
原 著

下垂体腺腫の海綿静脈洞浸潤の術前予測に関する研究 — 術前 3 テスラ磁気共鳴軸索強調画像所見と術中内視鏡所見の検討 —

渡 邊 直 人

新潟大学大学院医歯学総合研究科分子細胞医学専攻

脳神経外科学分野

(主任：田中隆一教授)

Preoperative Depiction of Cavernous Sinus Invasion by Pituitary Macroadenomas Using Three - dimensional Anisotropy Contrast (3DAC) Magnetic Resonance Axonography on a 3 - tesla System

Naoto WATANABE

Division of Neurosurgery, Department of Molecular and Cellular Medicine,

Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences

(Director: Prof. Ryuichi TANAKA)

要 旨

【目的】3 テスラ磁気共鳴画像装置 (MRI) を用いた 3 次元不等方コントラスト画像法 (3DAC) は、軸索走行の明瞭に描出することを可能とする。内視鏡的経蝶形骨洞手術の導入により、海綿静脈洞内に浸潤した腫瘍に対しても直視下に摘出可能となっている。手術時の脳神経障害を軽減するために、術前に静脈洞浸潤の有無や、腫瘍と静脈洞内脳神経の位置関係情報を正確に獲得することが望まれている。本研究は、3DAC 画像を用い、海綿静脈洞内を走行する脳神経を直接同定し、それらと腺腫との位置関係から海綿静脈洞浸潤の術前予測の可能性を検討することを目的とした。

【方法】単独術者により内視鏡的経鼻経蝶骨洞法により摘出術がなされた下垂体腺腫 (pituitary macroadenoma) 連続 33 例 (海綿静脈洞 66 側) と健常人 25 例 (同 50 側) を対象とした。PROPELLER 法による 3DAC 画像, T2 reverse (T2R) 画像を冠状断で撮像し、海綿静脈洞内の脳神経 (動眼神経, 滑車神経, 外転神経, 眼神経, および上顎神経) の走行を同定した。また、腫瘍と各脳神経との位置関係と内視鏡手術所見における海綿静脈洞浸潤の有無との関連を統計学的に検討した。

【結果】動眼, 眼, 上顎神経は健常対照, 下垂体腺腫患者ともに全側で同定できた。下垂体腺腫

Reprint requests to: Naoto WATANABE
Department of Neurosurgery
Brain Research Institute Niigata University
1 - 757 Asahimachi - dori,
Niigata 951 - 8585 Japan

別刷請求先：〒951-8585 新潟市旭町通り 1-757
新潟大学脳研究所脳神経外科学教室 渡邊直人

患者 33 例 (66 側) 中, 10 例 (12 側) に手術所見で海綿静脈洞浸潤が認められた. 術前評価で動眼神経と腺腫との接触を確認できた 12 側 (18.2 %) では, 全例で腫瘍の静脈洞浸潤が術中内視鏡下に確認された (感度 100 %; 特異度 100 %). 一方, 静脈洞浸潤を有する 12 側中, 術前評価で腺腫と動眼神経・上顎神経の接触を確認出来たのは 10 側であった (感度 83.3 %; 特異度 100 %).

【結論】海綿静脈洞浸潤の有無に拘わらず, 動眼神経ならびに動眼神経・上顎神経は, 画像描出による同定が全例で可能であった. 3DAC 画像により同定された海綿静脈洞内の脳神経と下垂体腺腫との位置関係を検討することにより, 術前に腺腫の海綿静脈洞浸潤の有無を評価することが可能であった. いずれも, 従来の画像診断では得られなかった情報であり, 今回の検討で初めて明らかになった. 3 テスラ装置による PROPELLER 法 3DAC 画像を用いた下垂体腺腫の海綿静脈洞浸潤の検討は, 直ぐに臨床応用が可能な, 極めて有用な評価法であると思われた.

キーワード: Pituitary macroadenoma, Cavernous sinus invasion, Cranial nerves, 3DAC

緒 言

磁気共鳴画像 (MRI) 法の進歩は目覚しく, 臨床応用の四半世紀を経て, その画像解像度は既に肉眼解剖レベルにまでに達し¹⁾, 更に顕微鏡レベルまで向上するのも時間の問題と思われる. その進歩を支える大きな要因として, 静磁場強度の向上と撮像法の開発が挙げられる. 磁場強度に於いては, 3 テスラ装置は, 広く一般臨床に用いられるようになり, ヒト用 7 テスラ装置も世界数カ所で稼働中である. 撮像法では, FLAIR (fluid attenuated inversion recovery) や CISS (constructive interference in the steady state) など多くの新しい撮像法が臨床で活躍している. 中でも, 3 次元不等方コントラスト (3DAC) 画像法は, 軸索走行の描出を可能とする方法として診断のみならず, 術前評価に用いられている²⁾. 本法を応用することにより, 海綿静脈洞内の脳神経を描出することも可能で, その臨床応用が期待されている.

下垂体腺腫は, 髄膜腫と共に良性脳腫瘍では高頻度に認められ, 脳腫瘍全体のおよそ 17 % を占める³⁾. また下垂体腺腫の 6-10 % が解剖学的に隣接する海綿静脈洞に進展し⁴⁾, 良性腫瘍であるにも拘らず静脈洞内に浸潤する症例が少なからず存在する⁵⁾⁶⁾. 下垂体腺腫は海綿静脈洞の内側より浸潤することがほとんどであるが, 海綿静脈洞内を走行する動眼神経をはじめとする脳神経は静脈洞の外側壁内を走行することから, 海綿静脈洞

浸潤による臨床徴候は遅れて出現する傾向にある. すなわち, 症状が出現し, 発見されるまでには, 既に巨大になっていることが多く, 摘出術に伴い合併症の発現率や死亡率は増加するとされている⁷⁾. 海綿静脈洞浸潤は, 下垂体腺腫, 特に非機能性下垂体腺腫の治療を妨げる最も重要な要因の一つであると言っても過言ではない. その為, 術前に海綿静脈洞浸潤の把握の重要性が指摘されている. しかし, 90 年代以降, MR 画像所見に基づく下垂体腺腫による海綿静脈洞浸潤の術前予測のための分類⁸⁾⁻¹⁰⁾ が提唱されてはいるが, 海綿静脈洞に進展する腫瘍が静脈洞内に浸潤しているのか, 内側壁を圧迫しているだけなのかに関して, 腫瘍と内頸動脈との位置関係に基づく帰納的確率論の域を脱しないのが現状である.

近年, 海綿静脈洞浸潤を伴う下垂体腺腫の治療に対して, 内視鏡的経蝶形骨洞手術¹¹⁾⁻¹⁵⁾ および定位放射線治療¹⁶⁾¹⁷⁾ が用いられることが多くなっている. これら先進的治療法において, 治療に関連した脳神経障害を軽減する上で, 浸潤腫瘍の評価と海綿静脈洞内の脳神経を解剖学的に正確に同定することが重要である.

以上の背景から, 本研究は, 3 テスラ MR 装置による 3DAC 画像と T2 reverse (T2R) 画像を用い, (1) 下垂体腺腫 (pituitary macroadenoma) 患者と正常人における海綿静脈洞内の脳神経を直接描出すること, (2) 描出された脳神経と浸潤腺腫との位置関係と内視鏡的経蝶形骨洞手術時の

所見とを比較すること, (3) 検討結果から海綿静脈洞浸潤の術前予測の可能性を検討することを目的として行われた。

対象と方法

対象

新潟大学医歯学総合病院脳神経外科において, 単独術者により内視鏡的経鼻蝶形骨洞法で摘出術が施行された下垂体腺腫 (pituitary macroadenoma) 連続33例 (男性15例, 女性18例) および健常対照として正常被験者25例 (男性12人, 女性13人) について検討した。患者の年齢は19-79歳 (平均52.8歳) で, 非機能性下垂体腺腫25例, プロラクチン産生腺腫4例, 成長ホルモン産生腺腫4例であった。

撮像方法

General Electric 社製 (Waukesha, Wisconsin, USA) Signa-3.0T MR装置を用いて, PROPELLER (periodically rotated overlapping parallel line with enhanced reconstruction) 法¹⁸⁾による拡散強調画像 (DWI) および T2R 画像を冠状断で撮影し, 海綿静脈洞内脳神経 (本研究では, 動眼神経 (Ⅲ), 滑車神経 (Ⅳ), 三叉神経第Ⅰ枝 (眼神経Ⅴ1), 三叉神経第Ⅱ枝 (上顎神経Ⅴ2), 外転神経 (Ⅵ) を意味する) の走行を同定した。各々における詳細な撮像パラメータを以下に記す。

PROPELLER 法による拡散強調画像 (DWI)

撮像野 200 × 200mm; 画素数 256 × 256; スライス厚 5mm; エコートレインレングス (ETL) 12; 繰り返し時間 (TR) 4s; エコー時間 (TE) 72.7msec; 加算回数 (NEX), 3; b-値 1軸あたり 770s/mm²; 磁場強度 3.6gauss/cm; Δ 29msec; δ 19msec. であった。拡散強調傾斜磁場の方向のパターンは, ベクトル (x, y, z) (xは左右方向, yは前後方向, zは上下方向に対応する) で表すと (0, 0, 0), (0, 0, 1), (1, 0, 0), (0, 1, 0) の4パターンとした。1被験者あたりの撮像時間は

17分12秒であった。得られた DWI から 3DAC 画像を作成した²⁾¹⁹⁾²⁰⁾ (図1)。

T2 reverse (T2R) 画像

撮像野 200 × 200mm; 画素数 512 × 512; スライス厚 5mm; TR, 4s; TE 23msec; 反転時間 (TI), 175msec; NEX, 2, で撮像した STIR (short TI inversion recovery) 画像のウィンドウおよびレベルを調整した上で, grayscale を反転して T2R 画像を得た¹⁾。

関心領域の設定

下垂体茎, 乳頭体, それらの中点, 視神経 (下垂体茎から乳頭体との中点と等距離の位置) の4ヵ所で冠状断の 3DAC 画像と T2R 画像を撮像した。

術前 3DAC 画像と内視鏡による術中所見との比較

対象とした連続33症例は, 新潟大学医歯学総合病院において, 術前, 3DAC 画像の結果を知らされていない単独術者により内視鏡的経蝶形骨洞腺腫摘出術が施行され, 高解像度内視鏡下観察により, 海綿静脈洞浸潤の有無が診断された。浸潤が疑われた症例では, 海綿静脈洞内側壁を確認し, 浸潤の有無を判断した。また全例で術中所見をデジタルビデオ記録し, 中立者によるレビューを経て, 術中所見による海綿静脈洞浸潤の有無を確定した。3DAC 画像所見, 特に下垂体腺腫と海綿静脈洞内脳神経との接触の有無ならびに接触の様相は, 統合脳機能研究センター内で中立者により診断された。

腫瘍と各脳神経との位置関係 (接触の様相) と内視鏡下術中所見における海綿静脈洞浸潤の有無との関連を Fisher の直接確率計算法を用いて統計学的に検討した。

結 果

健常者25例 (50側) および下垂体腺腫患者33例 (66側) の海綿静脈洞内脳神経について検討

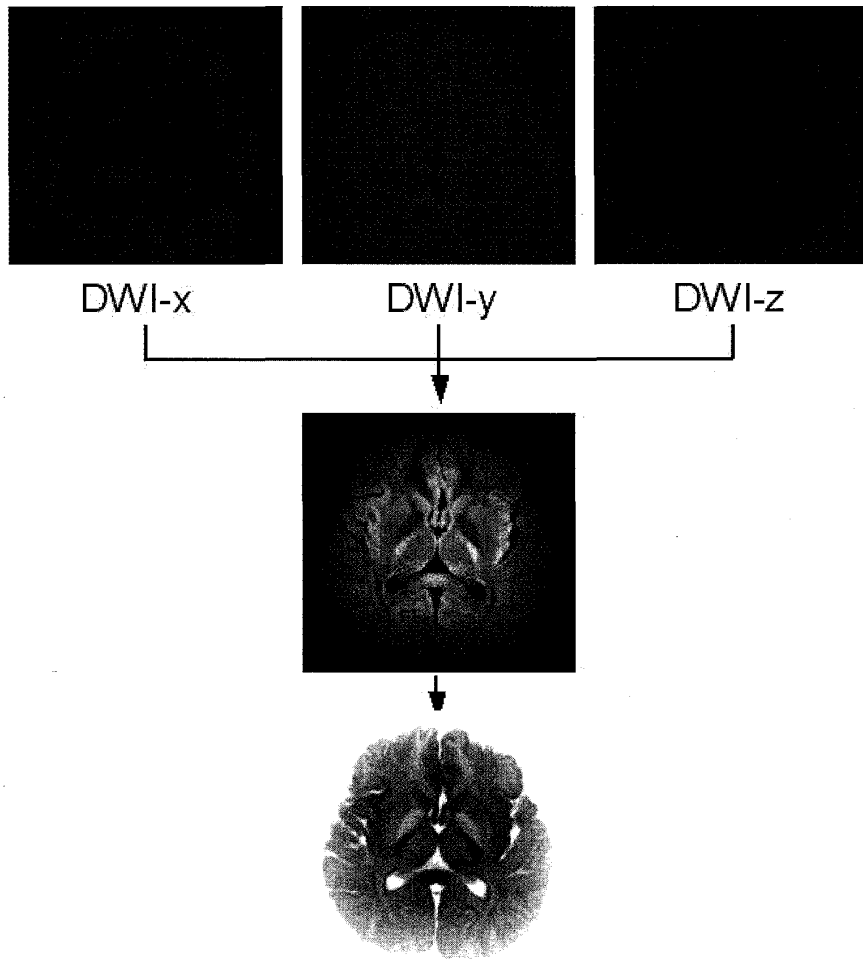


図1 3次元不等方コントラスト画像法 (3DAC) の説明

X, Y, Z 軸の各々一方向に傾斜磁場をかけて得られた拡散強調画像 (DWI) の gray scale をそれぞれ赤, 緑, 青の color scale に変換し, 統合する. その画像の輝度を反転して 3DAC 画像を得る. 軸索走行の情報を高画質で提供している.

した. 図2に代表的な健常者の3DAC画像とT2R画像を提示した. また図3・図4には, 海绵静脈洞浸潤のない下垂体腺腫患者の代表例と浸潤のある下垂体腺腫患者の代表例を示した.

健常者50側において同定できた海绵静脈洞内脳神経は, 動眼神経50側(100%), 滑車神経38側(76%), 三叉神経(上顎神経・眼神経)50側(100%), 外転神経36側(72%)であった(表1). 一方, 下垂体腺腫患者66側では, 動眼神経66側(100%), 滑車神経29側(44%), 三叉神経(眼神経・上顎神経)66側(100%), 外転神経25

側(38%)であった(表1). 3DAC画像により, 健常者群および下垂体腺腫群全例において海绵静脈洞内の動眼神経および三叉神経(眼神経・上顎神経)の同定ができた.

下垂体腺腫患者33例(66側)中, 10例(12側)に手術所見で海绵静脈洞浸潤が認められた. 術前評価で動眼神経と腺腫とが面で接触していることが確認できた12側(18%)では, 全例で腫瘍の静脈洞浸潤が術中内視鏡下に確認された($p < 0.001$; 感度100%; 特異度100%). 一方, 浸潤の確認できた12側のうち, 眼神経・上顎神経が

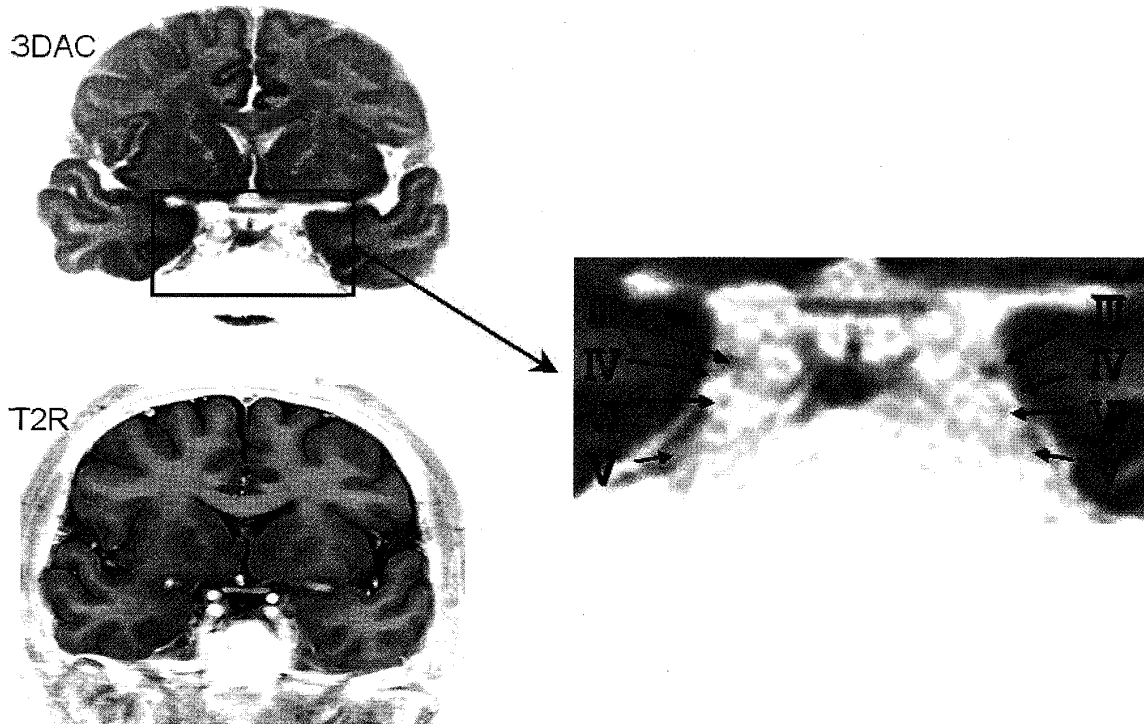


図2 海綿静脈洞の3DAC画像およびT2R画像(正常例)
 動眼神経(Ⅲ), 滑車神経(Ⅳ), 三叉神経(Ⅴ), 外転神経(Ⅵ)が明瞭に描出されている。

面で接触していることを確認出来たのは10例(15%)であった($p < 0.001$; 感度83.3%; 特異度100%) (表2)。

考 察

海綿静脈洞内に浸潤した下垂体腺腫の摘出は、従来の顕微鏡下経蝶形骨洞手術においては困難であったが、近年内視鏡的経蝶形骨洞手術の導入により、海綿静脈洞内に浸潤した腺腫でさえも直視下に比較的安全に摘出できるようになった²¹⁾。その際、術前に浸潤の有無、浸潤腫瘍と海綿静脈洞内の血管および脳神経の解剖学的位置関係を症例ごとに十分に把握しておくことが重要である。しかし、従来行われていた通常のMRIによる検索では腫瘍の海綿静脈洞浸潤の有無や脳神経の走行に関して十分な情報が得られないのが現状である。最近3テスラMRIを用いて、海綿静脈洞内の脳神経を同定することが可能との報告があっ

たが²²⁾、通常の画像法による検討であるが故に、神経以外の構造物を神経と誤認してしまう危険性が高いと思われる。描出された解剖学的構造物が神経であるのか否かの検討には、他の撮像法による3次元的情報収集が必須となる。すなわち健常例でさえ海綿静脈洞内脳神経の局在同定は困難であり、まして正常な解剖学的構造が失われている臨床例では殆ど不可能に近い。

本研究では、海綿静脈洞内への腫瘍の浸潤およびその脳神経の関係を検討する方法論として、3テスラMRI装置によるPROPELLER 3DAC画像¹⁸⁾を用いた。3DAC画像を用いることにより神経線維走行の方向性が強調され、脳神経を高いコントラストをもって、血管・脳実質等と明瞭に区別し、同定することが出来るが、元になるDWIの「質」が検出力を大きく左右する。3テスラMRI装置を用いた画像は、信号ノイズ比を向上させるが、同時に磁場の不均一に関連した画像の歪み(磁化率アーチファクト)の増強をもたらす。

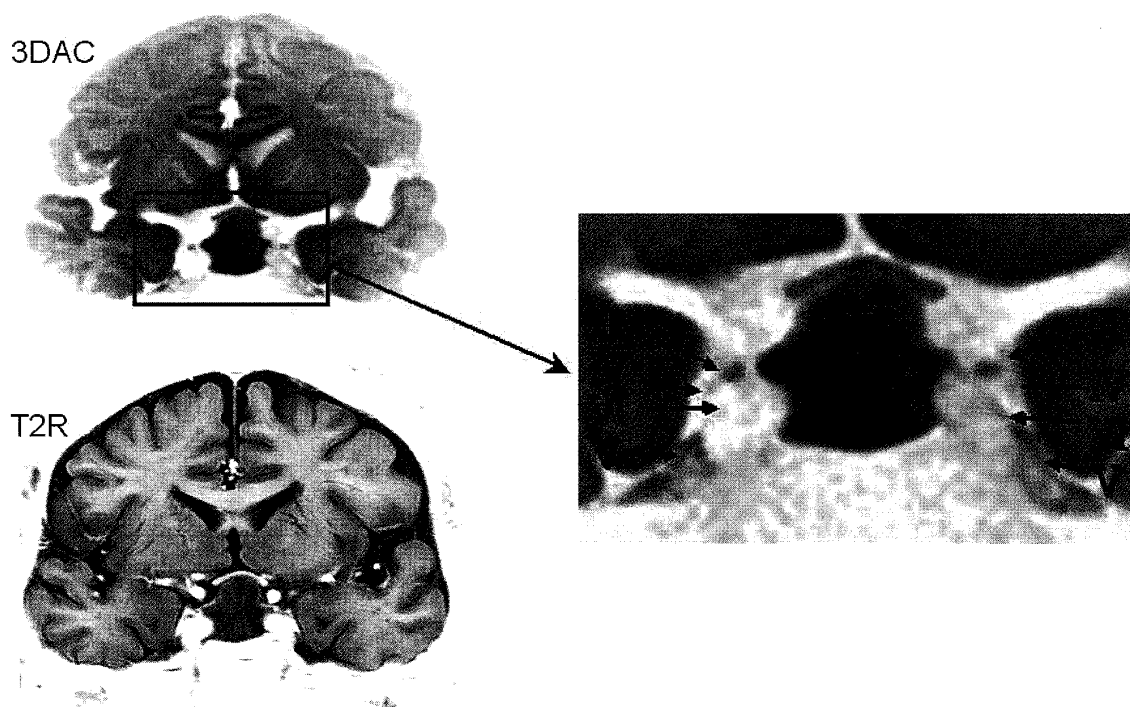


図3 海绵静脈洞の3DAC画像およびT2R画像（下垂体腺腫例：海绵静脈洞浸潤無し）
 動眼神経（Ⅲ），滑車神経（Ⅳ），三叉神経（Ⅴ），外転神経（Ⅵ）が明瞭に描出されている。
 動眼神経と腫瘍とは接していない。

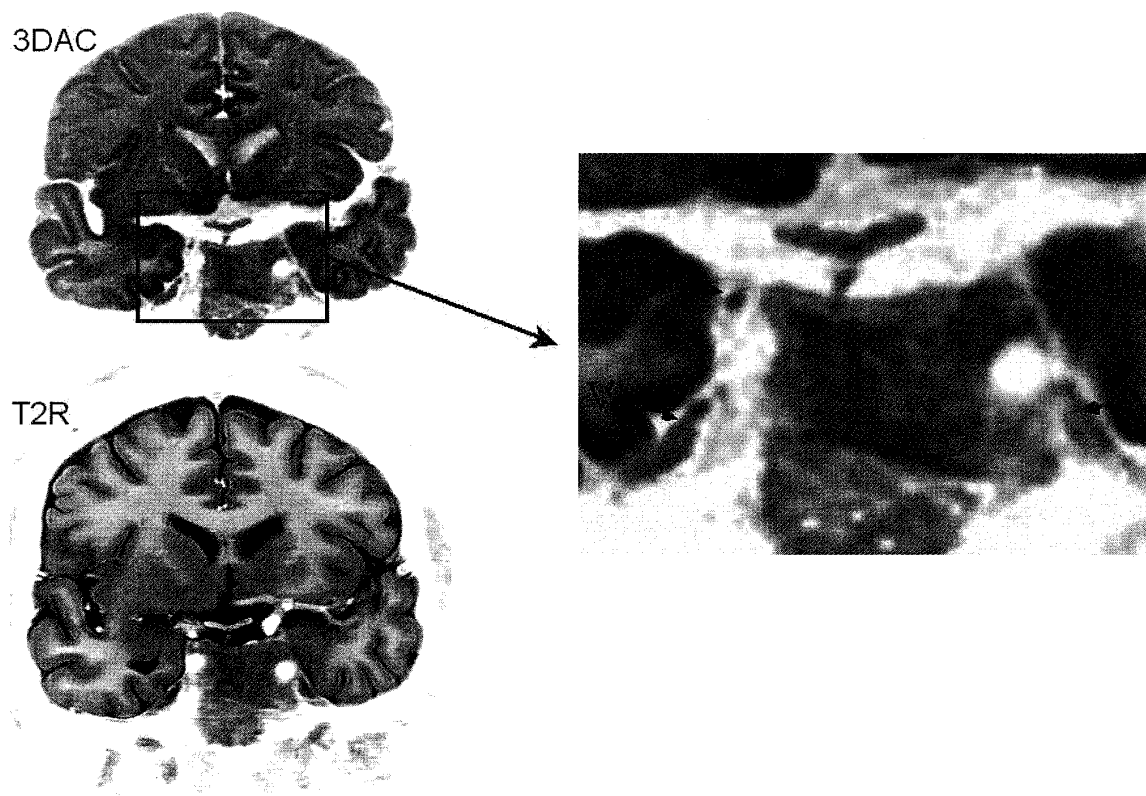


図4 海绵静脈洞の3DAC画像およびT2R画像（下垂体腺腫例：海绵静脈洞浸潤あり）
 動眼神経（Ⅲ）に腫瘍が面で接している。

表1 健常者25人(50側)および下垂体腺腫患者33人(66側)における術前3DAC画像による海綿静脈洞内脳神経の同定率

	動眼神経 (Ⅲ)	滑車神経 (Ⅳ)	三叉神経 (V1/V2)	外転神経 (Ⅵ)
健常者(50側)	50 (100%)	38 (76%)	50 (100%)	36 (72%)
下垂体腺腫症例(66側)	66 (100%)	29 (44%)	66 (100%)	25 (38%)

表2 下垂体腺腫患者33人(66側)における術前3DAC画像所見と手術所見の関係

	内視鏡的手術所見		感度 (%)	特異度 (%)
	浸潤あり	浸潤なし		
動眼神経(Ⅲ)				
面で接触あり	12	0	100	100
面で接触なし	0	54		
三叉神経(V1/V2)				
面で接触あり	10	0	83.3	100
面で接触なし	2	54		

海綿静脈洞付近は、蝶形骨洞内含気等の影響により、最も磁化率アーチファクトによる歪みが起こり易い部位である。一般臨床に用いられているエコープランナー(EPI)によるDWIでは、海綿静

脈洞付近の観察は極めて困難である。一方、PROPELLERシーケンスは、高速スピネコーに基づいた撮像法で、磁化率アーチファクトを軽減することが可能であり¹⁷⁾、そのデータ取得法の特徴

から、体動、血液・髄液の動きによるアーチファクトも軽減できる利点がある²³⁾。以上の理由により、本研究では、海綿静脈洞内の脳神経および浸潤した腫瘍の観察が、高い信頼性をもって検討が可能であった。すなわち、正常下垂体および下垂体腺腫は、高いT₂値と低い等方拡散を反映して灰白色に描出され、海綿静脈洞内の脳神経はその走行の方向性から緑の色調で描出され、両者は明瞭に区別することができた。また海綿静脈洞浸潤の有無にかかわらず（海綿静脈洞浸潤側であっても）、動眼神経ならびに三叉神経第Ⅰ枝（眼神経）、Ⅱ枝（上顎神経）においては、全例において3DAC画像による同定が可能であった。更には、全周を腺腫で包含されている脳神経（腺腫の中を貫通して走行する状態）の同定さえも可能であった。

従来の顕微鏡下経蝶形骨洞手術では腫瘍の海綿静脈洞浸潤の有無を確認することは困難なことが多いため、浸潤の有無の判定結果には疑問が残るが、本研究で用いた内視鏡的経蝶形骨洞手術では、腫瘍の海綿静脈洞浸潤の有無を直視下に確実に判定することができた。その判定結果から、3DAC画像を用いて海綿静脈洞内の脳神経と下垂体腺腫との位置関係を検討することにより、極めて高い精度で術前に腺腫の海綿静脈洞浸潤の有無を予測することが可能であることが明らかになった。MRI所見に基づく下垂体腫瘍の海綿静脈洞浸潤の予測に関してこれまでに報告されてきた研究^{8) - 10)}では、腫瘍と内頸動脈との位置関係、即ち間接的所見に基づく確率論的により予測するものであった。本研究では、海綿静脈洞の内側壁の損傷を直接的に捉えることは出来なかったが、外側壁を示現する動眼神経および三叉神経を同定が可能となり、それらと腫瘍との位置関係を直接検討できたことが腫瘍の浸潤を高い感度、特異度で予測しえた最も重要な要因であったと考える。下垂体腺腫の海綿静脈洞浸潤の有無が極めて高率に予測可能となること、また、海綿静脈洞内の脳神経の走行と、それらと腫瘍との位置関係を術前に把握できるようになることは、海綿静脈洞浸潤を有する下垂体腺腫の手術に携わる外科医にとつ

て、手術戦略を立てる上でもインフォームドコンセントの際にも、極めて有用な情報になると思われる。

本研究では、3DAC画像により、動眼神経ならびに眼神経、上顎神経の同定は全例において可能であったが、滑車神経および外転神経の同定に関しては必ずしも満足のいく結果ではなかった。浸潤下垂体腺腫に対する手術において、外転神経は内頸動脈とともに損傷されやすいと言われている²⁴⁾。今後の課題としては、解像度のさらなる向上とコントラストの改善により、動眼神経や三叉神経よりも微細な滑車神経や外転神経の描出を可能にすること、更には、今回は困難であった海綿静脈洞内側壁の損傷を直接捉えることが挙げられる。また3DAC画像に必要な撮像を完了するために、被験者は少なくとも17分程度の静止を強いられた。撮像時間の短縮が実現することによって、より多くの患者への応用、たとえば長時間の静止が困難な小児や高齢者での撮影も、更に「現実的」となるものと思われる。

結 論

3テスラMRI装置によるPROPELLER 3DAC画像を用いた、海綿静脈洞内脳神経と下垂体腺腫との位置関係の把握は、腺腫の海綿静脈洞浸潤の予測に極めて有用であり、臨床応用が可能な、感度ならびに特異度が極めて高い評価法であると思われる。

謝 辞

本研究は文部科学省の助成を受けて行われた。また、研究の遂行のために、ご指導・ご助言を頂いた、新潟大学脳研究所脳神経外科の田中隆一教授、新潟大学脳研究所統合脳機能研究センターの中田力教授に深く御礼を申し上げます。また、撮像ならびに診断にご助力頂きました、新潟大学脳研究所統合脳機能研究センターの藤井幸彦助教授ならびに松澤等助教授に、そして手術遂行ならびに術中ビデオ供覧をお許し頂いた、新潟大学医歯学総合病院の妻沼到助手および米岡有一郎医師に深謝致します。

本研究は、第63回日本脳神経外科学会総会（平成17

年, 横浜) において発表した。

文 献

- 1) Fujii Y, Nakayama N and Nakada T: High - resolution T2 - reversed magnetic resonance imaging on a high magnetic field system. Technical note. *J Neurosurg* 89: 492 - 495, 1998.
- 2) Nakada T, Nakayama N, Fujii Y and Kwee IL: Clinical application of three - dimensional anisotropy contrast magnetic resonance axonography. Technical note. *J Neurosurg* 90: 791 - 795, 1999.
- 3) 脳腫瘍全国統計委員会・日本病理委員会 脳腫瘍の種類と頻度, 臨床・病理 脳腫瘍取扱い規約 臨床と病理カラーアトラス. 第2版, 金原出版, pp9 - 12, 2002.
- 4) Ahmadi J, North CM, Segall HD, Zee CS and Weiss MH: Cavernous sinus invasion by pituitary adenomas. *AJNR Am J Neuroradiol* 6: 893 - 898, 1985.
- 5) Martins AN, Hayes GJ and Kempe LG: Invasive pituitary adenomas. *J Neurosurg* 22: 268 - 276, 1965.
- 6) Lundberg PO, Drettner B, Hemmingsson A, Stenkvist B and Wide L: The invasive pituitary adenoma. *Arch Neurol* 34: 742 - 749, 1977.
- 7) Wilson CB: Neurosurgical management of large and invasive pituitary tumors. In: Tindall GT, Collins WF (eds) *Clinical management of pituitary disorders*. Raven, New York, pp335 - 342, 1979.
- 8) Knosp E, Steiner E, Kitz K and Matula C: Pituitary adenomas with invasion of the cavernous sinus space: A magnetic resonance imaging classification compared with surgical findings. *Neurosurgery* 33: 610 - 618, 1993.
- 9) Cottier JP, Destrieux C, Brunereau L, Bertrand P, Moreau L, Jan M and Herbreteau D: Cavernous sinus invasion by pituitary adenoma: MR imaging. *Radiology* 215: 463 - 469, 2000.
- 10) Vieira JO Jr, Cukiert A and Liberman B: Magnetic resonance imaging of cavernous sinus invasion by pituitary adenoma diagnostic criteria and surgical findings. *Arq Neuropsiquiatr* 62: 437 - 443, 2004.
- 11) Cappabianca P, Alfieri A and Divitiis E: Endoscopic endonasal transsphenoidal approach to the sella: towards functional endoscopic pituitary surgery (FEPS). *Minim Invasive Neurosurg* 41: 66 - 73, 1998.
- 12) Alfieri A: Endoscopic endonasal transsphenoidal approach to the sellar region. technical evolution of the methodology and refinement of a dedicated instrumentation. *J Neurosurg Sci* 43: 85 - 92, 1999.
- 13) Jho HD and Alfieri A: Endoscopic transsphenoidal pituitary surgery various surgical techniques and recommended steps for procedural transition. *Br J Neurosurg* 14: 432 - 440, 2000.
- 14) Cappabianca P, Alfieri A, Colao A, Cavallo LM, Fusco M, Peca C, Lombardi G and Divitiis E: Endoscopic endonasal transsphenoidal surgery in recurrent and residual pituitary adenomas: technical note. *Minim Invasive Neurosurg*. 43: 38 - 43, 2000.
- 15) Jho HD and Alfieri A: Endoscopic endonasal pituitary surgery. Evolution of surgical technique and equipment in 150 operations. *Minim Invasive Neurosurg* 44: 1 - 12, 2001.
- 16) Shin M, Kurita H, Sasaki T, Tago M, Morita A, Ueki K and Kirino T: Stereotactic radiosurgery for pituitary adenoma invading the cavernous sinus. *J Neurosurg* 93: 2 - 5, 2000.
- 17) Fukuoka S, Ito T, Takanashi M, Hojo A and Nakamura H: Gamma knife radiosurgery for growth hormone - secreting pituitary adenomas invading the cavernous sinus. *Stereotact Funct Neurosurg* 76: 213 - 217, 2001.
- 18) Pipe JG, Farthing VG and Forbes KP: Multishot diffusion - weighted FSE using PROPELLER MRI. *Magn Reson Med* 47: 42 - 52, 2002.
- 19) Nakada T, Matsuzawa H and Kwee IL: Magnetic resonance axonography of the rat spinal cord. *NeuroReport* 5: 2053 - 2056, 1994.
- 20) Nakada T and Matsuzawa H: Three - dimensional anisotropy contrast magnetic resonance imaging of the rat nervous system: MR axonography.

- Neurosci Res 22: 389 - 398, 1995.
- 21) Cappabianca P, Cavallo LM, Calao A, Del Basso De Caro M, Esposito F, Cirillo S, Lombardi G and Divitiis E: Endoscopic endonasal transsphenoidal approach: outcome analysis of 100 consecutive procedures. *Minim Invasive Neurosurg* 45: 193 - 200, 2002.
- 22) Wolfsberger S, Ba - Ssalamah A, Pinker K, Mlynarik V, Czech T, Knosp E and Trattinig S: Application of three - tesla magnetic resonance imaging for diagnosis and surgery of sellar lesions. *J Neurosurg* 100: 278 - 286, 2004.
- 23) Pipe JG: Motion correction with PROPELLER MRI: application to head motion and free-breathing cardiac imaging. *Magn Reson Med* 42: 963 - 969, 1999.
- 24) Thapar K and Law ER: Pituitary Surgery. In: Thapar K, Kovacs K, Scheithauer BW and Lloyd RV (eds): *Diagnosis and Management of Pituitary tumors*. Humana Press Inc, Totowa, New Jersey, pp225 - 246, 2001.

(平成 17 年 12 月 26 日受付)