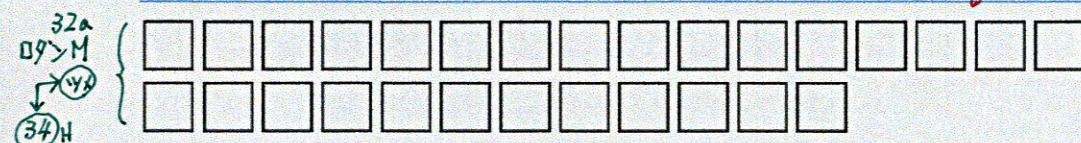


徹底分析  
シリーズ

## 治療装置が埋め込まれている患者の麻酔

## 舌下神経電気刺激



井下 綾子 15a 新ゴM

閉塞性睡眠時無呼吸 (OSA) は、日常診療において最も馴染みのある睡眠呼吸障害であろう。術前評価で OSA が疑われる患者は珍しくないが、舌下神経電気刺激装置を体内に留置した患者に遭遇する機会はまだまだ多くないと考えられる。舌下神経電気刺激療法は持続陽圧呼吸療法 (CPAP) 不耐例に対する有効な治療として世界的に普及が進んでおり、日本においても症例数が増加しつつある。したがって、今後、麻酔科医が遭遇する可能性は確実に高まると考えられる。

OSA 治療の中での HGNS の位置づけ

閉塞性睡眠時無呼吸 obstructive sleep apnea (OSA) は、いびき・無呼吸、日中の眠気、集中力低下などによる QOL 低下だけでなく、高血圧、心血管障害などの合併症の原因となるため、適切な治療を要する<sup>1)</sup>。持続陽圧呼吸 continuous positive airway pressure (CPAP) 療法は、成人 OSA に対する最も確実で即効性のある治療として確立されている。CPAP は 1 日 4 時間以上の使用日数が 70% 以上に達成することで、OSA の症状や合併症のリスクが有意に軽減する<sup>2)</sup>。しかし、CPAP 療法に対するアドヒアランスは必ずしも高くなく、中止率は 30~50% と報告されている<sup>3,4)</sup>。

このような CPAP 不耐例に対する代替治療として、舌下神経電気刺激療法

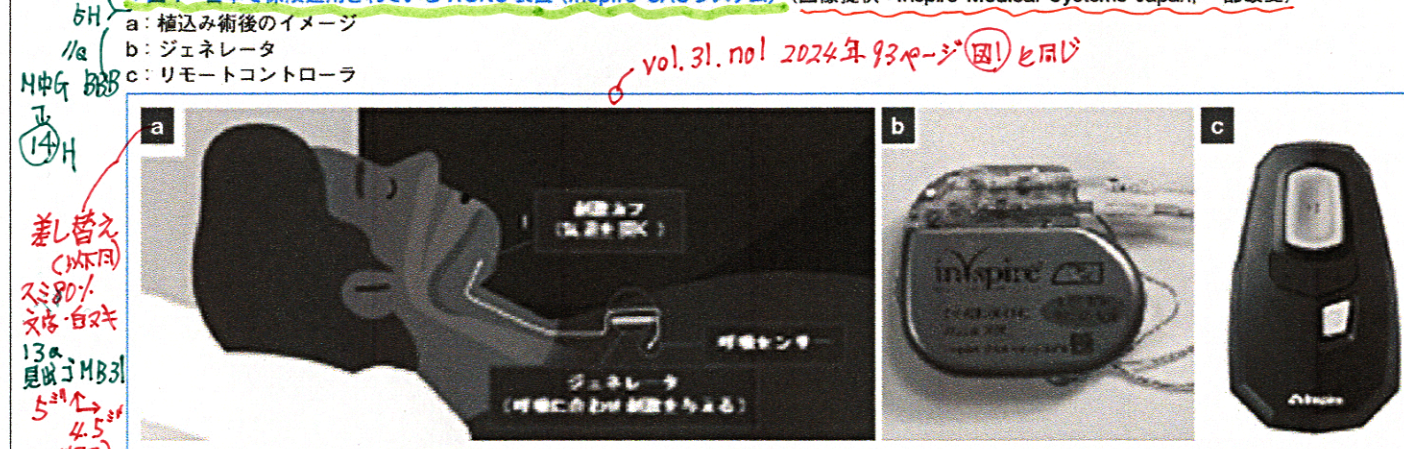
hypoglossal nerve stimulation (HGNS) が登場した。現在、日本で認可され使用されている装置は Inspire UAS システム (Inspire Medical Systems 社、米国) である。本装置の先行研究として、2000 年代には Johns Hopkins 大学と欧州の大学による共同研究により、ヒトに対する HGNS 装置の植込み術が初めて実施された。その後発表された STAR trial では、無呼吸低呼吸指数 (AHI) が  $38.9 \pm 9.8$  から  $10.0 \pm 11.0$  へ改善を示した<sup>5)</sup>。2010 年にドイツ、2014 年に米国で認可された後、欧米を中心に HGNS の治療成績が報告され、AHI 奏功率 80%、患者満足度 90% と高い有効性が示されている<sup>6)</sup>。

日本では 2021 年に保険収載され、2022 年 2 月に国内初症例の装置植込み術が実施された。現在までに国内症例は約 200 例弱で、徐々に症例が蓄積されている。筆者らも、日本人患者における初期成績を報告した<sup>7)</sup>。HGNS の適応基準を表 1<sup>8)</sup> に示す。このうち、閉塞部位診断の薬物睡眠下内視鏡検査 drug-induced sleep endoscopy (DISE) は必須項目である。DISE では自然睡眠に近い鎮静状態を再現するため、一般的にプロポフォールの target-controlled infusion (TCI)

表 1 舌下神経電気刺激療法の適応 (文献 7 より)

ア	無呼吸低呼吸指数が 20 以上の閉塞性無呼吸症候群であること。
イ	CPAP 療法が不適又は不耐容であること。
ウ	扁桃肥大等の重度の解剖学的異常がないこと。
エ	18 歳以上であること。
オ	BMI が 30 未満であること。
カ	薬物睡眠下内視鏡検査で軟口蓋の同心性虚脱を認めないこと。
キ	中枢性無呼吸の割合が 25% 以下であること。

図 1 日本で保険適用されている HGNS 装置 (Inspire UAS システム) (画像提供: Inspire Medical Systems Japan, 一部改変)



などが用いられ、麻酔科医による鎮静管理が重要な役割を担う。DISE の詳細については既報<sup>9)</sup>を参照されたい。

本稿では主に Inspire UAS システムを中心に解説する (図 1)。

HGNS の  
治療メカニズム

従来の睡眠外科は、口蓋垂軟口蓋咽頭形成術 uvulopalatopharyngoplasty (UPPP) や鼻閉改善手術、上下顎前方移動術など「上気道の閉塞部位を開大し形態を改善する」ことを目的としたものであった。一方で HGNS は、舌下神経を刺激して上気道開大筋の活動を高めることで「睡眠中の上気道代償機能を増強」し、上気道の開存性を改善する治療法である。外舌筋であるオトガイ舌筋は上気道開大筋の主要筋の一つであり、HGNS の主なターゲットとなる (ミニ知識)。そのため HGNS 装置植込み術では、舌下神経から分枝するオトガイ舌筋支配枝よりも末梢側に刺激電極を留置する。

Inspire UAS システムでは、舌下神経への電気刺激は呼吸相に同期して発生する。

## 植込み術

植込み術は主に下記①~③の三つのパートから構成され、一般的には右側に植え込まれる。

- ①頸部：下顎骨下縁と舌骨の中間を約 5 cm 横切開、頸二腹筋と頸舌骨筋が見える術野から舌下神経の末梢側を展開し、神経モニタリング装置を用いてオトガイ舌筋を中心とした舌下神経の分枝を同定し、刺激電極を留置する。
- ②胸部：第 2 肋間に約 5 cm 横切開、呼吸センサーを大胸筋下の外・内肋間筋の間に留置する。
- ③頸胸部皮下トンネル：頸部の刺激電極を、皮下トンネルを通して胸部へ牽引し、刺激電極と呼吸センサーの各導線をジェネレータへ接続する。大胸筋膜上にジェネレータを留置する。

詳細については既報<sup>9)</sup>を参照されたい。

術後約 1 週間で退院となる。

筆者の施設では、頸部・胸部創部ともに創傷治癒が遅延する症例も散見さ

ミニ知識  
舌下神経刺激はどのように  
OSA を改善するのか

HGNS は、舌下神経を刺激して上気道開大筋の活動を高めることで、睡眠中の上気道代償機能を増強し上気道の開存性を改善する治療法である。主なターゲットは外舌筋であるオトガイ舌筋であり、舌前方移動により咽頭気道の虚脱を防ぐ。



徹底分析  
シリーズ

## 治療装置が埋め込まれている患者の麻酔

れるため、一般的な頭頸部手術より抗菌薬投与期間をやや長めに設定している。また前胸部に植え込むジェネレータの固定を安定させる目的で、術直後から胸部サポータを装着し、術後1か月間の装着を指導している。

HGNSの  
治療開始

実際の治療は、植込み術から30日以降に開始する。患者には専用のリモートコントローラが渡され、就寝前にシステムをオンにするよう指導する。患者自身がリモートコントローラをジェネレータ上に置き操作することでシステムが作動する。治療持続時間は患者の睡眠時間に応じてHGNS管理施設で設定する。睡眠時間によっては起床時に自動的に治療がオフになっている場合もあるが、オンのままとなっている場合には患者自身がリモートコントローラでオフにする。また、オンにしてから刺激が開始されるまでの時間(start delay)や、一時停止時間(pause)などもHGNS管理施設で調整することが可能である。

## 最近の話題

近年、装置構造の簡略化や低侵襲化が進んでいる(表2)<sup>10, 11)</sup>。例えば、両側の舌下神経を同時に刺激する双極刺激型デバイス(Genio)<sup>12)</sup>では、呼吸センサーを用いず外部ウェアラブルから電力供給を行うバッテリーレス構造が採用されている。また近位舌下神経を多電極で刺激するターゲット型神経刺激装置(aura6000)<sup>13)</sup>では、小型化したジェネレータと充電式システム

が特徴とされている。今後、これらの小型で低侵襲な装置が日本でも承認され、治療機器の選択肢が増える可能性がある。

また、HGNSの適応の拡大に関する研究も進んでいる。実臨床のレジストリ研究ではより高いBMI症例でも一定の有効性が示されており、適応基準の見直しが議論されている。

さらに、DISEを用いた閉塞部位評価にもとづく軟口蓋の同心円状虚脱complete concentric collapseを呈する症例では治療効果が低いため、このような症例に対して、UPPPなどを併用した多段階的な治療を考慮する。

加えて、HGNSの作用機序についても研究が進んでいる。舌突出による単純な気道拡大だけでなく、上気道大筋活動の増強により睡眠中の上気道代償機構を改善することが、画像解析や気道力学解析により示唆されている<sup>14)</sup>。今後はデバイス改良と患者選択の最適化により、HGNSはOSAに対する個別化治療の一つとしてさらに発展していくと考えられる。

HGNSが埋め込まれている  
患者の麻酔

Q1 どのタイミングでオフ/オンしたらよいでしょうか?

A1 HGNSは睡眠中に行う治療である。前述のとおり、本システムは患者自身が保持するリモートコントローラを用いてオン/オフを操作する。そのため、本装置が埋め込まれている患者が予定手術を受ける場合には、通常システムはオフとなっていると考えられる。念のため術前にオ

フであることを口頭で確認しておくことよい。舌を直接確認して、舌が動いているか否かを確認することもできる。

オンにするタイミングについては患者の全身状態によるが、HGNSは睡眠中の上気道閉塞を改善する治療であるため、患者が睡眠をとる可能性がある状況ではオンとしておくことが望ましい。術後の全身状態が安定していれば、抜管後に患者が睡眠をとる前の段階で再開を検討する。ただし、術後の呼吸状態や全身状態に応じて主治医が適宜判断する。

Q2 気管挿管や声門上器具挿入などは通常どおりに実施してよいでしょうか?

A2 気管挿管時の頸部伸展に際しては、頸下部の刺激電極や頸部皮下の導線への過度な牽引による断線を避けるため、頸部伸展は最小限にとどめる必要がある。一方、声門上器具の挿入は通常どおりに実施して問題ない。

HGNSはCPAP不耐の中等症から重症OSA患者に対する新たな治療選択肢として、日本でも徐々に増加している。HGNSは舌下神経を電気刺激することで上気道拡張筋の活動を増強し、睡眠中の上気道虚脱を防ぐ治療であり、従来の形態改善を目的とした睡眠外科とは異なる治療法である。

麻酔科医が本装置を埋め込まれている患者に遭遇した場合、術前にシステムがオフであることを確認することが

表2 代表的な舌下神経電気刺激装置の比較

名称	Inspire UAS	Genio	aura6000
製造元	Inspire Medical Systems	Nyxoah	LivaNova
承認	FDA承認: 2014年 日本承認: 2021年	FDA承認: 2025年	FDA未承認(審査中)
刺激方式	片側舌下神経刺激	両側舌下神経刺激	近位舌下神経多電極刺激
切開	2か所(頸部、胸部)	1か所(頸下部)	1か所
呼吸センサー	あり(肋間筋)	なし	
バッテリー	体内バッテリー内蔵	体内バッテリーなし 外部ウェアラブルによる給電	充填式ジェネレータ
コメント	大規模研究報告あり 高BMI症例は適応制限あり DISEで軟口蓋全周性虚脱は不適		臨床試験進行中

重要である。HGNSは通常、睡眠時にのみ使用される治療であるため、予定手術時の多くの場合ではシステムはオフとなっている。気道管理は基本的に通常どおり実施可能であるが、頸下部に留置された刺激電極および頸部皮下の導線への過度な牽引を避けるよう配慮する。

今後HGNS治療の普及に伴い、本装置を留置した患者の麻酔管理に遭遇する機会は増えると考えられる。装置の基本構造と作動原理を理解しておくことは、麻酔科医にとって有用である。

## 文献 13a 見出し MB 31

- Jordan AS, McSharry DG, Malhotra A. Adult obstructive sleep apnoea. Lancet 2014; 383: 736-47.
- Kribbs NB, Pack AI, Kline LR, et al. Objective measurement of patterns of nasal CPAP use by patients with obstructive sleep apnea. Am Rev Respir Dis 1993; 147: 887-95.

- 井下綾子. CPAP療法の治療効果を判定する. JOURNAL 2022; 38: 447-53.
- Weaver TE, Grunstein RR. Adherence to continuous positive airway pressure therapy: the challenge to effective treatment. Proc Am Thorac Soc 2008; 5: 173-8.
- Strollo PJ Jr, Soose RJ, Maurer JT, et al. Upper-airway stimulation for obstructive sleep apnea. N Engl J Med 2014; 370: 139-49.
- Heiser C, Steffen A, Boon M, et al. Post-approval upper airway stimulation predictors of treatment effectiveness in the ADHERE registry. Eur Respir J 2019; 53: 1801405.
- Inoshita A, Ishimizu E, Ohba S, et al. Early experience with hypoglossal nerve stimulation in Japanese patients: Trends in operative time and treatment outcomes. Auris Nasas Larynx 2026; 53: 367-74.
- 厚生労働省. 診療報酬の算定方法の一部改正に伴う実施上の留意事項について. 2021. <https://kousei.kyoku.mhlw.go.jp/shikoku/iryo\_shido/000189881.pdf> (2026年4月10日閲覧)
- 伊東由佳, 井下綾子, 川越いづみ. 舌下

- Woodson BT, Kent DT, Huntley C, et al. Bilateral hypoglossal nerve stimulation for obstructive sleep apnea: a nonrandomized clinical trial. J Clin Sleep Med 2025; 21: 1883-91.
- Schwartz AR, Jacobowitz O, Mickelson SA, et al. Three-year outcomes of proximal hypoglossal nerve stimulation in OSA. Chest 2026; S0012-3692 (26) 00148-0.
- Lewis R, Pételle B, Campbell MC, et al. Implantation of the nyxoah bilateral hypoglossal nerve stimulator for obstructive sleep apnea. Laryngoscope Investig Otolaryngol 2019; 4: 703-7.
- Van de Heyning P, Vanderveken OM. Chapter 4: History of Electrical Stimulation in Sleep Apnea. In: Heiser C, de Vries N, eds. Upper Airway Stimulation in Obstructive Sleep Apnea. Cham: Springer, 2022; 45.
- Xiao Q, Ignatiuk D, Gunatilaka C, et al. Effects of hypoglossal nerve stimulation on upper airway structure and function using moving wall computational fluid dynamics simulations: a pilot study. J Sleep Res 2025; 34: e70040.