater laser photocoagulation owing to its bending motion of maximum 66 degrees. In conclusion we are sure that the manipulator with 2-DOFs bending motion is clinically useful for TTTS laser therapy.

Keywords: Twin-to-twin transfusion syndrome; Multi-DOFs miniature manipulator; Intrauterine surgery

1. Introduction

Twin-to-twin transfusion syndrome (TTTS), which occurs in 10-15% of monochorionic twin gestations, is a disease caused by circulatory anastomoses resulting in an imbalance in the blood volume between recipient and donor twins. In severely affected case this syndrome is likely to be associated with high perinatal mortality or survivor's life-long handicap [1]. Recently endoscopic laser photocoagulation of anastomotic communicating vessels has been widely accepted as an intrauterine therapeutic option [2]. However the outcome of this procedure is significantly dependent on the placental location. In case of anteriorly located placenta, it might be hard to approach the placental vessels using conventional technologies.

The purpose of this study is to develop a 3.5-mm diameter forceps manipulator with 2-DOFs bending mechanism which enables highly successful endoscopic laser photocoagulation of placental anastomotic vessels. The results of feasibility study using phantom model are also presented.

2. Methods

We designed a new 2-DOFs bending mechanism to miniaturize the diameter of the manipulator suitable for using in intrauterine fetus surgery. This bending mechanism was based on the multi-slider linkage mechanism for laparoscopic forceps manipulator that we had presented previously [3][4], and was vastly-improved to minimize the number of component parts.

2.1 Bending Mechanism

One DOF bending mechanism consisted of three outer frames and one linkage including two links (Fig. 1). The first tip-side frame (Frame1) and the third base-side frame (Frame3) were jointed by the second middle frame (Frame2) with their arc-sides (Arc1 on Frame1 and Arc2 on Frame3) faced and being in touch each other. Frame2 was connected with an actuator by the linkage, and rotated by sliding motion of the linkage around Frame3. Simultaneously Frame1 rotated around Frame2, Arc1 on Frame1 describing an epicycloids curve along Arc2 on Frame3. Radius of Arc1 and Arc2 were same, therefore when Frame2 rotated θ degree by sliding motion of the linkage, Frame1 would rotate 2θ degree against Frame3. Relational expression is formula (1) between the displacement x of Link1 and rotational angle θ of Frame2 with dimensions in Fig. 1.

$$x = L + a(\cos \theta - 1) + b \sin \theta - \sqrt{L^2 - 2(a^2 + b^2)(1 - \cos \theta) + \{a(\cos \theta - 1) + b \sin \theta\}^2} \quad (1)$$

$$= f(a, b, L, \theta)$$

Each frame could rotate maximum ± 45 degrees, so this mechanism gave totally ± 90 degrees with simple rotational procedure (Fig. 2). Because there was no geometric singularity in this mechanism between driving outer frames and links, it was possible to manipulate smooth bending motion.

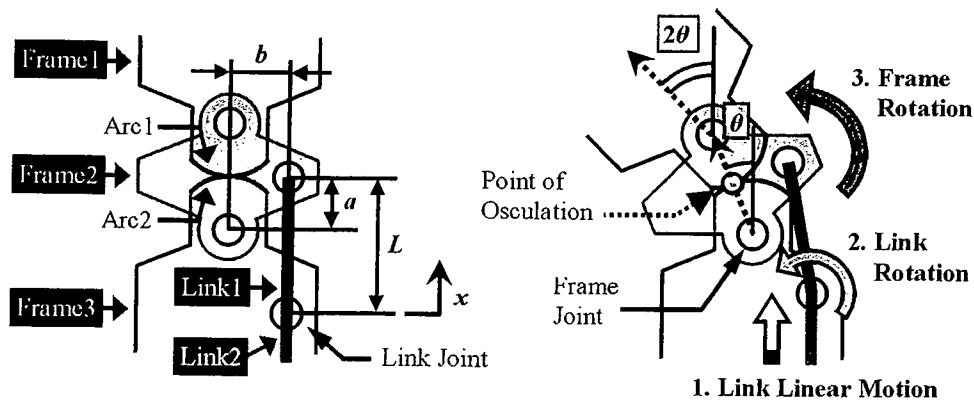


Fig. 1 Basic concept of 1-DOF bending mechanism. Left is component of the mechanism. Right is rolling of Frame1 around Frame3 jointed with Frame2 by linear motion of Link joint.

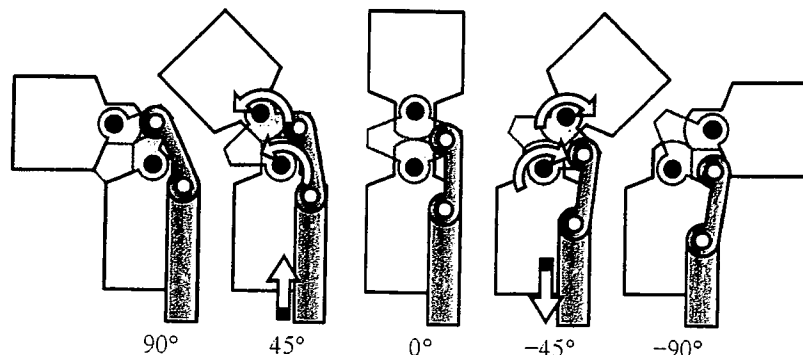


Fig. 2 Bending procedure of 1-DOF mechanism from -90 to $+90$ degrees with only a link linear motion.

In order to prevent a slip between Arc1 on Frame1 and Arc2 on Frame3, we adopted wire-restraint mechanism between Frame1 and Frame3. A pair of fine stainless-steel guide-wire (ASAHI INTECC Co., LTD., F-20) followed Arc1 and Arc2, and connected Frame1 and Frame3 alternately crossing across the point of osculation between Arc1 and Arc2 to enable slip-less both directional bending motion (Fig. 3). These guide-wires were fixed in the frames through the tension guide with springs and guide-rollers to be adjustable flexibly.

2.2 Miniature Manipulator

We connected two 1-DOF bending mechanisms in line with 90 degrees phase difference to realize 2-DOFs bending manipulator, one was for vertical bending and another was for horizontal bending. In order to merge two 1-DOF bending mechanisms for directional independent manipulation, the linkage to drive tip-side bending mechanism was connected with an actuator by the two-axes rotational joint which had the function like a ball-joint (Fig. 4).

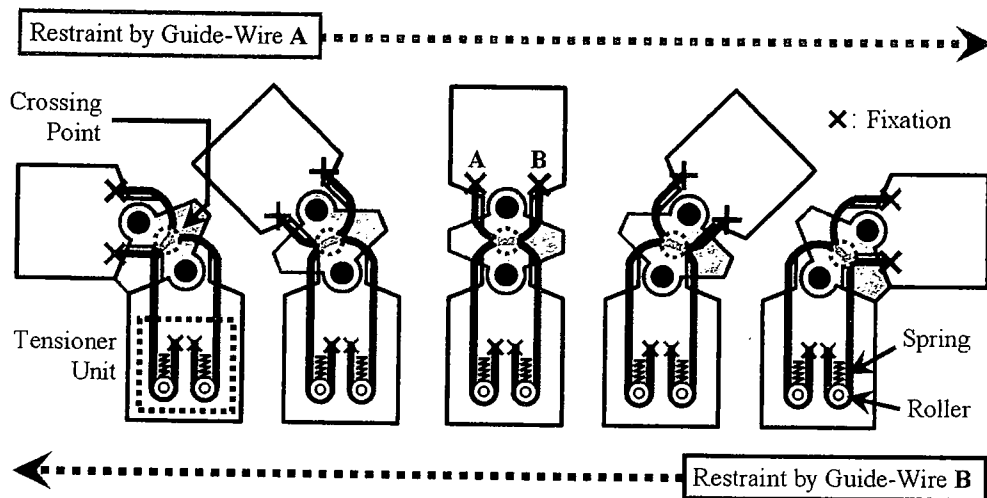


Fig. 3 Wire-restraint mechanism with a pair of guide-wire realizes 1-DOF slip-less bending procedure.

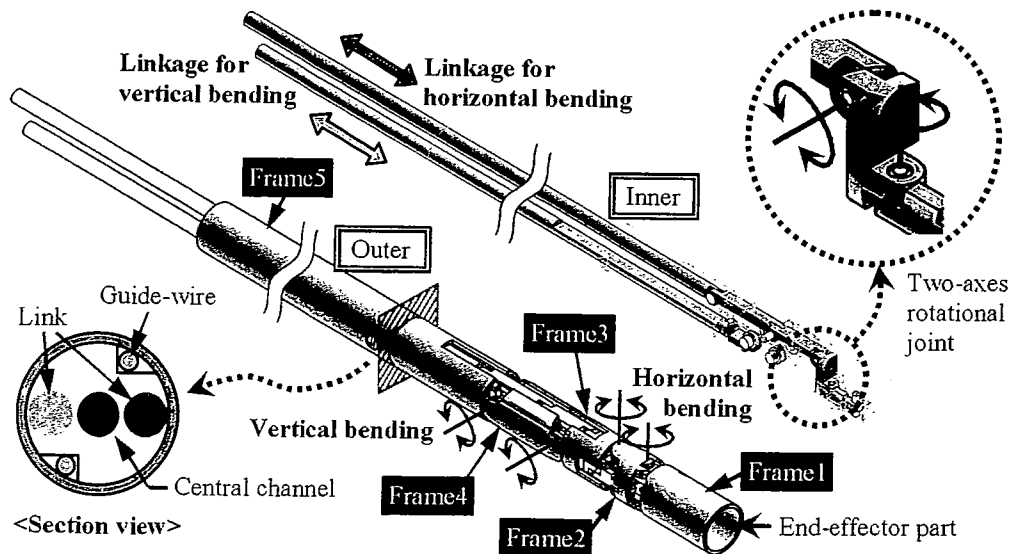


Fig. 4 Architecture of 2-DOFs bending mechanism that consists of 5 outer frames and 2 inner linkages.

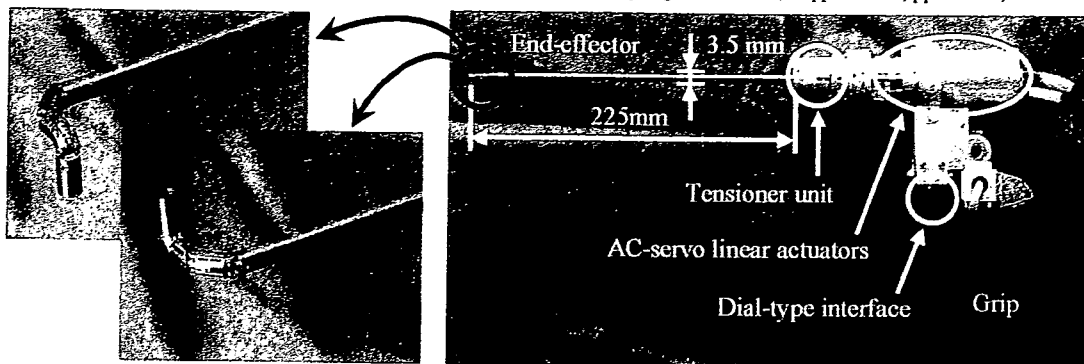


Fig. 5 View of the 2-DOFs miniature manipulator of 3.5-mm diameter and tip's bending part manipulated by independent motions.

Outer diameter of the manipulator was 3.5 mm, and an end-effector channel at the center of frames had 0.8-mm diameter to work various functions depending on the clinical application, such as forceps, scissors, scalpel and even CCD-camera unit for therapy of myelomeningocele (MMC), congenital diaphragmatic hernia (CDH) and so on. In this study, we have mounted a glass-fiber (Dornier MedTech, E-6100-B) for Nd:YAG laser photocoagulation, which is solid-state and continuous-wave laser, and of which outer diameter was 0.7 mm including 0.4-mm core part. Constituent materials of 2-DOFs bending mechanism were all stainless-steel (SUS304 and SUS316) for less friction driving between frames and linkages.

About control system of 2-DOFs bending mechanism, we equipped two AC-servo linear actuators (CHIBA PRECISION CO., LTD., MASC-D16H06) which enabled the accurate PD feedback control. Resolution of these linear actuations was minimum 0.25 μm leading highly accurate bending manipulation. Base-side bending motion interfered in tip-side bending motion, so we calibrated the displacement of sliding linkage for tip-side bending motion so that surgeons using the manipulator needed not consider the characteristics of bending mechanisms. Operation of the manipulator in this study was by the handheld-type controller attached on the actuator-side body (Fig. 5), and surgeons could rotate two dials, which were absolute counting encoders (BOURNS, EAW0J-B24-AE0128) corresponding horizontal and vertical directional bending angles. This controller was detachable easily to be suitable for various clinical applications. Total weight of the manipulator was 470 g including this controller which realized easy and flexible maneuverability for fine intrauterine fetus surgery.

3. Results

In laser photocoagulation evaluation using phantom model of placenta (boneless chicken leg), we examined performance of the manipulator's photocoagulation function with 2-DOFs bending motion (Fig. 6). Nd:YAG laser was set up output power of 50 W and 1-second laser irradiation for clinical practice in TTTS. And fitting in embryonic environment, phantom model was fixed in water during this experiment.

We confirmed that our new manipulator enabled efficient laser photocoagulations of phantom model surface with base-side DOF in the extent of maximum 66-degrees bending angle. Bending torque of maximum 27.9 mNm, which led bending power of