



手術室における小児換気

早急な改善の必要性

著者:

Dr. Thomas Fischer, MD

カッセル市立病院小児麻酔・集中治療科主任麻酔科医
(ドイツ)

Dr. Lydia Unger-Hunt, MD

医療ジャーナリスト(ベルギー、ブリュッセル)

現時点では、手術中に行われる小児換気に関する確立されたエビデンスはほとんどなく、利用可能なデータも、大部分が専門家の意見や成人データからの予測データ、または「小児は小さな成人ではない」などと言った臨床的関連性のない言説に基づいています。診療において、このようなデータの欠如のために多くの小児麻酔専門医(もしくは小児患者を担当する一般麻酔医)は、主に個々の経験を頼りに人工呼吸器の設定を行うことを強いられています。!

小児換気: 早急な改善の必要性

現時点では、手術中に行われる小児換気に関する確立されたエビデンスはほとんどなく、利用可能なデータも、大部分が専門家の意見や成人データからの予測データ、または「小児は小さな成人ではない」などと言った臨床的関連性のない言説に基づいています。診療において、このようなデータの欠如のために多くの小児麻酔専門医(もしくは小児患者を担当する一般麻酔医)は、主に個々の経験を頼りに人工呼吸器の設定を行うことを強いられています。¹

データの欠如に加え、新生児や乳幼児の麻酔投与には特有の課題が伴い、小児患者の成人よりも高い周術期死亡率に反映されています。^{2,3} 麻酔に関連した小児の死亡率は、現在1:30,000(成人では1:250,000)と推定されています。周術期心停止の発生率は1:10,000で、このような小児死亡率のおよそ3分の1が、呼吸器系に起因するとされています。⁴ 小児の死亡率を高くしている主な要因には、口腔咽頭部を経由する術式や、筋肉、神経、肺の障害などの基礎疾患が挙げられ、死亡率が最も高い年齢層は、0~1歳とされています。

その他の要因としては、大部分の麻酔科医において、新生児、幼児、小児患者の治療経験が不足していることが挙げられます。⁵ 小さな小児、特に新生児に対する危険やリスクは、最近実施されたAPRICOT(欧州麻酔学協会)の研究でも確認されました。この調査では、欧州33か国、261の施設で約30,000人の小児患者が受けた合計31,000件の麻酔処置の分析が行われました。ここで著者は「欧州において、手術、

または診断手順のための小児患者の麻酔管理中に重大な危機的事象が発生する確率が比較的高く、小児麻酔の実施方法に大きなばらつきがある」ことを指摘し、「このような発見は、麻酔科医とそのチームを対象とした教育を徹底し、小児麻酔の品質改善戦略を実施するために、国、地域、専門家学会の注意を喚起する重要性が十分にある」と強調しています。⁶ この調査によると、周術期の重大な危機的事象の発生率は5.2%で、重大な呼吸器事象の発生率は3.1%でした(重大な危機的事象には、喉頭けいれん、気管支けいれん、誤嚥、投薬ミス、アナフィラキシー、心血管不安定、神経障害、周術期心停止、および喘鳴の発現などがすべて含まれていました)。

本ホワイトペーパーでは、周術期の小児および新生児換気において主に考慮すべき事柄を概説し、臨床診療をどのように進めるべきかを示すと共に、小児換気で注意する必要がある一般的なリスクについて言及していきます。

注: 出典が明らかなものについては、出典を記載するよう努め、エビデンスが確立されていないものについては、自身の臨床専門知識と経験に基づく情報と推奨事項を提供しています(著者、Dr. Thomas Fischer)。

引用:「小さな肺(Baby lung)が小さければ小さいほど、機械換気の危険性は大きくなる。」¹⁵

「Baby lung」は、小児の肺を表す言葉ではありませんが、この引用は今回の内容に非常に適しています。Gattinoniは「小児の肺のように傷つきやすい」という意味で、病んだ成人の肺を「Baby lung」という概念で呼びました。機械換気のパラメーターは、小児患者にとって機械換気を危険なものにする可能性を秘めています。このため、最新の診療手順やエビデンスに注意を払うことが重要です。

呼吸器系: 小児と成人の大きな違い

呼吸器系は、小児と成人とで大きく異なっています。幼児期の特徴は、特に生後1年間に肺が急成長することです。機能的残気量(FRC)は、幼児期の40 mLから成人の3,000 mLまで、75倍の大きさになります。出生後、末梢気道は急成長を遂げますが、気道径の変化は比較的安定しています。肺気



量と比べて小児の気道が小さいということは、成人よりも気流抵抗が大きいことを意味します。さらに未成熟な気道の場合、粘液腺が多いため、分泌物が増えたり粘液栓が出ることもあります。また、注意すべきことは、小児の場合、平滑筋と軟骨が末梢気道よりも中枢気道に集中しているため、気管支拡張剤に対して様々な反応を示します。⁷



肺コンプライアンスは、身長増加に伴い急激に上昇します。乳児の胸壁は成人と比べてコンプライアンスが高いため、肺の虚脱傾向への対抗が弱くなります。この結果、残気量(RV)が低下し、胸壁に歪みが生じて、吸気時の換気量が減少します。乳児には、胸壁のコンプライアンスが高いことによる機能的残気量(FRC)の不安定さと、換気呼吸中の小さい気道の閉塞傾向を部分補正するいくつかの呼吸器系機構が備わっています。

全肺気量(TLC)、FRC、RVの機能は、小児期全体を通じて年齢と共に上昇し、一方で、肺の閉塞量は年齢と共に大幅に低下します。幼児期は肺気量、特にFRCとRVが少ないため、幼児の肺は(2~3歳まで)常に限界近く、あるいは限界状態で機能しており、補正能力も非常に限られています。3歳頃からこの状況が改善し始め、6~8歳頃までには「ほぼ正常」となり、肺の発達状態も成人肺とほとんど変わらなくなります。

その他の要素として、年齢に応じたCO₂とO₂の拡散速度も重要です。小さい小児ほど、O₂とCO₂の拡散速度は低くなります。特に新生児の場合、少ないFRCと低いO₂拡散速度、成人の2倍の酸素摂取量(体重1kg当たり)が必要であることが合わさり、呼吸器系、心臓系、脳神経系に既存の基礎疾患がなくても、呼吸器系に問題が生じた場合には、急速な不飽和化が起こります。

主要ポイント:

- 赤ちゃんや乳幼児がリスクにさらされている3つの要因は、低い機能的肺気量、高い気流抵抗、低いO₂、CO₂の拡散容量。
- このような肺は半開でも機能する成人の肺と異なり、最大容量で機能しているため、緊急時の予備がない。挿管時やFiO₂の変動などに伴うフレッシュガスの送気停止/酸素供給中断後に、SpO₂が低下する速度が非常に速いことに注意が必要である。
- 換気に関しては、2歳未満の小児は全員、最もリスクが高い。
- 3歳以降、状況は改善し、6~8歳になる頃には、成人と比較して「ほぼ正常」になる。
- 一回換気量を含む肺気量が少ないため、死腔は小児患者の換気の際、はるかに重要となる。リークなどのその他の要因もまた悪影響を及ぼす可能性があることに注意が必要である。

小児患者の周術期換気

目標と戦略

成人と同様、小児患者の場合も陽圧換気は肺に損傷を与え、気圧外傷や容量損傷を起こし、人工呼吸器関連肺傷害(VILI)を招く可能性があります。したがって、特に小児の機械換気を行う際は、何よりも一切の危害を及ぼさないことを目指す必要があり、以下の目標を念頭に置いて実施することが推奨されます。

酸素供給 機械換気の目的は、小児または新生児に**十分量**の酸素供給を行うことにあります。

注記: 「十分量」とは、個々の患者さんの状況や年齢に応じた適切な酸素供給を意味します。

前述したとおり、小児患者、特に新生児は、コンプライアンス、抵抗、 CO_2/O_2 拡散速度などの面で呼吸生理学が成人と大きく異なっています。このような生理学的違いがあるため、十分量の酸素供給を実現するには、一回換気量、呼吸数、換気圧などの換気設定において特別な考慮が必要になります。

また、小さな小児の O_2 消費量が $6\sim 8\text{mL}/\text{kg} \times \text{分}$ (成人では $3\sim 4\text{mL}/\text{kg} \times \text{分}$)にもなる場合があることにとりわけ注意が必要です。前述した生理学的特性に加え、成人と比べ小児で大きな問題となるのは、小児の無呼吸(アプニア)への耐性が低いことです。これは生後2日から18歳までのASA I患者50名を対象に行った研究結果から明らかになりました。⁸この研究で著者は、フェイスマスクを取り外したときから、酸素飽和度(SpO_2 SaO_2)が99~100%から90%に減るまでの時間を測定し、1)乳児(生後6~23か月)では、2~5歳児よりも不飽和化が早期に始まり(96.5秒 vs 160.4秒)、2)小児では青年よりも不飽和化する速度が速い(160.4秒 vs 382.4秒)ことを突き止めました。小児は酸素必要量と CO_2 排出に2倍の肺胞換気量が必要でありながら、機能的残気量は3分の1で、 O_2 消費量は2倍です。

小児の場合、網膜症など酸素による悪影響を防ぐために、吸入酸素(FiO_2)の高い設定を避けられることがよくあります。しかしこの問題の原因は、本当に FiO_2 の設定にあるのでしょうか。生後3/4週目の低出生体重児および新生児の場合、長時間(6時間超) SaO_2 の値を高くすることが網膜症の原因になることがあります。したがって重要因子は、供給酸素の量(前述の FiO_2)ではなく、血中の酸素飽和度レベルと言えるでしょう。このような新生児の網膜症は、飽和により引き起こされた新血管形成によるものです。

無気肺の発症に対する FiO_2 の影響の可能性はよく議論されていますが、これは主に成人を対象とした1つの研究でしか結果が示されていないからです。したがって、高 FiO_2 が小児の無気肺の原因であるという仮定は、エビデンスに基づくものではないのです。換気中に圧迫され、空気が排出できなくなることによる無気肺形成の可能性は非常に高いようです。一般的に起こるチューブの配置ミスや、分泌物による小さい気道の閉塞の方が、小児の少ないFRCによる酸素供給の減少にずっと大きな影響を及ぼしているのではないのでしょうか。

もう一つの留意点は、新生児の胎児型ヘモグロビンの存在が、飽和度を変化させ、酸素分圧の低下を引き起こしていることです。新生児の場合、予後不良との関連性が指摘されていても、手術中の失血や頻繁な採血により、成人型ヘモグロビンの輸血が必要になることがよくあります(採血を重ねることで、早産児にとっては大量の血液が失われます)。しかしこのような成人血液の輸血により、酸素結合曲線が右側に移動するため、その結果、同等の飽和度を達成するためにより高い PaO_2 が必要になります。成人血液を輸血することで状況が一変してしまうため、酸素飽和度を測定する際には常に注意を払う必要があります。あいにく、眼科的变化や肺の変化、もしくは小児に対する全体的な成人血液の輸血の影響に関するデータは、現時点ではほぼ無いに等しいのが実情です。対抗策として、必要な輸血量を減らす目的で鉄分やエリスロポエチンの投与が頻繁に行われているようです。



基礎疾患のない生後3週間以上の健常な小児の場合、酸素飽和度は95%を超えていなければなりません。しかし、小児患者特有の症状を常に考慮する必要があります。嚢胞性線維症や肺狭窄など、肺血流が減少する基礎疾患がある場合、最大飽和度が92~93%になることがあります。肺体血流比(Q_s/Q_p)が1:1の単心室生理機能における最大可能飽和度は、80~85%です。単心室生理機能では、肺血流量(Q_p)と体血流量(Q_s)の供給が同等になります。肺血流量(最大飽和度100%)を1:1で体血流量(最大飽和度60~70%)と混合した場合の方程式は $100+170 = 170$ であり、 $170:2 = 85\%$ (最大飽和度)となります。肺からの血流が増えると、酸素飽和度も高くなります。

動脈管開存症の新生児や小児の場合、右→左シャントのリスクがあるため、動脈管前(右腕)と動脈管後(下肢)で酸素飽和度を測定する必要があります。なぜでしょうか。動脈管開存症によって静脈血が肺動脈から大動脈に流れ込み、動脈血と混合することで(右/左シャント)、酸素飽和度が低下するからです。右腕の酸素飽和度(つまり脳に供給する右頸動脈)は、動脈管の前で腕頭動脈が分岐するため、正常な動脈血酸素化が得られます。下肢と左腕は動脈管後であり、右/左シャントの影響で酸素飽和度が最大10~15%低下する可能性があります。これは生命体全体としては許容される状況ですが、右腕の酸素飽和度を測定して、脳への酸素供給が十分に行われていることを確認することが重要です。結論: 小さな小児の麻酔を行う際は、動脈管前と動脈管後で酸素飽和度を複数回測定して相違の有無を確認し、これまでに見つかっていない動脈管開存を検出する必要があります。

主要ポイント:

- 胎児型ヘモグロビンは、成人型ヘモグロビンとは異なる酸素解離曲線を示す。結合が早期に起きるため、左への移動が示唆される。
- 輸血を受けている小児は、曲線が右に移動する。このような場合、同じ酸素飽和度を達成するにはPaO₂を高くする必要があります。
- 酸素飽和度は、動脈管前と動脈管後で複数回測定し、相違の有無を確認する必要があります。
- 生後3週目までの新生児や低出生体重児(妊娠37週目未満)の場合、達成可能な酸素飽和度は92%~96%。
酸素飽和度99%で長期換気を行うと、網膜症や気管支肺異形成症に影響を及ぼす可能性がある。
- 基礎疾患のない生後3週間以上の健常な小児の場合、酸素飽和度は95%を超えていなければならない。

CO₂の排除 小児患者に換気を行う場合、CO₂の排除が重要な要素になります。この年齢グループでは、CO₂拡散容量がO₂拡散係数より高くなっています。このため、O₂よりもCO₂の方が、標準範囲で維持しやすくなります(閉塞性肺疾患や死腔換気量が増えた場合を除く)。注記: CO₂が高く、O₂が標

準である場合、閉塞(空気が排出されない)か、肺前部の死腔が大きすぎるかのいずれかの理由による換気の問題が示唆されるため、現場ではアブニア換気を行う結果となります。

これまでは、適切な範囲にCO₂を維持することと、生命体へのその影響は重要視されていませんでした。このため、特に小さな小児や新生児において二酸化炭素測定が十分に行われないことが原因で、周術期に低炭酸症が起きることがよくありました。低炭酸症は脳や心筋の灌流に大きな影響を及ぼし、新生児(生後3週間まで)や低出生体重児に重度の神経障害を伴う脳室周囲白質軟化症を発症させる主要因子となっていることが証明されています。高炭酸症は、肺灌流の減少、肺高血圧症の増加、頭蓋内圧の上昇リスクの主要因子です。⁹

過換気の一般的な適用: 以前は、過換気とこれに対応する低etCO₂値を使用して、頭蓋内圧の上昇を抑制・コントロールしていましたが、脳室周囲白質軟化症につながる可能性が見落とされていました。また、CO₂et値が35mmHgを大きく下回る過換気を使用して、周術期の呼吸ドライブが抑制されていましたが、これが上述と同じ神経障害の原因になっていました。このため、小児では適切なetCO₂レベルを維持することが不可欠と言えます。



健常な小児で推奨される適切なCO₂範囲は、35~44mmHgです。しかしながら、この「適切な」というのは、小児の体が状況によって適応させた、個々の異なるCO₂レベルを指す場合があります。特定の疾患を有する小児では、正常CO₂レベルが前述の範囲外になることがあります。例を挙げると、気管支肺異形成症の小児は、CO₂値が最大80mmHgまで上昇することがあります。これは小児の体が、正常pHの7.4に到達させる

ために、重炭酸を増やしてこの状況に適応しているためです。上述の「正常な」CO₂範囲を達成するために、この患者に換気を施すと、重炭酸レベルの調整には長い時間がかかるため、pHが大きく変わることになります。このようなpHの変化によって呼吸ドライブが大幅に抑制されると、自発呼吸の開始に遅れが生じます。

TIPP: Winterの式を使用すると、重炭酸の値を用いて患者の個々の正常CO₂レベルを計算することができます。CO₂の12mmHgの差分によりpHが0.1変動し、重炭酸の6の差分によってもpHが0.1変動します。

主要ポイント:

- 乳児の場合、CO₂が高くO₂が正常な状況は、換気の問題が生じていることを示す。
- 低炭酸症は、脳室周囲白質軟化症を発症させ、重度の神経障害を引き起こす主要因子であることが証明されている。
- システムの死腔とリークはCO₂測定値に大きな影響を及ぼす可能性があるため、常に考慮する必要がある。
- 健常な小児で推奨される適切なCO₂範囲は35～44mmHg。
- 一方、特定の疾患を有する小児は、CO₂値がかなり高いことがあり、35～44mmHg CO₂を達成するために換気すると、悪影響が出る可能性がある。

体温管理と加湿

乳児(約1歳になるまでの新生児)の体温管理は中間範囲が非常に狭いため、体温管理の調整を徹底し、管理下に置くことが必要です。小児の脂肪組織は成人とは種類が異なり、成人のように熱を産生することができません。また、成人と比べて体内の水分の入れ替わりが速く、体重に対する表面積比も高いという特徴があります。このため、小児の体温管理は極めて困難であり、外部からの熱や冷気に関するすべての影響因子により大きな影響を受けるため、常に注意を払うことが必要となります。

機械換気では、冷たく乾燥したフレッシュガスフローと回路システムの長さが、体温管理に影響を及ぼす可能性があります。この影響でシステム内のガスの加温と加湿が妨げられ、乾燥した冷たい換気が粘液による閉塞を引き起こす可能性があります。適切な加湿の必要性については、30 mg/L H₂O 含有量と定義されています。HME(人工鼻)は必要な水分量を提供し、これを小児/新生児内に保ちます。しかし、Hunter et alの研究によると、フレッシュガスフローの流量はそれほど重要ではなく、これは、1 L/分未満の少量のフレッシュガスフローであっても、一回換気量の少ない小児にとっては、高流量となるためです。¹⁰

したがって、核心温度を特定し、手術室の室温調整を行ったり積極的な加温システムを使用するなどして外部から加温することは、小児患者の正常体温を維持するうえで不可欠と言えます。

主要ポイント:

- 小児の体重管理は極めて困難であり、外部からの熱や冷気に関するすべての影響因子により大きな影響を受けるため、常に注意を払うことが必要である。
- 適切な加湿の必要性については、30 mg/L H₂O含有量と定義されている。
- 小児患者の正常体温を維持するには、外部から加温を供給することが不可欠である。

機械換気のパラメーターと技術的問題点

一回換気量 人工呼吸器誘発肺損傷(VILI)は、機械換気を行った後に発症する可能性がある、(肺胞の周期的な過伸展と虚脱によって生じる張り応力による)容量損傷と無気肺損傷によって引き起こされる合併症です。このため、低一回換気量(Vt)を使用することは、VILIを減らすためのいわゆる肺保護換気(LPV)の不可欠な部分と言えます(実験的研究ではVILIに対して年齢に関連した感受性があることが指摘されています)。しかし、小児患者への換気における最適な一回換気量は、現時点ではいまだに不明瞭であるのが現状です。

小児患者への麻酔では、6~8 mL/kg体重(BW)の低一回換気量を使用することが肺を保護するとして一般に認められています。160件の研究を含む最近のメタ分析では、高一回換気量は死亡率の上昇と関連性がなく、突き詰めて言うと使用換気量は死亡率に影響を及ぼさない(例: 6、8、10、12、14 mL)との結果が明らかになりました。¹¹

したがって、現在、小児患者におけるLPVのエビデンスに基づいた最適なアプローチを推薦することはできません。

他に考慮すべき要因として、小児の理想的な一回換気量について議論する際、一回換気量を正確に測定することは今なお困難であることを思い出す必要があります。配置されたセンサーの精度以外にも、気管内チューブの漏れや、患者側の圧縮容量などの要因によって、容量の測定が大幅に影響されたり不正確になったりする可能性もあります。



圧力

従来より、全身麻酔下で小児や新生児の手術を行う際は、従圧式換気を使用するのが一般的です。これまでは、呼気分時換気量の測定と制御が困難であることや、最大吸気圧による圧損傷への配慮などから、小児に対する換気方法として最もリスクが低いのは従圧式換気であるという結論が導かれていました。さらに昔の研究結果で、従圧式換気の気流を減速させる方が、従量式換気で気流を加速させるよりも優れていることが明らかになったため、最近では多くの小児麻酔医が従圧式換気を標準法として、小児にとって最も低リスクの換気方法であるとの認識を持っています。

ただし、従量式換気が第一線を退いた理由には、最近まで適切な容量を正確に測定することが技術的に困難だったという事情もあります。装置を一定の換気量に設定すると、その容量が正しい換気量であり、問題なく機能すると見なされていました。現実には、最終的に小児が受け取っている換気量を知る者は誰もいませんでした。従圧式換気では、このようなことは起こりません。「設定した量が受け取る量」となるからです。Feldmanも論文の中で、「麻酔中の人工呼吸器はもともと、少量の一回換気量を正確に送り込むのには適していない」と述べてこの点に言及しています。¹² 従圧式換気がコンプライアンスの変化に基づいた様々な一回換気量を供給する可能性や、最新の麻酔器で少量の一回換気量を供給する機能が改善されていることに鑑みて、Fieldmanは、従量式換気が将来的に異なる役割を担う可能性があるとして問題提起をしています。今後どのような議論へとつながって行くのか、注目したいところです。

小児の機械換気中の圧力設定については、依然としてエビデンスが乏しい状況です。提供されているエビデンスから、高い平均気道内圧(MAP)により過膨張や間質性肺気腫(PIE)、気胸、VILIを引き起こすことが実証されているため、MAPは10cmH₂Oに制限することが示唆されています。

これまでは、通常、5cmH₂Oを超えるPEEPの使用は認められておらず、現在でも小児麻酔医は標準の健常児に3~5cmH₂OのPEEPを使用することを推奨しています。しかし最近の研究では、特に障害のある肺を有する小児において、8~10cmH₂Oの高いPEEPが肺泡のリクルートメントや気道を開いた状態を保つのに有益であるとの結果が報告されています。¹³ この研究では、PEEPを高くすることで、急性肺損傷を有する小さな小児の死亡率が減少することが分かりました。しかし、一般的には、最適なPEEP値は依然として不明であり、その滴定は個人的経験則に頼るところが大きい状況です。

小児の肺を保護するには、圧力を正確に測定し、適用することが不可欠であることを忘れてください。「設定した量が患者さんが受け取る量」という定説はここにも当てはまります。しかし、様々な要素がこれにマイナスの影響を及ぼします。「気道」のコンプライアンスは、重要な一要素です。

麻酔器のシステムコンプライアンスは補正できますが、Yピースより遠位のコンプライアンスはこの計算に含まれていません。また、選択した設定によっては、この「死腔」が大きく影響することがあります。

死腔 解剖学的/生理学的死腔(V_d)は、ガス交換に関与していない肺容量と定義されています。死腔は、通常の一換気量の3分の1と推定されます。

$V_t = 6 \sim 8 \text{ mL/kg}$ 体重(BW)の場合、 $V_d = 2.2 \text{ mL/kg}$ 体重(BW)。

器械的死腔は、双方向の気流を備えた回路システムの一部と定義されますが、簡単に、Yピースの後ろの患者側の内部容量と言うこともできます。

頻繁に見られる設定は、Yピース($\sim 8 \text{ mL}$)、HMEフィルター($9 \sim 20 \text{ mL}$)、閉鎖式吸引システム($\sim 10 \text{ mL}$)および延長チューブ(最大 25 mL)で構成されており、結果的に 50 mL もしくはそれよりも大きい器械的死腔ができます。小児は比較的少量の一換気量を必要とするため、生理学的死腔に器械的死腔が加わると患者さんの一換気量を大きく超える可能性があり、すべてが死腔換気になってしまう可能性があることを念頭に置く必要があります。

このため、体重 25 kg までの小児は全員、重要な装置設定を慎重に行わないことで、過度の死腔や高炭酸ガス血症のリスク、または不十分な V_t /気道内圧により、適切な分換気量を達成できなくなるリスクにさらされます。

技術面 麻酔用ベンチレーターの大部分は、成人向けに開発された半閉鎖式、もしくは閉鎖式回路システムを使用し、ピストンまたはベローズで駆動します。ベローズ駆動式のシステムのデメリットには、換気中の陰圧、室内空気の吸引、フレッシュガスのデカップリングの欠如、長い応答時間、駆動ガスの必要性などが挙げられます。ベンチレーター設定は、小児、特に新生児を対象とする場合、吸気時間を短くするために、吸気フローを高くできる信頼性の高いものである必要があります(例 吸気時間 = 0.7 秒)。ベンチレーターの気道抵抗は、できる限り低くしなければならず、ガスの変更に対する応答(システムの時定数)を短くして、自発呼吸を最適にサポートする必要があります。

以前は、I:E比(吸気:呼気)を重視して、目標値を1:2または1:1.5としていました。状態の悪い患者さんでは、1:1のI:Eも許容範囲と考えられていました。しかし近頃では、I:E比よりも吸気/呼気(T_i , T_e)の実時間を呼吸数から計算した値の方が注目されています。呼気時間(T_e)は小児において非常に重要です。エアトラッピングを防ぐためにも、 0.4 秒 未満に下がらないように注意しましょう。

主要ポイント:

- $\text{CO}_{2\text{et}}$, O_2 吸気/呼気、および圧力(吸気ピーク圧[PIP]、PEEP、MAP)はリアルタイムで測定する必要がある(「設定した量が受け取る量」)。
- 高いMAPは、過膨張、PIE(間質性肺気腫)、気胸、VILIを引き起こすことが実証されているため、MAPは $10 \text{ cmH}_2\text{O}$ に制限する必要がある。
- 生理学的死腔 + 器械的死腔が患者の一換気量を大幅に超える場合があり、すべてが死腔換気となる可能性がある。
- 呼気時間(T_e)は小児において非常に重要である。 0.4 秒 未満に下がらないように注意し、エアトラッピングを予防する。
- PEEPは一般に、 $3 \sim 5 \text{ cmH}_2\text{O}$ の範囲に保つ。肺疾患がある場合は、PEEPが $8 \text{ cmH}_2\text{O}$ でも全く許容範囲である。
- 最適なPEEPは今なお不明で、その滴定は個人的経験則に頼るところが大きい。

換気の際に回避すべき危険:

- チューブの配置ミスはよく起こる問題です。
 - 最も頻繁に起こるのは、気道内でチューブを低く配置しすぎることです。小さな小児の気道は、分岐部までの長さが約2 cmしかありません。このため、右肺または左肺のみを換気してしまう危険性があります。
 - 「入れたから入っている」と思い込まないようにしましょう。
 - ごくまれに、チューブの位置が高すぎて、簡単に外れてしまうことがあります。特に長期に渡って挿管する場合は、チューブの配置が正しいかどうかを確認する必要があります(レントゲンを使用)。
- 酸素飽和度は、動脈管開存症を有する新生児の場合、右→左シャントのリスクがあるため、動脈管前(右腕)と動脈管後(下肢)で測定する必要があります。
- 乳幼児の死腔に留意しましょう。
 - Yピースより遠位の死腔をできる限り減らします。
 - 小さな小児の場合、HMEフィルターを患者さん側ではなく麻酔器側に配置し、延長チューブなどの追加装置は絶対的に必要な場合を除き使用しないようにします。
 - 体重は重要です。
 - 体重が25 kgを超えると、死腔の重要性は低くなっていきます。
 - 体重25 kg未満においては、死腔は非常に重要であると考えられます。
 - すべての人には2~3 mL/kg体重(BW)の解剖学的死腔があります。つまり、体重30 kgの小児には、60 mLの死腔があります。
- Yピースより遠位のシステム設定では、同量の死腔が追加される可能性があり、高炭酸ガス血症のリスクや不十分なVt/気道内圧により、適切な分時換気量を達成できなくなるリスクがあります。

まとめ

小児麻酔における一般原則は、「患者が小さいほど、小さな誤りが与える影響は大きくなる」と言われます。例えば、10 kgの患者さんに与える薬剤や液体は、使用した体重を1 kg間違えると、10%の用量ミスとなります。機械換気にも同じことが言えます。供給される一回換気量の小さな変化が、低炭酸症や高炭酸症を伴う意図しない過換気や低換気につながり、発達中の脳に悪影響を及ぼし、肺損傷のリスクをもたらすことがあります。このような変化が、小児の周術期死亡率が高い主な原因となっています。¹⁴

詳細は当社のウェブサイトをご覧ください www.draeger.com/protective-ventilation

インプリント

ドイツ
Drägerwerk AG & Co. KGaA
Moislinger Allee 53-55
23542 Lübeck

www.draeger.com

参考文献:

- 1 Kneyber us, *Intraoperative BIPAP/PCV+ for the paediatric patient*, *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2015 Sep;29(3):371-9
- 2 Griend BV ET al., *Postoperative Mortality in Children After 101,885 Anaesthetics at a Tertiary Paediatric Hospital*, *Anesth Analg* 2011;112: 1440-7
- 3 Ramamoorthy C, et al. *Anesthesia-related cardiac arrest in children with heart disease: data from the Paediatric Perioperative Cardiac Arrest (POCA) Registry.* *Anesth Analg* 2010;110:1376–82
- 4 Bhananker SM et al, *Anesthesia-related cardiac arrest in children: update from the Paediatric Perioperative Cardiac Arrest Registry*, *Anesth Analg.* 2007 Aug;105(2):344-50
- 5 Christensen RE et al. *Paediatric Cardiopulmonary Arrest in the Postanesthesia Care Unit*, *Anesth Analg* 2017;124:1231–6
- 6 Habre W 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 May;5(5):412-425
- 7 MacDonald KD, *Volume and pressure modes of mechanical ventilation in pediatric patients*; *Respir Care Clin. N. Am* 1996;2:607-618
- 8 Patel R et al, *Age and the onset of desaturation in apnoeic children*; *Can J Anaesth.* 1994;41:771-774
- 9 Okumura A et al, *Hypocarbica in preterm infants with periventricular leukomalacia: the relation between hypocarbica and mechanical ventilation*, *Paediatrics* 2001;107:469-475
- 10 Hunter T et al, *The temperature and humidity of inspired gases in infants using a pediatric circle system: effects of high and low-flow anesthesia.* *Paediatric Anaesth.* 2005;15:750-754
- 11 De Jager et al., *Tidal volume and mortality in mechanically ventilated children: a systematic review and meta-analysis. of observational studies.* *Crit Care Med* 2014 (42):2461
- 12 Feldman JM, *Optimal ventilation of the anesthetized paediatric patient*; *Anesth Analg.* 2015 Jan;120(1):165-75
- 13 Boriosi JP et al, *Efficacy and safety of lung recruitment in pediatric patients with acute lung injury.* *Pediatr Crit Care Med.* 2011 Jul;12(4):431-6.
- 14 Feldman JM, *Optimal ventilation of the anesthetized paediatric patient*; *Anesth Analg.* 2015 Jan;120(1):165-75
- 15 Gattinoni L et al, *The concept of “baby lung”*, *Intensive Care Med.* 2005;31:776-784