 原 著

術中 3 D 撮影が可能なガントリー自走式ヘリカル C T による 術中 C T 撮影システムを用いた頸椎手術

小寺 俊昭, 久保田 紀彦, 兜 正則, 半田 裕二, 石井 久雅,
竹内 浩明, 佐藤 一史, 古林 秀則, 廣瀬 敏士*

**Cervical Spine Surgery with Intraoperative CT Imaging System
using A Self-Moving Helical CT Scanner Gantry enabling Intraoperative 3D Imaging**

by

**Toshiaki Kodera, Toshihiko Kubota, Masanori Kabuto, Yuji Handa, Hisamasa Ishii,
Hiroaki Takeuchi, Kazufumi Sato, Hidenori Kobayashi, Satoshi Hirose***

from

**Department of Neurosurgery, Fukui Medical University
Department of Neurosurgery, Obama Community Hospital***

We installed an intraoperative computed tomography (CT) imaging system using a self-moving helical CT scanner gantry enabling intraoperative three dimensional (3D) imaging in the operating room, and used this system to assist in cervical spine surgery. Intraoperative CT scanning with this system was performed in 47 patients with cervical spine diseases including cervical spondylosis in 22 cases, ossification of the posterior longitudinal ligament (OPLL) in 14 cases, cervical intervertebral disc herniation in 8 cases, cervical spine injury in 2 cases, and meningioma in the cervical spinal canal in 1 case.

It takes only about 15 minutes for intraoperative CT scanning while the surgical wound remains open, the surgical drapes are kept in place, and the surgical position remains unchanged. We were given enough working space while doing surgery by placing the CT gantry away from the operating table. Self-moving helical CT scanner gantry enabled scanograms, which made it possible to decide accurately the extent of the scanning even after draping of the patient's neck. It also enabled intraoperative 3D imaging of the cervical spine, which was useful especially for determination of the extent of vertebrectomy and detection of residual bony lesions such as osteophyte and OPLL, permitting further surgery when needed. We were able to carry out more complete and safe cervical spine surgery by using this intraoperative CT imaging system.

Key word: intraoperative CT imaging system, 3D-CT, cervical spine surgery

Spinal Surgery 15 (1) : 35~40, 2001

はじめに

近年脳神経外科領域においては、より低侵襲で確実な手術を目指すために、ニューロナビゲーターなどさまざまな手術支援システムが開発されてきている。頸椎病変

に対する顕微鏡下手術においても、アプローチの方向や病変の削除範囲の把握といった点で、手術支援システムの進歩が期待されている。当教室では、ガントリーを自走させることにより撮影する術中CT撮影システムを東

(Received : June 26, 2000, Accepted : October 6, 2000)

福井医科大学 脳神経外科, 公立小浜病院 脳神経外科* (連絡先: 小寺 俊昭, 〒910-1193 福井県吉田郡松岡町下合月23-3 福井医科大学 脳神経外科) Address reprint request to: Toshiaki Kodera, M.D., Department of Neurosurgery, Fukui Medical University, Matsuoka, Fukui, 910-1193, Japan

芝と共同開発し、1997年4月から脳神経外科手術に利用している。1998年9月にはヘリカルCTスキャナが導入され、術中3D-CT撮影も可能となった。本システムの頸椎手術における有用性について報告する。

対象及び方法

術中CT撮影システムは、ヘリカルCTスキャナXvision/SP（東芝）、ガントリー移動ベース、走行レール、手術台、近接操作卓で構成した。CTガントリーは移動ベース上に固定し、手術室の床に設けられた走行レール上を最大で2.85m平行移動させて、手術台へ随時近接、退避できるようにした（Fig.1）。CTガントリーは従来よりコンパクトでかつ口径を72cmと大きくし、術中撮影の操作を容易にした。画像上のアーチファクトを避けるため、頭部支持台にはカーボン製プレートを用い、頭部のオーバーテーブルの代わりに当教室で作製したアクリル製ボックスを用いた。撮影時には手術台の移動は一切行わず、手術台の高さの調整のみ行った。これらCTガントリーおよび手術台の一連の操作は、1台の近接操作卓で行えるようにした。実際の撮影はCTガントリーを自走させることにより行い、スカウトビューや、任意の幅でのヘリカルCTスキニングを可能とした。

まず手術体位決定後、術野消毒前に術前CT撮影を行った（Fig.2a）。下位頸椎の手術などで肩のアーチファクトが問題になるような場合は、全身麻酔、筋弛緩がかかったこの時点で、両肩の牽引など体位の調整を行った。続いてCTガントリーを退避させ、通常通り頸椎病変に対する手術を行った。病変除去後、術中CT撮影を行った。開創のまま患者をデッキで覆い、体位は変えることなく、術前CT撮影時と同様になるように近接操作卓でCTガントリーおよび手術台をセッティングして撮影を行った（Fig.2b）。術中CTの所見から適宜手術操作を追加した。同様にして術後CT撮影も行い、固定状態を評価した。

a

b

Fig.1 Intraoperative CT imaging system. A helical CT scanner gantry is fixed onto the motorized carrier and moves on a rail-track from the sidewall of the operating room (a) to the operating table (b).

1997年4月から2000年2月までに、47例の頸椎手術において本システムを使用した。疾患の内訳は頸椎症22例、後縦靱帯骨化症（OPLL）14例、椎間板ヘルニア8例、頸椎外傷2例、頸椎部髄膜腫1例であった。

結 果

本システムでは、開創のまま、手術台の移動や患者の体位変換を行うことなく、手術操作を約15分中断するだ

Fig.2 Pre- (a) and intraoperative (b) CT scanning in the cervical spine surgery. Intraoperative CT scanning is performed with the surgical wound open, the surgical drapes in place, and the surgical position unchanged.

けで術中CT撮影が可能であった。従来の術中CT撮影システムと異なりスカウトビュー撮影が可能であるため、ドレーピングされた状態でもスキャン範囲を再現性良く決定できた。また、撮影後約5分で鮮明な3D画像が得られた。CT撮影時以外には、ガントリーを退避させておくことにより十分なワーキングスペースを確保することができた。手術器具については、特別な材質のものを必要としなかった。

骨棘、OPLL、変性椎間板、腫瘍などの病変を除去後術中CTを撮影することにより、アプローチの方向や椎体削除の範囲、残存病変の有無を確認することができた。特に大きな骨棘やOPLLの摘出術に際しては、3D画像により、長軸方向の骨削除範囲や、水平断だけでは見落とす可能性のある残存病変も容易に確認することができた。必要に応じて手術操作を追加し、より確実に安全な手術が可能であった。移植骨を用いてinterbody fusionを行う際も、3D-CTを撮影することにより適切な固定を行うことができた。以下、具体的な症例を示す。

症例1：53歳、男性、C5/6頸椎症、C6 OPLL (Fig.3)

C5/6骨棘およびC6椎体、OPLLを除去し、C5-C7間のinterbody fusionを行った。術中水平断CTでは骨削除範囲は十分と思われたが、3D-CTでは外側に骨棘が残存することが確認された。椎体および骨棘の削除を追加した後、自家骨による固定を行った。

症例2：68歳、女性、C5、C6 OPLL (Fig.4.5)

C5、C6椎体およびOPLLを除去し、C4-C7間のinterbody fusionを行った。3D-CTでOPLLが全摘されていることを確認した後、自家骨による固定を行った。

考 察

当教室で考案された術中CT撮影システムの脳神経外科手術における有用性については、これまでも報告してきた[6, 7, 8, 9]。このシステムの大きな特徴はCTガントリーを自走させて撮影するという点で、これにより従来報告されてきた水平断を中心とした術中CT撮影システムの問題点がかなり改善された[4, 10, 13, 14]。本システムの利点としては、1)手術台の移動や患者の体位変換を必要としないため、安全性が高く、短時間で撮影できる、2)スカウトビューやヘリカル撮影が可能であるため、CT室で撮影するものと同様の精度、機能の画像が得られる、3)手術操作中は、CTガントリーを退避させておくことにより十分なワーキングスペースがとれる、といったことが挙げられる。頸椎病変の術中撮影にあたりハードウェアの面で工夫をした点は、ガントリーの開口径を大きくすることにより下位頸椎も容易に撮影できるようにしたこと、アーチファクトを避けるためカーボン製頭部支持台やアクリル製テーブルを用いたことなどである。

頸椎病変の手術においては、頸椎症やOPLLなどに対

a	c	e
b	d	f

Fig.3 Case 1 with C5/6 spondylosis and C6 OPLL. a,b: Preoperative axial and sagittal CT images. c: Intraoperative axial CT image shows almost complete removal of osteophyte and OPLL. d: Intraoperative 3D-CT image shows a residual part of the osteophyte (white arrow). e,f: Postoperative axial and 3D-CT images after additional vertebrectomy and osteophylectomy (black arrow) followed by C5-7 interbody fusion.

する前方からのアプローチに際して、椎体の削除範囲や残存病変の確認が問題になる場面にしばしば遭遇する。これまでも、病変を除去した後の椎間腔に水溶性造影剤を注入してレントゲン撮影を行ったり [17]、エコーでモニタリングしながら椎体削除を行ったりと [5]、確実な病変除去、除圧を行うための様々な工夫がなされてきた。いずれも簡便な方法であるが、正確な把握には限界がある。最近では頸椎病変に対する前方からのアプローチにおいても、ニューロナビゲーターが用いられるようになってきているが [1, 3, 16]、実際に椎体や病変を除去した後の状況は確認できない。このような手術における期待から、当教室では独自に術中CT撮影システムを考案してきた。当教室のシステムではCTガントリーを自走させるという発想により、安全かつ短時間で再現性の高い画像が得られるため、椎体の削除範囲や病変の残存の有無を確認しながら手術操作を進めていくことが可能である。更に本システムでは術中3D-CT撮影も可能であるため、一あるいは複数の椎体に渡る椎体削除範囲の決定や、水平断像では見落とす可能性のある残存病変の確認も容易に行うことができる。

頸椎椎間板ヘルニアの手術においてはCTによる残存病変の確認は困難で、頸椎症やOPLLなどの手術に比べると本システムの有用性が劣ることは否定できない。しかしアプローチの方向の確認という意味で、大変有用である。例えば、keyhole anterior approach without bone graft [12] は優れた術式の一つであるが、keyholeのみで正確に病変部に到達するには十分な経験を要し、全ての術者にとって必ずしも容易ではない。こうした術式を選択した場合、術中CT撮影システムが大変役に立っている。

スクリュー、プレートなど各種spinal

instrumentationを用いた固定術については、ニューロナビゲーターの有用性が多くの施設から報告されている [3, 11, 16]。CTガイド下でのspinal instrumentationの手術は現時点では困難と考えているが、固定状態の確認という点では術中CT撮影システムの有用性は高い。今後、術直前および術中CTとニューロナビゲーターを併用することにより、より安全で確実な固定を可能にするものと思われる。

最近では脳神経外科手術における術中MRイメージングに関する報告が見られ、頸椎病変の手術においても期待されている [2, 15]。しかし術中の残存病変の把握という点では、椎間板ヘルニアよりも頸椎症やOPLLの方が問題になることが多く、それら骨性病変の評価に関してはCTの能力は高い。術中CT、MR撮影システムはそれぞれに利点を備えており、頸椎病変を含めた脳神経外科手術において今後益々発展、普及していくものと思われる。

ま と め

当教室で開発した術中3D-CT撮影システムでは、安全かつ短時間で精度の高い画像が得られ、頸椎手術において大変有用であった。頸椎手術における適応としては、1) 頸椎症やOPLLなど骨性病変に対する前方からのアプローチにおいて、椎体の削除範囲や残存病変を確認する場合、2) 椎間板ヘルニアの手術においては、keyhole surgeryや慣れない術者が手術を行う際、アプローチの方向を確認する場合、3) 長い移植骨やspinal instrumentationを用いた固定術において、固定状態を確認する場合、などが挙げられる。

a	c
b	d

Fig.4 Case 2 with C5 and C6 OPLL.
a,b: Preoperative tomography and axial CT image. c: Intraoperative axial CT image. d: Postoperative axial CT image.

Fig.5 Intraoperative 3D-CT images of case 2 show the adequate extent of vertebrectomy and no residual OPLL.

文 献

1. Albert T, Klein G, Vaccaro A: Image-guided anterior cervical corpectomy. A feasibility study. *Spine* 24: 826-830, 1999
2. Black P McL, Moriarty T, Alexander E III, Stieg P, Woodard EJ, Gleason PL, Martin CH, Kikinis R, Schwartz RB, Jolesz FA: Development and implementation of intraoperative magnetic resonance imaging and its neurosurgical applications. *Neurosurgery* 41: 831-845, 1997
3. Bolger C, Wigfield C: Image-guided surgery: applications to the cervical and thoracic spine and a review of the first 120 procedures. *J Neurosurg (spine)* 92: 175-180, 2000
4. Butler WE, Piaggio CM, Constantinou C, Niklason L, Gonzalez RG, Cosgrove GR, Zervas NT: A mobile computed tomographic scanner with intraoperative and intensive care unit applications. *Neurosurgery* 42: 1304-1311, 1998
5. Goodkin R, Haynor DR, Kliot M: Intraoperative ultrasound for monitoring anterior cervical vertebrectomy. Technical note. *J Neurosurg* 84: 702-704, 1996
6. 兜 正則, 久保田紀彦, 古林秀則, 半田裕二, 佐藤一史, 石井久雅, 竹内浩明, 宇野初二, 有島英孝, 井戸一憲, 上田佳史, 安達正士, 石田雅樹, 長谷川喜也, 柳本政浩, 後藤幸生: 脳神経外科手術のためのレール方式CTスキャナによる術中CT撮影システム. *脳神経* 50: 1003-1008, 1998
7. 兜 正則, 久保田紀彦, 古林秀則, 半田裕二, 佐藤一史, 石井久雅, 竹内浩明, 宇野初二, 有島英孝, 井戸一憲, 上田佳史, 安達正士, 石田雅樹: 手術室設置術中CT撮影システムを用いた経蝶形骨洞下垂体腫瘍摘出術. *ホと臨床* 46: 153-156, 1998
8. 兜 正則, 久保田紀彦, 古林秀則, 半田裕二, 佐藤一史, 石井久雅, 竹内浩明, 北井隆平, 小寺俊昭, 有島英孝, 井戸一憲, 上田佳史, 石田雅樹, 吉田一彦, 笠原数馬: 術中3D撮影, CTアンギオ, CT透視が可能なガントリー自走式ヘリカルCTによる術中CT撮影システムを用いた経蝶形骨洞下垂体腫瘍摘出術. *ホと臨床* 47: 137-140, 1999
9. 久保田紀彦, 兜 正則: 術中CTスキャンの応用. *Clinical Neuroscience* 17: 346-347, 1999

10. Lunsford LD, Parrish R, Albright L: Intraoperative imaging with a therapeutic computed tomographic scanner. *Neurosurgery* 15: 559-561, 1984
11. 水野順一, 中川 洋, 師田信人, 磯部正則, 本郷一博, 張 漢秀: コンピュータの脊椎脊髄外科への応用. *脊椎脊髄* 12: 92-96, 1999
12. 中川 洋, 水野順一, 張 漢秀, 師田信人, 磯部正則, 本郷一博: 頸椎椎間板障害に対する前方到達法における侵襲の少ない手術法. *脳外誌* 8: 189-193, 1999
13. Okudera H, Kobayashi K, Kyoshima H, Gibo T, Takemae T, Sugita K: Development of the operating computerized tomographic scanner system for neurosurgery. *Acta Neurochir (Wien)* 111: 61-63, 1991
14. Shalit MN, Israeli Y, Matz S, Cohen ML: Intraoperative computerized axial tomography. *Surg Neurol* 11: 382-384, 1979
15. Tronnier VM, Wirtz CR, Knauth M, Lenz G, Pastyr O, Bonsanto MM, Albert FK, Kuth R, Stauber A, Schlegel W, Sartor K, Kunze S: Intraoperative diagnostic and interventional magnetic resonance imaging in neurosurgery. *Neurosurgery* 40: 891-902, 1997
16. Vinas FC, Holdener H, Zamorano L, King PK, Li Q, Jiang Z, Diaz FG: Use of interactive-intraoperative guidance during vertebrectomy and anterior spinal fusion with instrumental fixation: Technical note. *Minim Invasive Neurosurg* 41: 166-171, 1998
17. Walker J, Gillespie R, Davis J, Dawson W: Water-soluble contrast medium for intraoperative evaluation of anterior cervical discectomy. Technical note. *J Neurosurg* 68: 491-492, 1988

Reviewer's comment : 石川 正恒 (北野病院 脳神経外科)

自走式ヘリカルCTを用いた術中3D-CTの有用性についてまとめられた論文であり、大変興味深く読ませて頂いた。より確実、より安全な手術を行うための方策として、術前の画像を用いた各種ナビゲーション・システム等が採用されつつあるが、術中の組織偏位に対する補正が十分に出来なければ、役に立たないだけでなく、かえって危険ですらある。本システムは術中に、手術方向の確認や骨削除の程度を正確に知りうる点において有用と考えられ、また、提示された写真をみても十分に臨床応用可能と考えられる。本論文はこのシステムの有用性について述べられたものであるが、このシステムの問題点や使用上の注意点も知りたいところである。また、最近ではcost benefitの問題も重要となっており、本システムを新たに導入する場合、設備等に要する費用も含めて、採算ベースに見合うかどうか知りたいところである。

Reviewer's comment : 庄田 基 (藤田保健衛生大学 脳神経外科)

脊椎手術の成績の向上のために術中MRI, navigation system, fluoroscope, echoそして著者らの報告している術中CTなどが現在応用されている。本論文は頸椎疾患に対して術中CTを撮影することにより、正確な病変部の処理を行い手術のqualityを向上させている。今後の脊椎手術の一つの方向として重要な意味を持つ論文である。本論文には利点が強調されて報告されている。頸椎椎間板ヘルニアなどの骨性病変でない疾患には有効でないと述べられているが、多数を占める軟部組織疾患に対しての適応の拡大も今後の課題であろう。手術室に導入する大型装置としてはinfrastructureから作り直しが必要となる高額装置であり今後の報告に期待したい。