

表 題 3D Double-Echo Steady-State with Water Excitation (3D-DESS-WE)法を用いた 3 テスラ MRI での末梢神経描出のための基礎的検討および大後頭神経・小後頭神経の描出

論 文 の 区 分 論文博士

著 者 名 菊地 智博

所 属 自治医科大学 放射線医学講座

2021年 4月 15日申請の学位論文

紹 介 教 員 地域医療学系 専攻 放射線診断学
職名・氏名 教授 森 壱

目次

3D Double-Echo Steady-State with Water Excitation (3D-DESS-WE)法を用いた 3 テスラ MRI での末梢神経描出 のための基礎的検討および大後頭神経・小後頭神経の描出

1. 背景と目的	p.2 - 6 (図表含む)
2. 基礎的検討	p.7 - 11 (図表含む)
3. 臨床応用	
3.1 研究方法	p.12 - 18 (図表含む)
3.2 結果	p.19 - 21 (図表含む)
3.3 考察	p.22 - 25
4. 結論	p.26
5. 参考文献	p.27 -31

1. 背景と目的

1.1 後頭神経痛と大後頭神経・小後頭神経

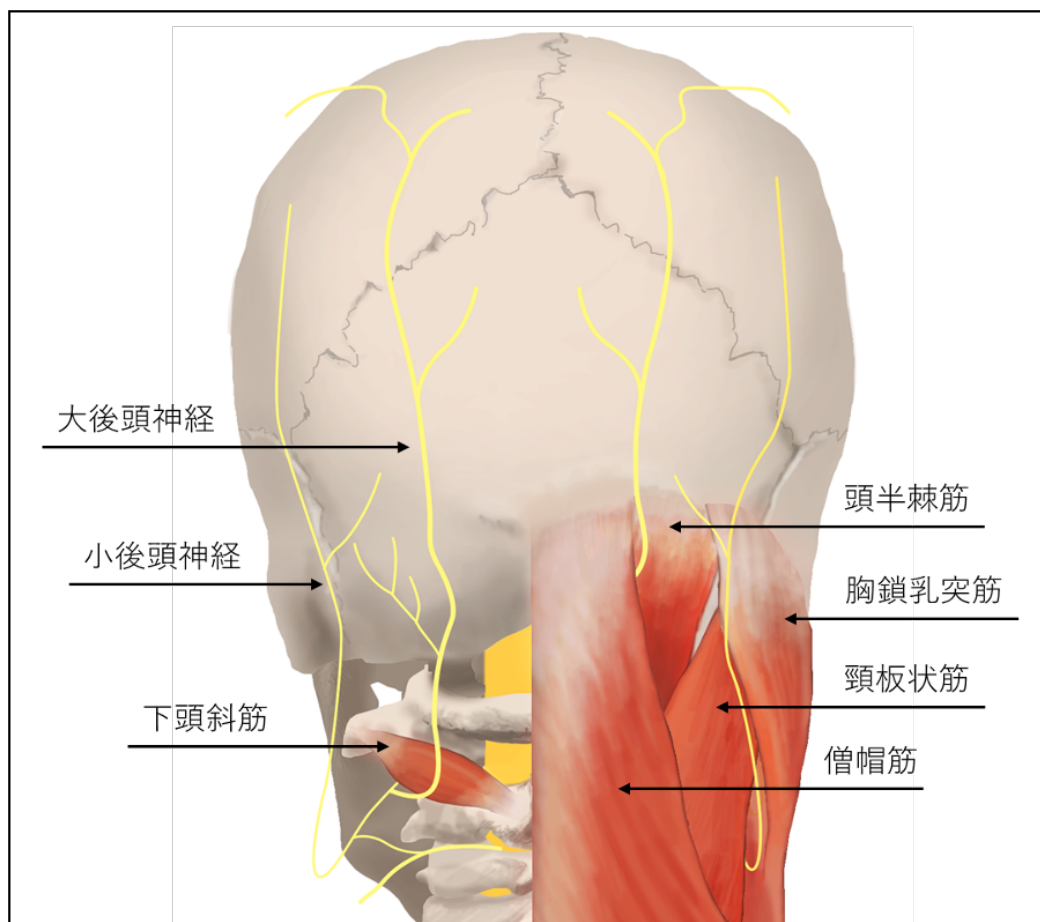
頭痛分類の一つとして、後頭神経痛 (Occipital neuralgia; ON) という、大後頭神経および小後頭神経の支配領域においてズキンとするような、刺すような、鋭い痛みを後頭部に来す疾患が知られている¹。国際頭痛分類第3版 (ICHD-3) の後頭神経痛の診断基準を以下に示す (表1)²。

(表1 後頭神経痛診断基準)

- | |
|--|
| <p>A. 片側性または両側性の痛みであり、基準 B～E を満たす。</p> <p>B. 痛みは大後頭神経、小後頭神経または第3後頭神経のいずれか1つ以上の支配領域に分布する。</p> <p>C. 痛みは以下の3つの特徴のうち少なくとも2項目を満たす。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 数秒～数分間持続する疼痛発作を繰り返す。2. 激痛。3. ズキンとするような、刺すような、または鋭い痛み。 <p>D. 痛みは次の両者を伴う。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 頭皮または頭髪（あるいはその両方）への非侵害刺激によって、異常感覚またはアロディニア（あるいはその両方）が出現する。2. 以下のいずれかまたは両方。<ol style="list-style-type: none">a) 障害神経枝上の圧痛。b) 大後頭神経の出口部あるいは C2 領域のトリガーポイントがある。 <p>E. 痛みは障害神経の局所麻酔薬によるブロックで一時的に改善する。</p> <p>F. ほかに最適な ICHD-3 の診断がない。</p> |
|--|

ON は頸椎の退行性変化や頸部の筋群による神経絞扼が主たる原因とされ，大後頭神経 (Greater occipital nerve; GON) および/または小後頭神経 (Lesser occipital nerve; LON) の分布領域で症状を呈するものが 90% 以上と大部分を締めている³⁻⁵。GON は第 2 頸髄 (C2) 神経根後枝由来の純知覚神経で，後頭部から頭頂部にかけて分布し，人体で最も太い知覚神経である。LON は頸神経叢から起こる知覚神経で，C2 および/または C3 神経根由来で，大後頭神経の支配領域の外側に分布する。以下に大後頭神経と小後頭神経の走行概略図を示す (図 1)。

(図 1 大後頭神経と小後頭神経の走行概略図)



ON の発生率について本邦からのまとまった報告はないが、過去の海外からの報告では人口 10 万人あたり 3.2 人/年といわれ、比較的まれな疾患であるとされる⁶。ただし、症状が軽く医療機関に受診しない、または非特異的な頭痛として対症療法されている等で診断に至らない例も多く存在すると思われ、実際に ON 患者に遭遇する機会および潜在的な患者数はこれより多いと推測され、その病態を理解しておくことは重要である。

現在、ON 患者に対する画像評価としては CT や MRI よりも超音波検査が優先される。C2 神経根を起点として僧帽筋をこえて皮下にでるまで GON を追跡でき、筋肉や血管や他の占拠性病変による GON の絞扼部位の確認や神経線維の太さ等の評価が可能とされる⁷。LON についても高分解能超音波による良好な描出が可能であったとする報告もあるが、GON に比して検者に要求される技術的難易度は高いことが予想される⁸。また、上記の超音波による神経の評価は検者間の再現性にも課題がある。他方、CT および MRI は細い神経の描出には不向きで GON や LON の直接的な描出は従来困難であり、他疾患の鑑別や除外のために施行されることがあるものの、ON の診断に対する有用性は限定的とされてきた。

1.2 Magnetic Resonance Neurography

MRI による末梢神経の描出は、1990 年代前半に Filler らが脂肪抑制 T2 強調画像を用いて坐骨神経を周囲の構造物よりも高信号に描出さ

せることに成功し、これを Magnetic Resonance Neurography(MRN)と名付けたことから始まった⁹。その後、MR 装置の高磁場化やコイルの機能向上、撮像法の改善により、主に腕神経叢や腰神経叢などに対する臨床応用が急速に拡大した。しかし、細い末梢神経の描出、複雑な 3 次元的走行を評価することは未だ困難である^{10, 11}。

近年、MRN による頭蓋外脳神経の描出および臨床応用の報告が散見されるようになり、その中でも 3D Reversed FISP with Diffusion Weighted Imaging (3D-PSIF-DWI)法と 3D Double-Echo Steady-State with Water Excitation (3D-DESS-WE)法を用いた報告が多い¹⁰⁻¹⁵。3D-PSIF-DWI はバランسدグラジエントエコー法のスピンエコー信号のみを選択的に収集する撮像法で、DWI の撮像に適用することで軟部組織内を走行する神経が高信号で描出されることが報告された^{15, 16}。3D-DESS-WE 法は 1 つの TR 時間毎に定常状態自由歳差運動法に基づいた 2 つの異なるエコーを取得する撮像法で、FISP 法で用いられる自由誘導減衰のグラジエントエコーと PSIF 法で用いられるスピンエコーを取得する¹⁴。空間分解能が高く、2 つの信号を合成して画像再構成を行うため高い SN 比を確保できる。元来は整形外科・骨軟部領域で軟骨の評価に一般的に用いられている撮像法であったが、2011 年に Qin らが耳下腺内顔面神経の描出を報告して以来、頭蓋外脳神経描出に 3D-DESS-WE 法を用いた報告が散見されるようになった^{14, 17}。

1.3 MRN における GON や LON, 及び Clinical question

ON の診断や評価のための MRI の有用性は限定的とされてきたため、これまでに GON や LON の MRI での画像的な検討は殆どされてこなかった。2017 年に Hwang らは 3D-PSIF-DWI 法を用いた GON の描出について検討し、“ON 患者においては患側 GON が健側よりも太く描出される”と報告した¹³。ただし、同研究を含めて現在までにまとまった数の健常群を設定して MRI での GON の正常径や左右差の有無など、評価の基準となるようなデータを示した研究はない。また、LON についてはこれまでに MRI での描出を検討した報告はない。

当講座では 3D-DESS-WE 法を用いた末梢神経描出の先行研究をうけ、同撮像法を日常臨床への応用を試みていた。特に耳下腺腫瘍の術前 MRI では耳下腺内顔面神経描出目的に 3D-DESS-WE 法を全例で撮像しており、その中で 3D-DESS-WE 法が GON の良好な描出のみならず、LON も良好に描出される症例を経験していた。このことから 3D-DESS-WE 法では良好な GON および LON の描出が可能なのではないかという仮説を立てた。

以上の背景から、本研究ではまず 3D-DESS-WE 法の末梢神経描出のための最適パラメータの探索を行った。続いて 3D-DESS-WE 法を用いて非 ON 患者の GON と LON の描出能の検討をおこなった。

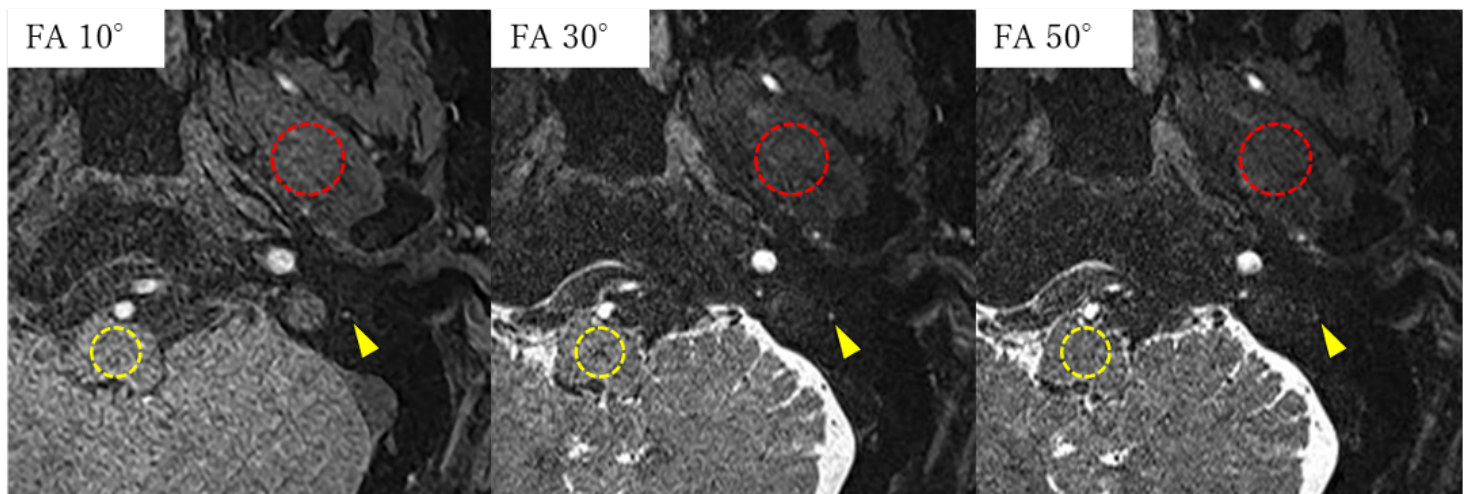
2. 基礎的検討（3D-DESS-WE 法の撮像パラメータの最適化）

撮像機種は 3 テスラの高磁場 MR 装置 (Magnetom Skyra, Siemens, Erlangen, Germany) で、受信用コイルは汎用の 20 チャンネル頭頸部コイルを用いた。まず、関節の撮像を頭頸部へ応用するのに際し撮像面の大きさ (FOV; Field of view) を広げる必要があり、 $FOV = 200 \times 200$ mm に設定した。末梢神経という細かい構造を捉える必要があるため、解像度は撮像機種がとり得る最大値である、解像度 (FOV 長辺あたりの matrix 数) = 384 とした。撮像パラメータの積極的な可変項目はフリップ角 (FA) とした。FA はエコーシークエンス中で Radio Frequency pulse によって生じさせる縦磁化からの任意の角度であり、画像コントラストにも影響を与える。Qin らの報告では 1.5 テスラの撮像機を用いて $FA = 50^\circ$ と設定していたが、当院での 3 テスラでの利用に際し再検討が必要であると考えた¹⁴。はじめに、適切な末梢神経と筋とのコントラストが得られる FA を検索するため、現在までに複数の研究で描出成功が報告されている顔面神経を対象としてパラメータの調整を行うこととした。その後に同パラメータが GON に対しても同様に有用であるかを確認した。

2.1 検討 1：顔面神経を用いての調整

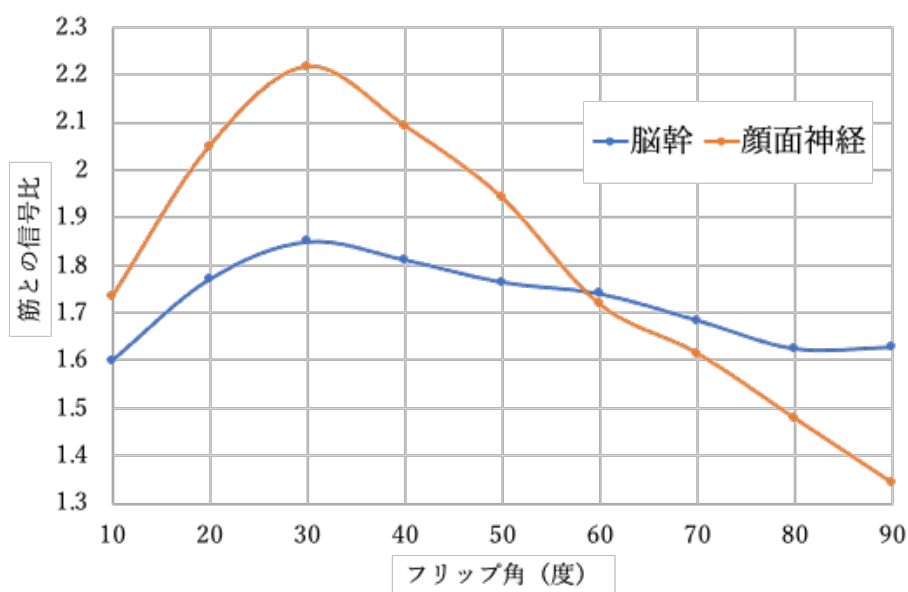
健常ボランティア 10 例の協力を得て，FA を 10° から 90° まで 10° 間隔で変更しつつ，1 名につき計 9 回の 3D-DESS-WE 法の撮像を行った．そして頭蓋底レベルの横断像を用いて脳幹，顔面神経（垂直部），筋（外側翼突筋）の信号値を計測し，脳幹/筋，顔面神経/筋の信号比を算出しその平均値をプロットした．同検討の結果を図 2 および図 3 で示す．

（図 2 フリップ角と撮像例：顔面神経）



黄円：脳幹，黄矢頭：顔面神経（垂直部），赤円：外側翼突筋

(図 3 3D-DESS-WE 法のフリップ角と神経-筋の信号比：顔面神経)



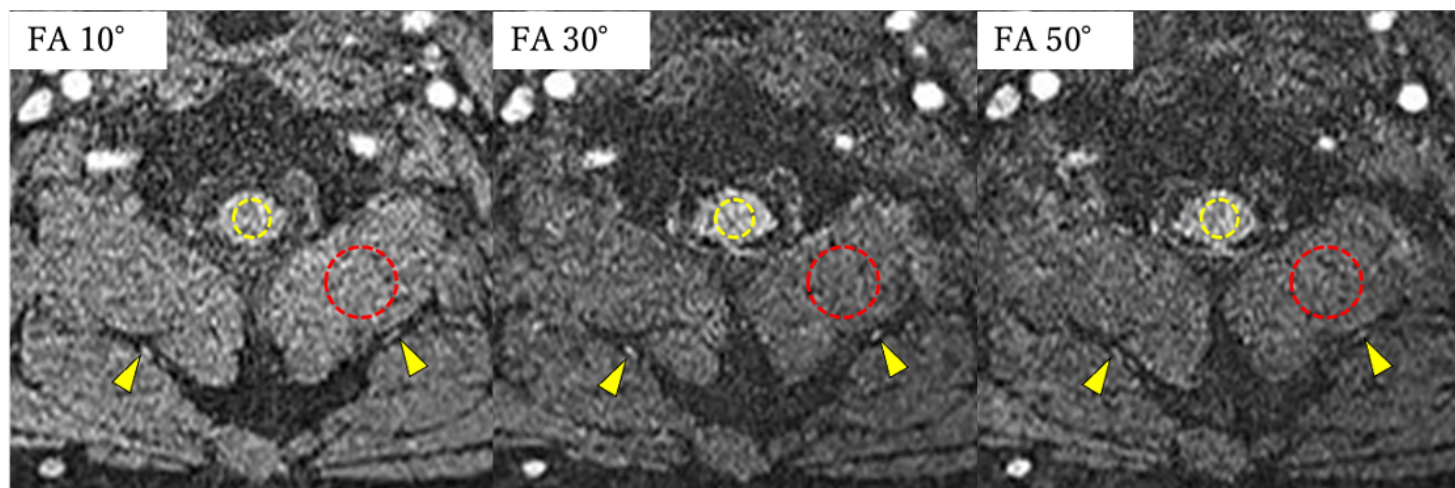
顔面神経を用いた検討の結果 (図 3) より, $FA = 30^\circ$ において顔面神経および脳幹での筋に対する信号比が最大であることが分かった. 尚, 繰り返し時間(TR)/エコー時間(TE)はそれぞれの FA で取りうる最小値として撮像を行った.

2.2 検討 2：GON での再現性の確認

続いて, GON に対しても健常ボランティア 20 例の協力を得て, 顔面神経での検討と同様に FA を 10° から 90° まで 10° 間隔で変更しつつ, 1 名につき計 9 回の 3D-DESS-WE 法の撮像を行った. C1-2 椎体レベルの横断像を用いて脊髄, GON, 筋 (下頭斜筋) の信号値を計測し, 脊髄/筋, GON/筋の信号比を算出しその平均値をプロットした.

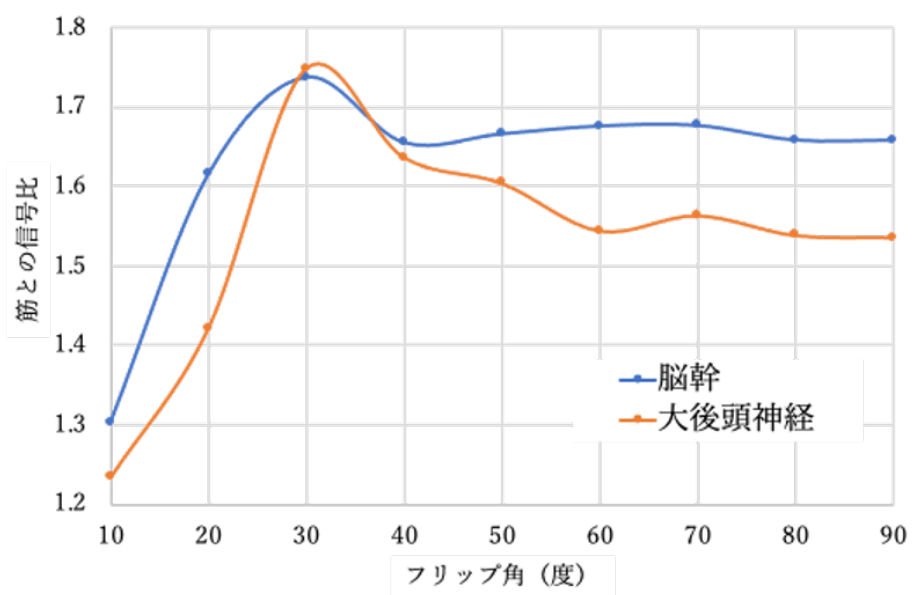
同検討の結果を図 4 および図 5 で示す.

(図 4 フリップ角と撮像例：GON)



黄円：脊髄，黄矢頭：大後頭神経，赤円：下頭斜筋

(図 5 3D-DESS-WE 法のフリップ角と神経-筋の信号比：GON)



以上より， GON においても $FA = 30^\circ$ で筋との信号比にピークが認められた． $FA = 30^\circ$ が GON 描出に適切な値であると結論し，最終的な撮像条件は以下の通りとした．

TR / TE = 11/4.21 ms,

フリップ角 (FA) = 30° ,

有効視野 (FOV) = 200 x 200 mm,

マトリックス = 384 x 244,

バンド幅 = 512 Hz/px,

位相エンコード方向 = 前→後,

有効厚 = 0.82 mm,

取得回数 = 1,

脂肪抑制 = 水選択励起法,

3. 臨床応用

3.1 研究方法

-1 説明と同意

本研究は自治医科大学附属病院 附属病院臨床研究倫理審査委員会で承認された。本研究は後方視的研究であり，国の倫理指針「第 5 章 インフォームド・コンセント等 第 12 インフォームド・コンセントを受ける手続等」(2)イ. 人体から採取された資料を用いない研究」に該当する。この場合において，研究者などは，当該臨床研究の目的を含む研究の実施についての情報を公開しなければならない。以上より口頭で説明せず，説明文書も渡さないが，情報公開文書を当講座ホームページ上に公開し，当該臨床データの利用も研究対象者が拒否できる機会を提供した。

-2 対象

2017 年 1 月から 2018 年 12 月の間に自治医科大学附属病院で唾液腺病変評価目的に 3D-DESS-WE 法を含む MRI が撮像された連続 103 例を後方視的に検討した。58 例が良性腫瘍，17 例が悪性腫瘍，11 例が感染・炎症，3 例がシェーグレン症候群，残りの 14 例は有意な唾液腺病変の検出がなかった。これらのうち，①明らかな ON の既往や現病歴がある，②GON および LON が一部でも撮像範囲外となっているもの，③体動や金属によるアーチファクトが著明なもの，を除外基準とした。最終的に男性 22 例，女性 44 例，計 66 例が残った。年齢は平均

55.3 歳（20～92 歳）であった．

-3 MRI 検査

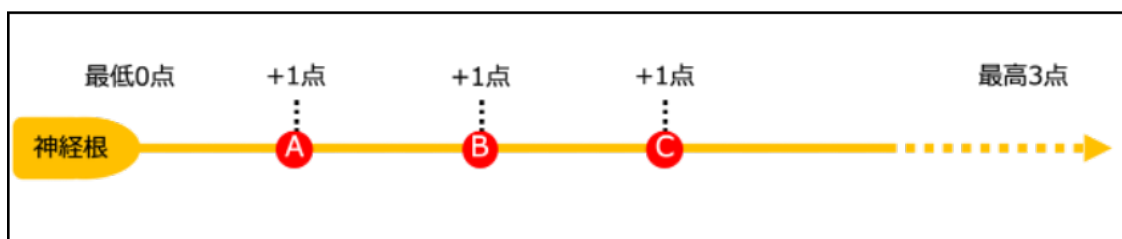
使用装置は，3 テスラの高磁場 MR 装置(Magnetom Skyra, Siemens, Erlangen, Germany)で，受信用コイルは汎用の 20 チャンネル頭頸部コイルを用いた．今回の研究に用いた 3D-DESS-WE 法は，当院での頭頸部ルーチンプロトコールに加えて撮像された．ルーチン撮像には STIR 冠状断像，DWI，3D-T1 強調冠状断像（多断面再構成追加），T2 強調像，ダイナミック造影撮像，造影後 3D-T1 強調冠状断像（多断面再構成追加）を基本に適宜，症例に合わせて追加撮像を行っている．3D-DESS-WE 法は造影剤使用前に施行され，全体の検査時間は約 30 分であった．3D-DESS-WE 法の撮像パラメータは基礎的研究で定めた通り，繰り返し時間(TR)/エコー時間(TE) = 11/4.21 ms，フリップ角(FA) = 30°，有効視野(FOV) = 200 x 200 mm，マトリックス = 384 x 244，バンド幅 = 512 Hz/px, 位相エンコード方向 = 前→後, 有効厚 = 0.82 mm, 取得回数 = 1, 脂肪抑制 = 水選択励起法とし，撮像範囲 = 11.2 cm（頭蓋底から下顎骨まで）で撮像時間 = 4 min 12 sec であった．

-4 画像評価

日常臨床で使用している 4 メガピクセルの診断用液晶ディスプレイ上に，SYNAPSE VINCENT software program(Fujifilm Medical, Tokyo)を用いて表示して評価した．2 名の放射線科医（読影者 A: 経験年数 3 年，読影者 B: 経験年数 22 年）が独立して画像を評価した．GON お

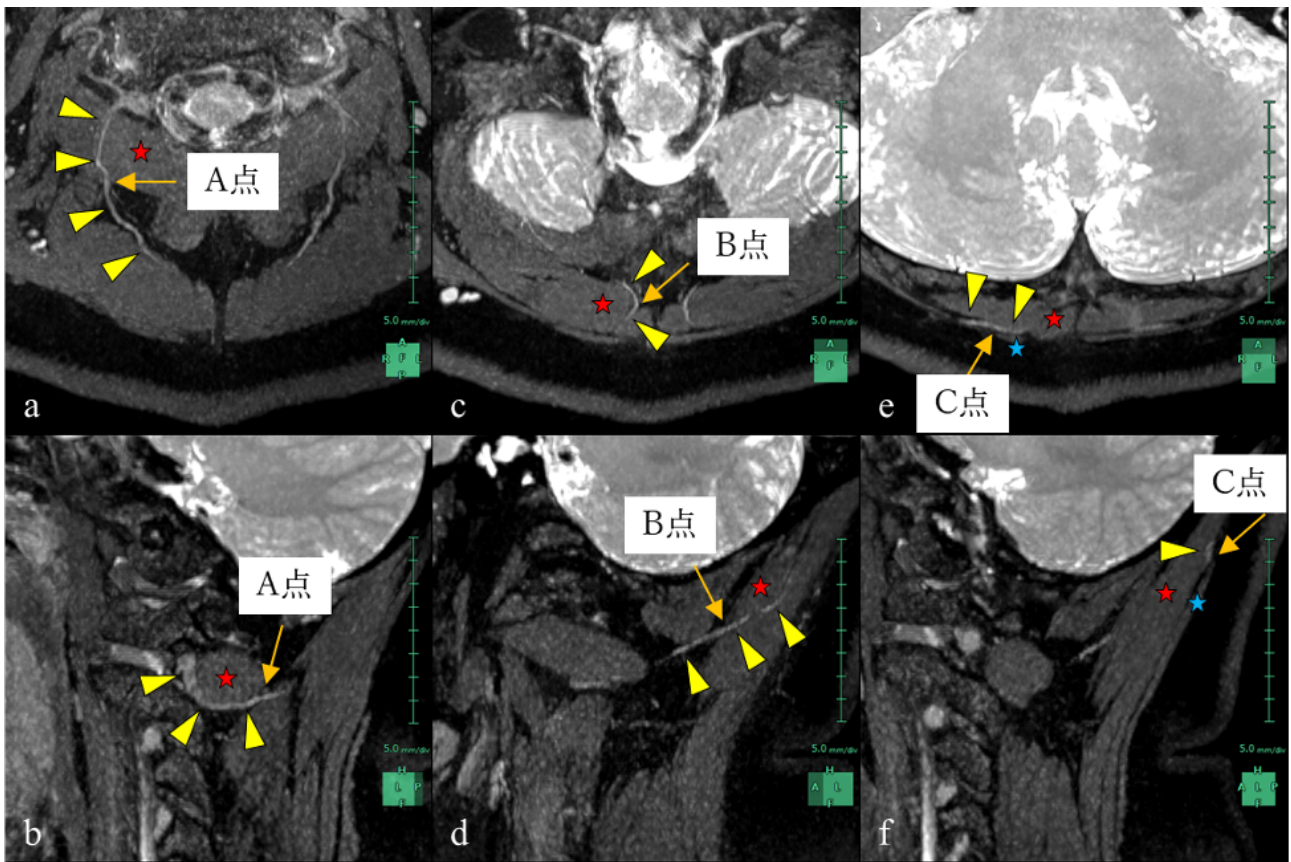
よび LON の走行は神経根から遠位側へ向かって追跡した．神経走行は，Gray's Anatomy を参考に同定した 18．神経走行の追跡は横断像を主体とし，必要に応じて 4mm 厚のスラブ最大値投影法(slab Maximum Intensity Projection; slab MIP)や再構成冠状断像および矢状断像を参照した．描出能評価のため，便宜的に GON および LON の神経走行上に評価地点（A～C：後述）を決め，その地点を越えて描出が見られるなら 1 点を加点するようにした（最低 0 点～最高 3 点）（図 6）．

（図 6 加点方法の説明）



GON の評価地点は解剖学やエコーでメルクマールとして過去報告されている代表的な解剖学的位置を参考とし，以下のように決定した 19，20．A 点：下頭斜筋後縁レベル，B 点：頭半棘筋前縁レベル，C 点：僧帽筋外側縁レベル．GON の実際の描出例を図 7 で示す．

(図 7 GON の走行と各評価地点)



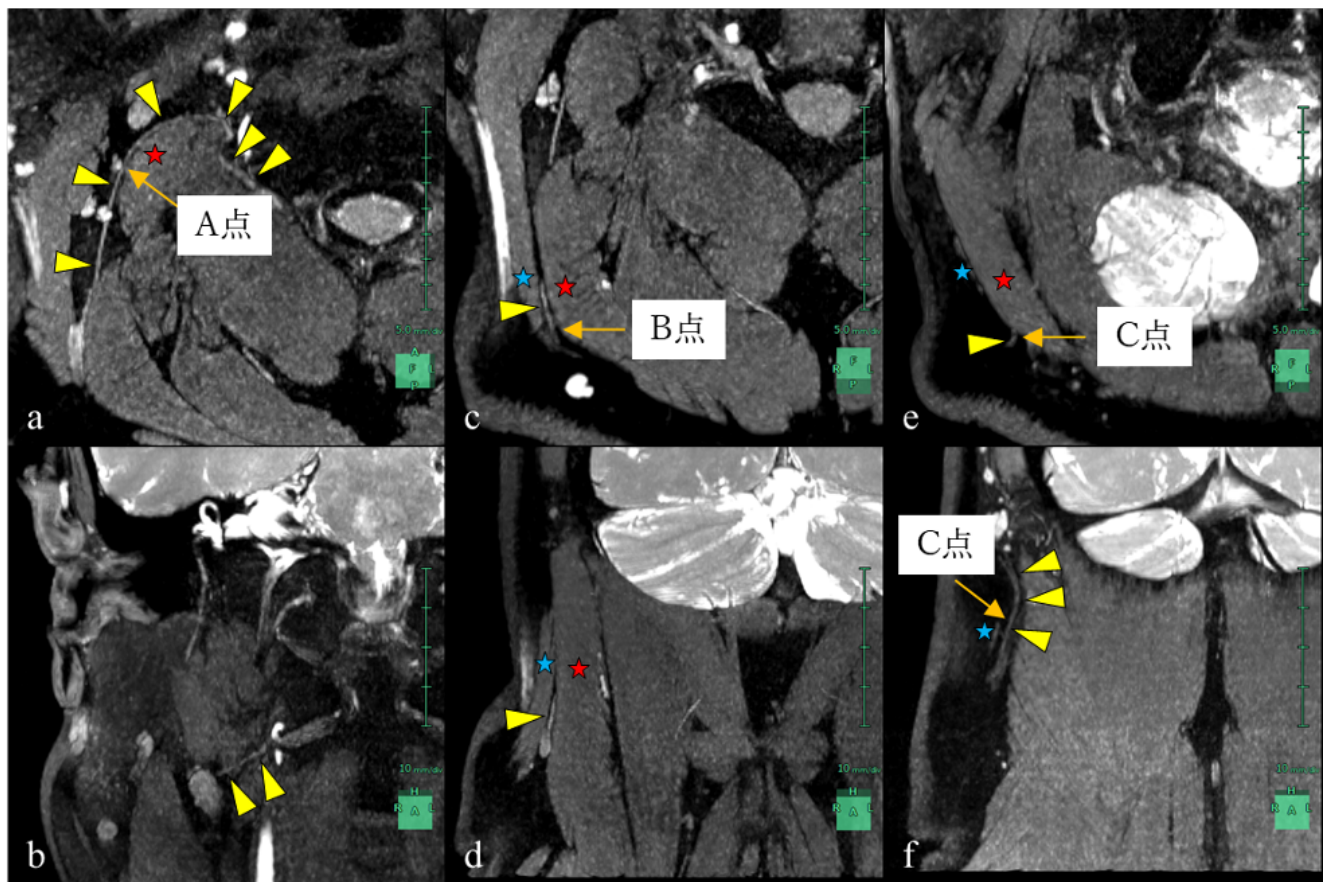
a：軸位断像，b,d：斜矢状断像，c,e：斜軸位断像，f：矢状断像

(a~f；いずれも 3D-DESS-WE 法，4mm 厚 slab MIP)

GON は第 2 頸髄神経後枝から出て下頭斜筋の下縁に沿って後方に進み A 点に達する (a, b, 赤星:下頭斜筋). 後に椎周囲間隙の筋間を内方・上方に進み，頭半棘筋に貫入する (c, d, 赤星：頭半棘筋). 頭半棘筋貫通した後，頭半棘筋と僧帽筋の間で上行し，僧帽筋最上部レベルで僧帽筋外側から C 点に達し，皮下に出る (e, f, 赤星：頭半棘筋，青星：僧帽筋)²¹⁻²³.

LON については評価地点を決めて検討された報告はないため、地点間の距離に差が出ないように留意しながら読影者 2 名で画像評価前に以下のように決定した。A 点：肩甲挙筋外側縁レベル，B 点：胸鎖乳突筋後縁レベル，C 点：胸鎖乳突筋上縁レベル。LON の実際の描出例を図 8 で示す。

(図 8 LON の走行と各評価地点)]



a : 軸位断像, b,d,f : 斜冠状断像, c,e : 斜軸位断像

(a~f ; いずれも 3D-DESS-WE 法, 4mm 厚 slab MIP)

LON は第 2 および/または第 3 頸髄神経前枝から出た後, 肩甲挙筋の腹側に沿って A 点に達する (a, b, 赤星 : 肩甲挙筋). 後に, 後頸間隙の脂肪層および胸鎖乳突筋と頸板状筋の間を通過して B 点に至る (c, d, 赤星 : 頸板状筋, 青星 : 胸鎖乳突筋). 胸鎖乳突筋後縁を沿うように上行し, C 点を通過して皮下に出る (e, f, 赤星 : 頸板状筋, 青星 : 胸鎖乳突筋)^{23, 24}.

また、最高点である 3 点を記録した GON,LON については、A-B 点の間でそれぞれ直径を測定した。

-5 統計解析

読影者毎の GON および LON の描出能（得点の平均点）と直径の平均を算出した。描出能の評価者間変動は評価の差に重み付けをする目的に weighted kappa (κ) を用いた。値は 0.2 以下を poor, 0.2 から 0.4 を fair, 0.4 から 0.6 を moderate, 0.6 から 0.8 を good, 0.8 を超えたら excellent とした。直径の評価者間一致率は Intraclass correlation coefficient (ICC)を用いた。値は 0.2 以下を slight, 0.2 から 0.4 を fair, 0.4 から 0.6 を moderate, 0.6 から 0.8 を substantial, 0.8 を超えたら almost perfect とした。また、描出能および直径の左右差および GON と LON での差を評価するため、Mann-Whitney U test を用いた。上記統計解析は SPSS ver.25.0 software (IBM, Armonk, NY, USA)を用いて算出し、p 値が 0.05 未満の場合に統計学的有意差があると判断した。

3.2 結果

66 症例の左右の GON および LON で計 264 本の神経を評価した．読影者 2 名による描出能評価と平均，読影者間変動を表 2 に示す．

(表 2 GON と LON の描出能の評価)

		描出の得点 (平均 \pm SD)	κ 値
GON	右	3.00 \pm 0.00	1.00
	左	3.00 \pm 0.00	1.00
	計	3.00 \pm 0.00	1.00
LON	右	1.83 \pm 1.33	0.69
	左	1.79 \pm 1.38	0.77
	計	1.81 \pm 1.36	0.73

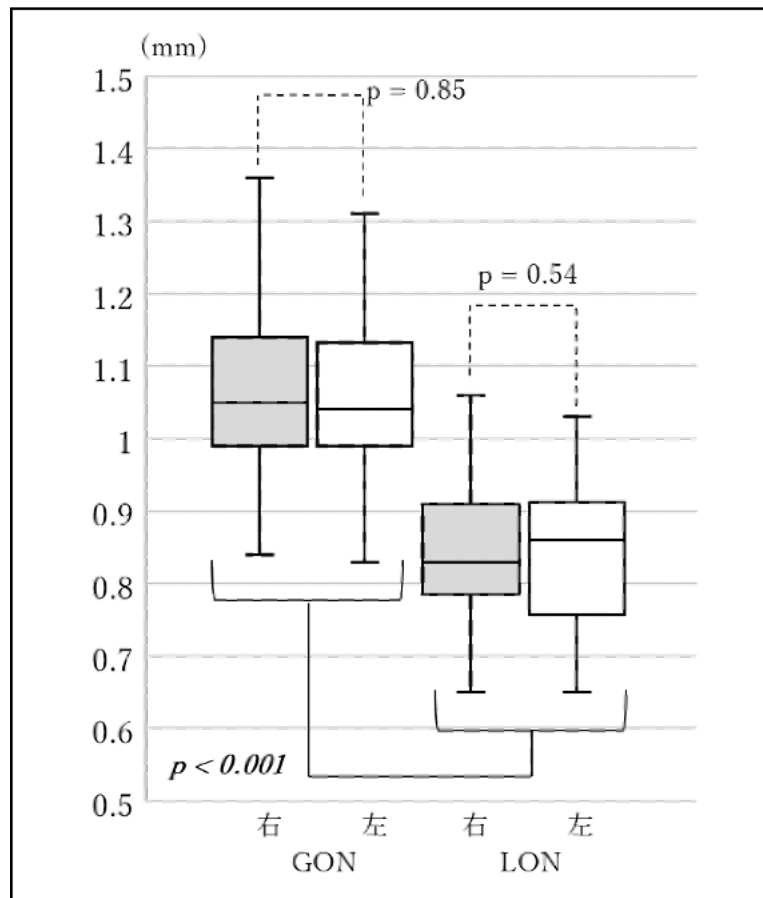
GON の描出は読影者 2 名とも全例で最高点の 3 点と評価し，評価者間変動は excellent であった．LON の描出は比較的良好で，平均 1.81 ± 1.36 かつ評価者間変動は good であった．また，描出能に有意な左右差は認められなかった ($p > 0.05$)．LON のうち，3 点を記録したのは 71 本（右 37 本，左 34 本）であった．次に，読影者 2 名が計測した直径の平均および読影者間一致率を表 3 に示す．

(表 3 直径の評価)

		直径 (平均 \pm SD) (mm)	Interobserver reproducibility (ICC)
GON	右 (n = 66)	1.08 \pm 0.12	0.82
	左 (n = 66)	1.07 \pm 0.12	0.82
	計 (n = 132)	1.07 \pm 0.12	0.82
LON	右 (n = 37)	0.84 \pm 0.11	0.79
	左 (n = 34)	0.85 \pm 0.11	0.77
	計 (n = 71)	0.84 \pm 0.11	0.78

直径の平均値は GON が 1.07 ± 0.12 mm で LON が 0.84 ± 0.11 mm であった。ICC は GON で almost perfect, LON で substantial であった。GON および LON とともに神経の直径に有意な左右差は認められなかった。GON は有意に LON より太かった ($p < 0.001$) (図 9)。

(図 9 神経の直径の比較)



3.3 考察

今回の研究では 3D-DESS-WE 法を用いて GON,LON の描出能の評価を行い、両者の描出に成功した。本研究は健常集団（非 ON 患者）において GON と LON の描出能を検討した初めての研究である。

ON の新規患者は人口 10 万人あたり 3.2 人/年といわれ比較的まれな頭痛に分類されるが、症状が軽く医療機関に受診しない、非特異的な頭痛として対症療法される等で診断に至っていない例も多く存在すると思われ、潜在的な患者数は更に多いと推測される⁶。ICHD-3 の分類上、後頭神経痛は環椎軸椎関節、上関節突起間、関節に由来する後頭関連痛や、頸部筋群とその付着部位の圧痛トリガーポイントと区別しなくてはならないが、臨床情報だけでは鑑別が困難な場合があるとされる^{2, 25}。ON の主たる原因として筋や骨による神経絞扼が挙げられている^{4, 25, 26}。現在 ON 患者での実臨床での GON や LON の画像的な評価は超音波に依存しており、骨に近い深部の観察や、神経の全長の追跡は困難であり、また検者間の再現性にも問題が残る⁷。そのため、より客観性と再現性にすぐれた評価手段の確立が望まれる。3D-DESS-WE 法を用いることで神経と筋・骨が明瞭に区別できることから、ON 患者において絞扼部位の同定を含めた病態が把握できると期待されるが、そもそも健常集団での GON や LON の MRI での描出についての検討はされてこなかった。

今回の研究では、非 ON 患者において GON の描出スコアは全例で最

高点を記録（2名の平均： 3.00 ± 0.00 ）し、直径は 1.08 ± 0.12 mm であった。また、太さに左右差はなかった ($p = 0.85$)。LON の描出スコアは GON よりも低く（2名の平均： 1.81 ± 1.36 ）、直径は 0.84 ± 0.11 mm で左右差はないものの ($p = 0.54$)、GON よりも細かった ($p < 0.001$)。描出スコアの評価者間変動 (κ) と直径測定の ICC は GON で excellent と almost perfect, LON で good と substantial であり、評価者間での再現性は確保されていた。3D-DESS-WE 法によって GON と LON の良好な描出が可能であると考え、今後 ON 患者の画像的な評価方法のひとつになる可能性が示唆された。また、Hwang らは 3D-PSIF-DWI を用いた MRN で、少数例 ($n = 18$) での検討ながら ON 患者の患側の GON は対側より太くなると報告している¹³。本研究で GON 直径に左右差がなかったことは Hwang らの結果を裏付けるための基礎的研究のひとつになったと考える。尚、非 ON 患者の cadaver study では GON は直径 3.8 ± 1.6 mm, LON は直径 1.2 ± 1.6 mm と報告されており解剖的な報告との解離があるが、同報告では測定箇所や測定方法についての記載がなく単純な比較はできないと考える²⁷。3D-DESS-WE 法で描出された神経と実際の神経の太さの対比についての報告はなく、さらなる検討が必要である。

本研究にはいくつかの問題点がある。1つ目は、描出した神経が本当に GON および LON であると組織学的には証明されていないことである。解剖学書および過去の報告を参照し、特徴的な神経走行を以て

同定の根拠としている．今後同一患者での画像と cadaver での神経走行の対比や直径の比較等が必要と考えられる．2 つ目は，LON の直径を計測したのが 3 点を記録したものに限定したことである．MRN 上細くて描出されていないものを除外して測定している可能性があり，LON の直径の平均値が実際よりも太くなっているかもしれない．3 つ目は，GON および LON の描出能について 3D-PSIF-DWI 法と 3D-DESS-WE 法の直接比較を行っていないことである．当講座での先行研究として耳下腺内顔面神経の描出においては 3D-DESS-WE 法が 3D-PSIF-DWI 法に勝ることを報告しており，これは 3D-DESS-WE 法がより細かな解剖学的情報も持つ撮像法であることに起因するためと考える²⁸．しかし，GON や LON でも同様の結果が得られるかどうかの直接比較はしていない．今回は 3D-DESS-WE 法で良好な GON および LON の描出が得られているが，今後よりよい描出を目指すには複数の撮像法を含めての比較検討も必要になると考える．

今後の展望として，①3D-DESS-WE 法の ON 患者への応用，②超音波検査・治療時のナビゲーション，③さらなる画質向上・検査時間の短縮，④他神経領域への応用が挙げられる．①ON 患者に対して 3D-DESS-WE 法を用いた撮像を行い，先行論文で報告されている GON の腫大に加えて，LON の腫大を捉えることが期待できる．LON の変化を捉えることができれば，世界初の報告となる．さらに，症状と GON や LON の腫大の程度や信号強度の変化との相関を解析することによ

り、画像に用いた ON の客観的な重症度評価法を確立していきたい。

ON の診断法，重症度評価を確立することにより，頭痛患者のスクリーニング MRI に含むべきシーケンスとしての有用性を示していきたい。

②治療面の臨床応用として，MRI のメリットである深部視認性，3D-DESS-WE 法が 3D 撮像法であることを利用して，超音波検査時や神経ブロック治療時のナビゲーションシステムとして有用性を発揮できると考える。ナビゲーションシステムは脳神経外科領域で主に用いられているが，近年では超音波と他モダリティの fusion imaging 技術も発達しており，3D-DESS-WE 法も超音波ガイドとして有用性を発揮することが期待される。

③3D-DESS-WE 法は高分解能，高 SN 比により LON の描出を可能にしたが，全ての症例で LON を全長に渡って描出することは困難であった。より詳細でノイズの少ない画像が取得できれば，描出能が向上すると期待される。そのために，更なる撮像パラメータの最適化やディープラーニング技術を用いたノイズ低減・画質改善，検査時間の短縮に取り組んでいる最中である。

④これまで当講座では 3D-DESS-WE 法を用いた脳神経の描出・臨床応用に成功しており，本研究では脊髄神経の描出にも成功した^{29, 30}。今後は腕神経叢や腰神経叢など他の末梢神経の描出および定量評価にも応用し，本撮像法の有用性を示していきたい。

4. 結論

3 D-DESS-WE 法による末梢神経描出に関して，3 テスラ MRI 撮像機での撮像パラメータの調整，GON・LON の描出能についての検討を行った．撮像パラメータの最適化を行った 3 D-DESS-WE 法を用いることで GON と LON の良好な描出が可能であった．本研究は ON 患者の MRN での異常を捉える上での基礎的研究になると考える．今後は ON 患者での症例蓄積と，さらなる画質改善や他領域への応用に取り組んでいく．

5. 参考文献

- 1) Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS) The International Classification of Headache Disorders, 3rd edition. Cephalalgia. 38: 1-211, 2018.
- 2) 日本頭痛学会・国際頭痛分類委員会訳. 国際頭痛分類 第3版. 東京: 医学書院; 2018.
- 3) Choi I, Jeon SR. Neuralgias of the Head: Occipital Neuralgia. J Korean Med Sci. 31: 479-488, 2016.
- 4) Gadiant PM, Smith JH. The neuralgias: diagnosis and management. Curr Neurol Neurosci Rep. 14: 459, 2014.
- 5) Magnusson T, Ragnarsson T, Bjornsson A. Occipital nerve release in patients with whiplash trauma and occipital neuralgia. Headache. 36: 32-36, 1996.
- 6) Koopman JS, Dieleman JP, Huygen FJ, de Mos M, Martin CG, Sturkenboom MC. Incidence of facial pain in the general population. Pain. 147: 122-127, 2009.
- 7) Narouze S. Occipital Neuralgia Diagnosis and Treatment: The Role of Ultrasound. Headache. 56: 801-807, 2016.
- 8) Platzgummer H, Moritz T, Gruber GM, Pivec C, Wöber C, Bodner G, Lieba-Samal D. The lesser occipital nerve visualized by high-resolution sonography--normal and initial suspect findings.

Cephalalgia. 35: 816-824, 2015.

9) Filler AG, Howe FA, Hayes CE, Kliot M, Winn HR, Bell BA, Griffiths JR, Tsuruda JS. Magnetic resonance neurography. Lancet. 341: 659-661, 1993.

10) Chhabra A, Andreisek G, Soldatos T, Wang KC, Flammang AJ, Belzberg AJ, Carrino JA. MR neurography: past, present, and future. AJR Am J Roentgenol. 197: 583-591, 2011.

11) Chhabra A, Soldatos T, Subhawong TK, Machado AJ, Thawait SK, Wang KC, Padua A, Jr., Flammang AJ, Williams EH, Carrino JA. The application of three-dimensional diffusion-weighted PSIF technique in peripheral nerve imaging of the distal extremities. J Magn Reson Imaging. 34: 962-967, 2011.

12) Van der Cruyssen F, Croonenborghs TM, Renton T, Hermans R, Politis C, Jacobs R, Casselman J. Magnetic resonance neurography of the head and neck: state of the art, anatomy, pathology and future perspectives. Br J Radiol. 20200798, 2021.

13) Hwang L, Dessouky R, Xi Y, Amirlak B, Chhabra A. MR Neurography of Greater Occipital Nerve Neuropathy: Initial Experience in Patients with Migraine. AJNR Am J Neuroradiol. 38: 2203-2209, 2017.

14) Qin Y, Zhang J, Li P, Wang Y. 3D double-echo steady-state with

water excitation MR imaging of the intraparotid facial nerve at 1.5T: a pilot study. *AJNR Am J Neuroradiol.* 32: 1167-1172, 2011.

15) Zhang Z, Meng Q, Chen Y, Li Z, Luo B, Yang Z, Mao L, Lin E. 3-T imaging of the cranial nerves using three-dimensional reversed FISP with diffusion-weighted MR sequence. *J Magn Reson Imaging.* 27: 454-458, 2008.

16) Naganawa S, Ishihara S, Satake H, Kawai H, Sone M, Nakashima T. Simultaneous three-dimensional visualization of the intra-parotid facial nerve and parotid duct using a three-dimensional reversed FISP sequence with diffusion weighting. *Magn Reson Med Sci.* 9: 153-158, 2010.

17) Moriya S, Miki Y, Kanagaki M, Yamamoto A, Okudaira S, Nakamura S, Yokobayashi T, Ishikawa M. Evaluation of cartilage surface injuries using 3D-double echo steady state (3D-DESS): effect of changing flip angle from 40° to 90° . *Acta Radiol.* 52: 1138-1142, 2011.

15) Standring S, Gray H. *Gray's anatomy : the anatomical basis of clinical practice.* 40th ed. Edinburgh: Churchill Livingstone/Elsevier; 2008. xxiv, 1551 p. p.

19) Loukas M, El-Sedfy A, Tubbs RS, Louis RG, Jr., Wartmann CH, Curry B, Jordan R. Identification of greater occipital nerve landmarks for the treatment of occipital neuralgia. *Folia Morphol (Warsz).* 65:

337-342, 2006.

20) Kastler A, Attie A, Heck O, Tahon F, Boubagra K, Tropes I, Grand S, Krainik A. Greater occipital nerve MR tractography: Feasibility and anatomical considerations. *J Neuroradiol.* 45: 54-58, 2018.

21) Janis JE, Hatef DA, Ducic I, Reece EM, Hamawy AH, Becker S, Guyuron B. The anatomy of the greater occipital nerve: Part II. Compression point topography. *Plast Reconstr Surg.* 126: 1563-1572, 2010.

22) Chhabra A, Bajaj G, Wadhwa V, Quadri RS, White J, Myers LL, Amirlak B, Zuniga JR. MR Neurographic Evaluation of Facial and Neck Pain: Normal and Abnormal Craniospinal Nerves below the Skull Base. *Radiographics.* 38: 1498-1513, 2018.

23) Kwon HJ, Kim HS, O J, Kang HJ, Won JY, Yang HM, Kim SH, Choi YJ. Anatomical analysis of the distribution patterns of occipital cutaneous nerves and the clinical implications for pain management. *J Pain Res.* 11: 2023-2031, 2018.

24) Peled ZM, Pietramaggiori G, Scherer S. Anatomic and Compression Topography of the Lesser Occipital Nerve. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 4: e639, 2016.

25) Janis JE, Barker JC, Javadi C, Ducic I, Hagan R, Guyuron B. A review of current evidence in the surgical treatment of migraine

headaches. *Plast Reconstr Surg.* 134: 131s-141s, 2014.

26) Dougherty C. Occipital neuralgia. *Curr Pain Headache Rep.* 18: 411, 2014.

27) Ducic I, Moriarty M, Al-Attar A. Anatomical variations of the occipital nerves: implications for the treatment of chronic headaches. *Plast Reconstr Surg.* 123: 859-863; discussion 864, 2009.

28) Fujii H, Fujita A, Kimura Y, Sung E, Sakai O, Sugimoto H. Visualization of the intraparotid facial nerve with 3T MRI. 99th Scientific assembly and annual meeting. Radiological Society of North America, Chicago, December 1-6, 2013.

29) Fujii H, Fujita A, Kanazawa H, Sung E, Sakai O, Sugimoto H. Localization of Parotid Gland Tumors in Relation to the Intraparotid Facial Nerve on 3D Double-Echo Steady-State with Water Excitation Sequence. *AJNR Am J Neuroradiol.* 40: 1037-1042, 2019.

30) Fujii H, Fujita A, Yang A, Kanazawa H, Buch K, Sakai O, Sugimoto H. Visualization of the Peripheral Branches of the Mandibular Division of the Trigeminal Nerve on 3D Double-Echo Steady-State with Water Excitation Sequence. *AJNR Am J Neuroradiol.* 36: 1333-1337, 2015.