

徹底分析  
シリーズ

## 吸入麻酔と静脈麻酔 どちらを選ぶ?

## 小児麻酔の最適解を探る

指示どおりの麻酔,  
その先を考えたことは?

高橋 有里恵・釜田 峰都

“小児は小さな大人ではない”と言われるが、体重わずか数百gの超早産児からオリンピック選手まで幅広く、どこまで“小児”を意識して麻酔を行うべきか、明確な答えはない。

吸入麻酔か静脈麻酔かの方針は、施設によってはある程度決まっていることが多い。慣れない小児症例で「今日は違う方法でやります!」と自分からは言い出しにくい。小児では何を基準に麻酔方法を決めるべきなのか? ほかの方法にどのようなメリットがあるのか?

13a トラギ/明朝 17w 誌  
122H

小児では吸入麻酔薬で導入後に末梢静脈路を確保する場合もある。そこから静脈麻酔に切り替えた場合、厳密には全静脈麻酔 total intravenous anesthesia (TIVA) ではないが、小児麻酔では便宜上、静脈麻酔での維持を TIVA と呼ぶ。

本稿では吸入麻酔と静脈麻酔について、セボフルランとプロポフォールを中心に述べる。

## 吸入麻酔による導入が一般的

小児で導入前に静脈路を確保するのは患者・医療者双方にとってストレスで、 $0.3\text{ml/kg}$ 、色ベタ+スミ20%。

## コメント

吸入麻酔薬の取り込みや排泄は成人と比較して小児のほうが速い。主に機能的残気量に対する換気量が相対的に多いためである。そのため MAC は低くても乳児期より思春期のほうが吸入導入に時間がかかる。思春期以降ではセボフルランによる導入中に、乳幼児と同じタイミングで静脈路確保をしようとすると体動がみられる。一方で、麻酔深度を深くするため時間をかけると痙攣様の不随意運動がみられる。(2025年3月号も参照)

あり、気道刺激が少ないセボフルランによる緩徐導入が一般的である。亜酸化窒素併用によって二次ガス効果が得られ、臨床で遅延なく麻酔導入が行える(コメント)。デスフルランは気道刺激性が強く、導入時の呼吸器合併症の頻度が高いため(〜50%)<sup>1)</sup>、小児の麻酔導入で使用する根拠はない。学童期以降はマスクを嫌がり静脈路を確保してから静注導入を希望する児もいる。小児では術前に確保された末梢静脈路は点滴漏れの頻度が高く注意が必要である。

## 成長で薬物動態が変化する

●セボフルラン 13a ロダンDB (以下同)  
加齢により吸入麻酔薬の最小肺胞濃度 minimum alveolar concentration (MAC) は減少していくが、小児では年齢による変化が大きい(図1)<sup>2)</sup>。麻酔や筋弛緩薬を併用するバランス麻酔が主流の現在では、麻酔維持に 1MAC ほどの濃度を使用することはなく、乳児症例で高濃度の吸入麻酔薬を使用することはない。

## ●プロポフォール

薬物動態(分布・クリアランス)は年齢により変化する。薬物分布は身体組成に影響を受け、

徹底分析シリーズ ◆ 吸入麻酔と静脈麻酔 どちらを選ぶ? 10a 新ゴR  
色ベタ+スミ20% (以下同)

図1 年齢によるセボフルランのMACの変化(文献2より、改変)

セボフルランの最小肺胞濃度 minimum alveolar concentration (MAC) は、生後1〜6か月ごろ最大(約3.3%)となり、6〜12か月の間に2.5%まで減少し、その後12歳ごろまで大きな変化はみられない。

國中ネム  
・基本 11a MFG BBB  
・太くするネム 11a B太ゴ B101 (以下同)

図版は、0.12ml/kg 色ベタ20% (以下同)

65% → 95% (前後)

図2 1歳までの身体組成の変化(文献3より、改変)

身体組成は1歳までに大きく変化する。新生児期から水分量は約15%減少し、タンパク質の割合は約1.3倍、脂肪の割合は約2倍に増加する。

(+10%以内) 70% → 117%

特に乳児期は組成の変化が大きい(図2)<sup>3)</sup>。クリアランスは肝臓の酵素系や腎臓の排泄能の発達に伴い、1〜2歳ごろに成人レベルに達する。

プロポフォールの小児用の薬物動態モデルは多数報告されており、分布容積とクリアランスは成人より大きく設定されている。例えば、中央コンパートメント容積は小児(1〜12歳)で成人のおよそ1.5倍(343 mL/kg vs. 228 mL/kg)、クリアランスは成人のおよそ1.3倍(34.4 mL/kg/min vs. 27.4 mL/kg/min)である<sup>4)</sup>。このこ

## コラム

色ベタ+スミ10% そのほかの静脈麻酔薬 14a ロダンDB (以下同)

## ●レミゾラム 色ベタ+スミ30%

小児での使用経験の報告は急増しているが、脳波を参考に投与量を調節する方法は確立されていない<sup>5)</sup>。

## ●デクスメトミジン 色ベタ+スミ30%

全身麻酔薬の補助として覚醒時興奮予防や神経保護作用が報告されている<sup>6)</sup>。全身麻

酔の補助としての使用は適応外使用であるが、2時間以上の麻酔を受ける小児でデクスメトミジン併用によりセボフルランを減量し、神経発達に影響があるかを検討する臨床研究が進行中である(TREX試験)<sup>6)</sup>。中間報告で優位性は示されなかったが、2026年に最終的な評価が行われる予定である。

とからも小児の麻酔導入・維持に必要な体重あたりのプロポフォール投与量

10a トラギ/明朝 12w 誌  
TAKAHASHI, Yurie・KAMATA, Mineto  
埼玉医科大学国際医療センター 麻酔科  
0.5ml/kg、色ベタ、水地/4%  
10a ロダンM



徹底分析  
シリーズ 吸入麻酔と静脈麻酔  
どちらを選ぶ？

表1 セボフルランとプロポフォールそれぞれのメリット

セボフルラン	プロポフォール
必要量の個体差が小さい 体内（肺内）濃度のモニタリングが可能 アレルギーの可能性が極めて少ない 静脈路がなくとも投与可能 PRISのリスクがない 誤投与のトラブルが少ない（体重計算不要） 年齢による使用制限がない 準備が容易	覚醒時興奮が少ない 喉頭痙攣の頻度が少ない PONVのリスクが低い 悪性高熱症のリスクがほぼない 使用時の大気汚染がない 運動誘発電位への影響が少ない 痙攣脳波の誘発がない 呼吸による影響がない

PONV: postoperative nausea and vomiting, PRIS: propofol infusion syndrome

は、成人よりも多いことがわかる。また  $3 \mu\text{g/mL}$  の定常状態濃度を維持するために、成人と比較して小児（3～11歳）では約1.5倍の持続量が必要である（Katariaモデル）<sup>5)</sup>。

麻酔深度モニタリングの  
解釈が異なる

吸入麻酔薬は呼気濃度のモニタリングが可能であり、必要量の個人差が少なく、投与量の調整も容易である。一方で、静脈麻酔薬は効果部位濃度の測定ができないため、薬物動態モデルや脳波をもとに投与量を決定する必要がある。Bispectral index (BIS) モニターは小児用センサーを使用しても成人用のアルゴリズムで解析されるため、BIS値ではなく脳波を参考にする必要がある（SedLine®では小児用アルゴリズムでの解析が可能）。

## 小児特有の問題点

## 覚醒時興奮

吸入麻酔薬の使用は覚醒時興奮のリスクとなる。覚醒の質が良く、覚醒時興奮の予防が期待できることは、小児でプロポフォールによる麻酔維持を行う大きな理由である。ほかの危険因子と

して幼児、男児、頭頸部手術があり、これらに該当する場合はプロポフォールでの麻酔維持が推奨される。覚醒時興奮の予防には前投薬の使用（ミダゾラム、デクスメタミジン）やマルチモーダル鎮痛〔オピオイド、非ステロイド性抗炎症薬（NSAIDs）〕のほか、術前のプレパレーションも効果的である。

覚醒時興奮への対処にはプロポフォールの単回投与が有効であるが、低酸素、上気道閉塞、疼痛、低血糖などでも同様の症状を呈するため、特に気道閉塞を除外してからプロポフォールを投与する必要がある。

周術期呼吸器合併症 (PRAE)<sup>9)</sup>

周術期の喉頭痙攣、気管支痙攣、低酸素血症などの周術期呼吸器合併症 perioperative respiratory adverse events (PRAE) は周術期の重篤合併症の中で最も頻度が高い。小児は酸素消費量が多く、機能的残気量が小さいことから、酸素の予備力が低く、低酸素に陥りやすい。特に1歳未満はハイリスク群である。

## 喉頭痙攣

吸入麻酔薬による麻酔導入では、濃度が高くなるに従い喉頭反射は起こりに

くくなるが、挿管に必要な濃度（MAC intubation）でも、喉頭刺激により約20%で喉頭痙攣が起こる<sup>10)</sup>。プロポフォールによる麻酔導入・維持は、セボフルランよりも喉頭痙攣のリスクが低い〔導入：リスク比（RR）3.20（2.57～3.98）、維持：年齢調整済RR 2.37（1.49～3.76）〕<sup>11)</sup>。また、導入時や吸入麻酔による麻酔維持での抜管前に  $0.5 \text{ mg/kg}$  のプロポフォールを投与することで、喉頭痙攣の発生を減少させることができる<sup>12)</sup>。

## 気管支痙攣

プロポフォールとセボフルランでは、術中の気管支痙攣の発生に有意差はない<sup>11)</sup>。デスフルランは、喘息など気道過敏性の高い症例ではセボフルランと比較して、気道抵抗が増加し換気効率が低下する可能性がある<sup>13)</sup>。

## プロポフォール注入症候群 (PRIS)

プロポフォール注入症候群 propofol infusion syndrome (PRIS) は、プロポフォール投与中に治療抵抗性の徐脈、代謝性アシドーシス、横紋筋融解症、高カリウム血症などをきたす重篤な症候群である。発症の機序として、遊離脂肪酸代謝抑制とミトコンドリア呼吸鎖複合体障害が関与していると考えられている。  $4 \text{ mg/kg/hr}$  または  $48 \text{ 時間}$  を超える持続投与、特に3歳未満の若年者、ミトコンドリア病などの先天性代謝異常は危険因子である。近年は成人での発症が小児を上回っている。ICUにおけるPRISの発生率は  $1.1 \sim 4.1\%$ 、死亡率は18歳未満で  $46\%$ 、18歳以上では  $18 \sim 33\%$  という報告がある<sup>14～16)</sup>。日本におけるPRISの発生頻度の調査<sup>17)</sup>では、小児

のTIVAによる麻酔管理でPRISが疑われた症例は  $0.13\%$  未満であり、診断基準を満たす症例はなかった。

PRISが疑われた場合はすぐさまプロポフォールを中止し、呼吸循環管理、アシドーシス補正などの対症療法を行う。

## 悪性高熱症

小児は成人の約5倍罹患率が高い。脱分極性筋弛緩薬（スキサメトニウム）の使用が激減したことにより、現在ほとんどがセボフルランなどの吸入麻酔による誘発によるものである。疑わしい場合はもちろんTIVA一択である。小児悪性高熱症例の  $80\%$  には、筋疾患やその症状、家族歴がない<sup>18)</sup>。

## アレルギー

卵および大豆アレルギーがある症例へのプロポフォールの使用が議論になる。これらアレルギーに対するアレルゲンはプロポフォールの生成過程で除去されるため、基本的には問題ないとされているが、アナフィラキシーの既往がある場合は避けたほうが無難である。

小児は小さな大人ではないことに異論はない。しかし、麻酔方法や使用する麻酔薬は成人と基本的には同じである。患者の個人差はもちろん、乳児から幼児への成長でみられる大きな変化、薬物動態や薬物への反応、使用可能なデバイスなど、少しの変化に合わせたオーダーメイドで麻酔を工夫するのが小児麻酔の面白さである。一様に決められた麻酔方法があっても、成人と同様、機会があれば自分で麻酔計画を考えていただきたい。

## 文献

1. Taylor RH, Lerman J. Induction, maintenance and recovery characteristics of desflurane in infants and children. *Can J Anaesth* 1992; 39: 6-13.
2. Lerman J, Sikich N, Kleinman S, et al. The pharmacology of sevoflurane in infants and children. *Anesthesiology* 1994; 80: 814-24.
3. Friis-Hansen B. Body composition during growth. In vivo measurements and biochemical data correlated to differential anatomical growth. *Pediatrics* 1971; 47 (Suppl 2): 264+.
4. Marsh B, White M, Morton N, et al. Pharmacokinetic model driven infusion of propofol in children. *Br J Anaesth* 1991; 67: 41-8.
5. McFarlan CS, Anderson BJ, Short TG. The use of propofol infusions in paediatric anaesthesia: a practical guide. *Paediatr Anaesth* 1999; 9: 209-16.
6. Tobias JD. Clinical experience with remimazolam in pediatric anesthesiology: an educational focused review. *Paediatr Anaesth* 2024; 34: 1095-106.
7. Lin R, Ansermino JM. Dexmedetomidine in paediatric anaesthesia. *BJA Educ* 2020; 20: 348-53.
8. Saynalath R, Disma N, Taverner FJ, et al. Short-term outcomes in infants after general anesthesia with low-dose sevoflurane/dexmedetomidine/remifentanyl versus standard-dose sevoflurane (the TREX trial). *Anesthesiology* 2024; 141: 1075-85.
9. Habre W, Disma N, Virag K, et al. Incidence of severe critical events in paediatric anaesthesia (APRICOT): a prospective multicentre observational study in 261 hospitals in Europe. *Lancet Respir Med* 2017; 5: 412-25.
10. Erb TO, von Ungern-Sternberg BS, Moll J, et al. Impact of high concentrations of sevoflurane on laryngeal reflex responses. *Paediatr Anaesth* 2017; 27: 282-9.
11. von Ungern-Sternberg BS, Boda K, Chambers NA, et al. Risk assessment for respiratory complications in paediatric anaesthesia: a prospective cohort study. *Lancet* 2010; 376: 773-83.
12. Hosseini H, Ayatollahi V, Rahimianfar AA, et al. The effect of low-dose of propofol on the respiratory compli-
13. von Ungern-Sternberg BS, Saudan S, Petak F, et al. Desflurane but not sevoflurane impairs airway and respiratory tissue mechanics in children with susceptible airways. *Anesthesiology* 2008; 108: 216-24.
14. Diaz JH, Prabhakar A, Urman RD, et al. Propofol infusion syndrome: a retrospective analysis at a level 1 trauma center. *Crit Care Res Pract* 2014; 346968.
15. Fong JJ, Sylvia L, Ruthazer R, et al. Predictors of mortality in patients with suspected propofol infusion syndrome. *Crit Care Med* 2008; 36: 2281-7.
16. Roberts RJ, Barletta JF, Fong JJ, et al. Incidence of propofol-related infusion syndrome in critically ill adults: a prospective, multicenter study. *Crit Care* 2009; 13: R169.
17. Takeshita R, Yasunami K, Watanabe F, et al. Propofol infusion syndrome (PRIS) incidence and related symptoms in children: a retrospective analysis of a nationwide hospital-based database in Japan. *Br J Anaesth* 2024; 133: 684-6.
18. Frassanito L, Sbaraglia F, Piersanti A, et al. Real evidence and misconceptions about malignant hyperthermia in children: a narrative review. *J Clin Med* 2023; 12: 3869.