

声門上気道器具使用下の小児全身麻酔における肺リクルートメント手技の有効性

BJA

British Journal of Anaesthesia, 135 (5): 1537–1542 (2025)






doi: 10.1016/j.bja.2025.08.016

Advance Access Publication Date: 23 September 2025

Clinical Investigation

PAEDIATRICS

Efficacy of a lung recruitment manoeuvre in children undergoing general anaesthesia with a supraglottic airway

Ricarda Lippuner^{1,†}, Charlotte Pellaud^{2,†}, Markus Huber¹, Robert Greif³ , Nicola Disma^{4,*} , Thomas Riva¹ , Alexander Fuchs^{1,†}  and Thomas Riedel^{2,†} 

¹Department of Anaesthesiology and Pain Medicine, Bern University Hospital, University of Bern, Bern, Switzerland, ²Division of Paediatric Intensive Care Medicine, Department of Paediatrics, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Bern, Switzerland, ³Medical Faculty, University of Bern, Bern, Switzerland and ⁴Unit for Research in Anaesthesia, IRCCS Istituto Giannina Gaslini, Genova, Italy

Ricarda Lippuner et al. | British Journal of Anaesthesia 2025;135(5):1537–1542

背景

小児では高い胸郭コンプライアンス、少ない機能的残気量、気道虚脱を起こしやすいといった呼吸生理学的特徴をもつため全身麻酔で無気肺が起こりやすい

無気肺は低酸素血症、ガス交換障害、肺炎などの術後肺合併症につながる可能性があり、予防と治療が重要とされている

SGAは小児麻酔でも広く使われるが、リクルートメント手技に関しては高い気道内圧ではリークを起こすため有効性が不明だった

本研究ではEITを用いて、リクルートメント後の呼気終末肺気量(EELV)の回復を評価しリクルートメントの有効性を検討した

補足スライド：EITとは何か

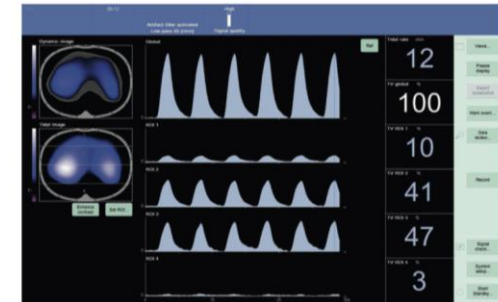
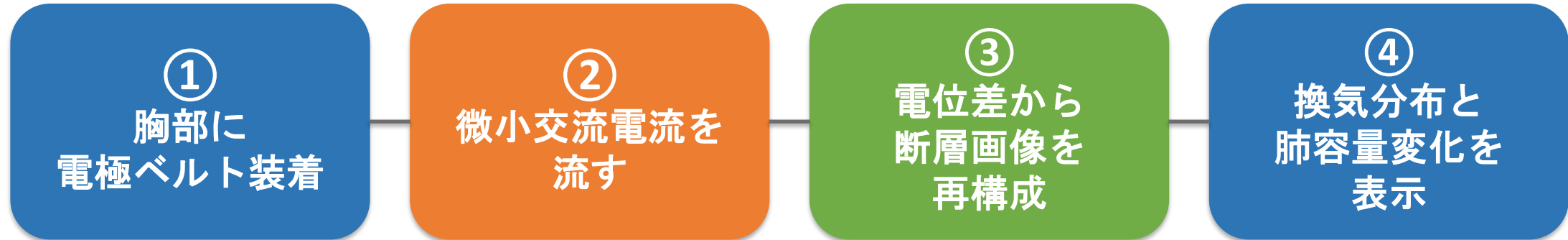
EIT
Electrical Impedance
Tomography
= 電気インピーダンス
断層撮影

胸郭周囲の電極ベルトから微小電流を流し、インピーダンス変化を画像化する

放射線被曝なしで、ベッドサイドで連続評価できる
肺の換気分布や肺容量変化の相対評価に向く



補足スライド：EITの仕組み



空気量の変化に伴う胸部インピーダンス変化を、肺容量変化の代用指標として扱う

補足スライド：EITの臨床での活用

ICU

- ・ 局所換気分布の把握
- ・ PEEP設定
- ・ recruitment評価
- ・ prone前後の変化確認

周術期

- ・ 無気肺の把握
- ・ 換気戦略の最適化
- ・ 片肺換気や腹腔鏡時の評価
- ・ 術後合併症の早期察知

利点

- ・ 非侵襲
- ・ 放射線被曝なし
- ・ リアルタイム
- ・ ベッドサイド評価

補足スライド：EITのエビデンスと限界

期待される点

- ・ EIT-guided PEEP titrationは周術期酸素化改善と関連
- ・ 患者ごとの局所換気情報に基づく個別化換気が可能
- ・ PEEPやリクルートメントに対する反応をベッドサイドで連続観察できる

限界

- ・ CTほどの空間分解能はない
- ・ 絶対肺気量ではなく相対変化の評価が中心
- ・ 電極位置や体位の影響を受ける
- ・ 術後肺合併症改善はまだ一貫して示されていない

補足スライド：この論文でのEITの解釈

Δ EELV

呼気終末肺気量の変
化

リクルートメント後に
ベースラインへ
戻るかを評価

GI index

換気不均一性の指標

高いほど分布不均一

この研究の解釈

EELVは回復
GIは悪化せず

つまり「肺容量は戻り、換気分布は乱れていないということ」

方法：対象・研究設定

研究設定

- 単施設、前向き研究データの二次解析
- feasibility study
- Bern University Hospital
- 2023年1月～2024年4月

対象

- 予定手術の小児
- ASA 1-2
- 体重 10-20 kg

除外

- 困難気道
- 酸素依存
- 先天性心疾患、肺疾患
- BMI >30
- 誤嚥高リスク

方法：麻醉前投薬・導入・維持

前投薬

- Midazolam 0.5 mg/kg
経口または経直腸投与
または
- Dexmedetomidine
2 µg/kg経鼻
入室30分前に投与

麻醉導入

- Fentanyl 2 µg/kg
- Propofol 2–3 mg/kg

IV確保困難時

- Sevoflurane導入後に
IV確保

麻醉維持・筋弛緩

- Propofol 10–15 mg/kg/h
- Narcotrend <60
- Rocuronium 0.9 mg/kg
- TOF-WatchでTOF=0確認

方法：モニタリング

標準モニタ

- SpO₂
- ECG
- 非侵襲血圧測定

追加モニタ

- PtCO₂
- NIRS

肺評価

- 胸部EITベルト
Pulmo Vista 500
- 16電極 + 参照電極
- 胸郭中央面に装着
- 麻酔導入前からリクルートメント後1分まで30 Hz記録

導入後に胸部超音波で気胸を除外

方法：SGAとリクルートメント手技

SGA

- 第2世代SGA
- Ambu AuraGain size 2

リクルートメント設定

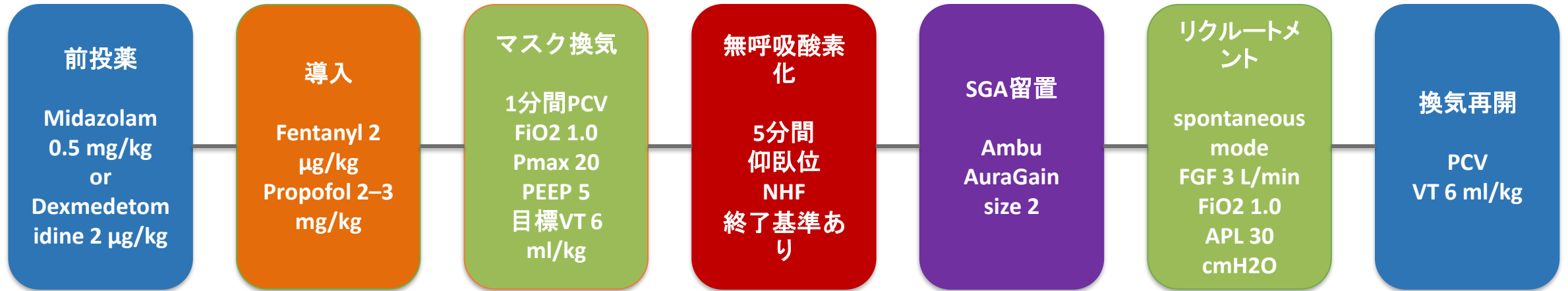
- Primus ventilator
- spontaneous mode
- FGF 3.0 L/min
- FiO₂ 1.0
- APL 30 cmH₂O

終了条件

- 圧プラトー到達
または
- リーク出現

リクルートメント後は圧制御換気を再開し、VT 6 ml/kgで換気

方法：介入フロー

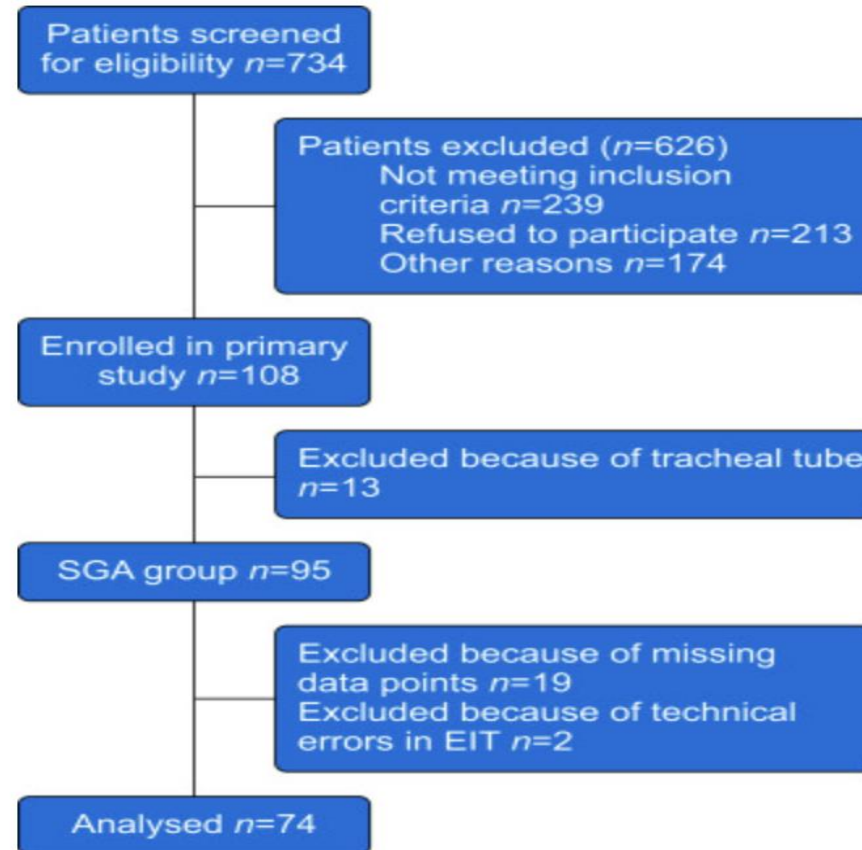


無呼吸終了基準
SpO₂ <95%, PtCO₂ >70, NIRS 30%低下

RM終了条件
圧プラトー到達またはリーク出現

**EITは導入前からRM後1分まで
30 Hzで連続記録**

方法：解析フロー



方法：EIT解析と評価項目

EIT解析

- Graz consensus reconstruction algorithm
- torso mesh function使用
- Matlab R2021aのcustom codeで解析
- 6 ml/kg換気時のインピーダンス振幅で正規化

3つの解析区間

- ① 自発呼吸時
- ② 麻酔導入後ベースライン
- ③ リクルートメント後

各区間は最低5呼吸

評価項目

Primary : 正規化 Δ EELV
Secondary : GI index

同等性判定
95%CIが ± 2 ml/kg 以内

主要結果

解析対象
74例
(95例中21例除
外)

Primary outcome
 Δ EELV after リクルートメント
vs ベースライン
-0.9 ml/kg
95%CI -1.6 to -0.1

Equivalence
95%CIが ± 2 ml/kg 内
→ ベースラインへ回復と判断

GI index

リクルートメント後 vs ベースラインで有意
差なし
→ 換気不均一性は悪化しない

自発呼吸との比較

EELVは+1.2 ml/kg
換気不均一はやや改善

Table1 : EELIとGI index

項目	n=74
EELI spont	-1.19 (-2.53 to 0.70)
EELI baseline	0.87 (-1.07 to 1.84)
EELI post-recruitment	0
GI spont	0.59 (0.56–0.62)
GI baseline	0.55 (0.53–0.58)
GI post-recruitment	0.56 (0.53–0.59)

リクルートメント後のEELIは基準値0として定義。

ベースラインのGIは0.55、リクルートメント後は0.56で大きな悪化なし。

自発呼吸と比べると、リクルートメント後の換気分布はより均一。

**GI indexに有意差なし：
換気不均一性は悪化しな
かった**

考察と臨床的意義

第2世代SGA、FGF 3 L/min、APL 30 cmH₂O、無呼吸直後という条件が成功に寄与した可能性がある

健康な小児では、SGA下でもリクルートメントが肺容量回復に有用かもしれない

「SGAではリクルートメントが難しい」という前提を見直す材料になる

限界

単施設、二次解析、無作為化なし

対象はASA 1-2の健康な小児で、高リスク患児への一般化は難しい

21例が欠測またはEIT技術的問題で除外された

患者予後や術後肺合併症の改善を直接示した研究ではない