

た成人の CCHS が存在することも明らかとなった¹²⁾。また、*PHOX2B* 遺伝子変異を認めない CCHS が存在することも報告されるなど¹³⁾、CCHS には様々な臨床型があることが判明した。そのため、CCHS の診断において呼吸中枢を直接的に評価し、遺伝子診断に加えて呼吸生理学的診断を行うことの重要性が再認識されることとなっている。

呼吸中枢の評価法には、呼吸中枢の二酸化炭素への反応を利用した炭酸ガス換気応答試験がある。現在主流となっている測定法である Read の再呼吸法は、1964 年に初めて報告された²⁾。本邦では新生児や小児における炭酸ガス換気応答試験の報告は非常に少なく、これまで基準値も定まっていなかったが、当科では正常新生児の基準値の検討を行い、さらに特発性無呼吸発作などの病態に炭酸ガス換気応答試験を施行し臨床に役立てている^{5, 6)}。今回は CCHS に対し炭酸ガス換気応答試験を施行し、正常児や無呼吸を呈する他の疾患と比較することで、CCHS の呼吸生理学的診断への有用性と呼吸中枢障害の評価について検討を行った。

本検討において、CCHS の炭酸ガス換気応答値は乳児期から青年期までの測定いずれにおいても、正常例の基準値と比較し低値であった。平均値において大きな差があり、乳児期測定では CCHS の最高値でも、正常児の最低値からみて著しく低い値であった。さらに、無呼吸発作を呈する CCHS 以外の疾患として修正 29 週から 36 週までの早産児と特発性無呼吸発作児との比較を行ったが、CCHS の炭酸ガス換気応答値はこれらの症例に比しても低値であり、呼吸中枢障害が重篤であることが示唆された。

症例 1 においては、約 18 年の成長を経て炭酸ガス換気応答試験の再検を行ったが、炭酸ガス換気応答値は改善せず、ほぼ横ばいの結果であった。前出の特発性無呼吸発作児の報告では、無呼吸発作が消失した後の炭酸ガス換気応答値

は 19.2 ± 9.8 から 31.9 ± 8.7 へと改善していた。このことは、CCHS の呼吸中枢障害は永続的であり、これまで自然軽快した症例はないということ呼吸生理学的にも裏付ける結果となった。

本検討では、CCHS が希少疾患であることが影響し、炭酸ガス換気応答試験を施行できた症例が少なく統計学的検討を行うことができなかった。今後は他施設との共同研究などを検討し、症例数を増加させることが必要である。

また症例数増加は統計解析に加えて、炭酸ガス換気応答値による CCHS の重症度判定にも寄与する可能性がある。CCHS の重症度についてはすでに、*PHOX2B* 変異型によって臨床症状の重症度、発症時期、合併症の有病率などが異なることが報告されている¹²⁾。ポリアラニンの繰り返し数が少ないほど臨床的に軽症であり、特に 25PARM では乳児期以降の発症例や呼吸器感染症罹患時のみ呼吸管理を行う症例が存在する。本検討では 25PARM においても、全例が常時の睡眠時呼吸管理を要する症例であったため、軽症 CCHS の炭酸ガス換気応答試験は施行できなかったが、症例数が増加することで炭酸ガス換気応答値と CCHS の重症度との関連についても検討可能となる。それにより、気管切開または口鼻マスクによる人工呼吸管理のどちらを選択すべきかなど、CCHS における呼吸管理法選択の一助となることが期待される。

まとめ

CCHS における炭酸ガス換気応答値は正常児や他の無呼吸発作を呈する疾患と比較して極めて低値であり、また成長後も改善を認めなかった。炭酸ガス換気応答試験は CCHS の呼吸生理学的診断に有用であり、CCHS の呼吸中枢障害は重篤で永続性であることが呼吸生理学的にも示唆された。今後は症例数を増加させ、CCHS における炭酸ガス換気応答値のより正確な評価

法を確立し、炭酸ガス換気応答値と CCHS の重症度、*PHOX2B* 変異型などとの関連を検討することが望まれる。

謝辞 本検討における、CCHS 症例の *PHOX2B* 遺伝子変異を検索していただきました、山形大学医学部小児科学講座早坂清教授をはじめとする医局員の皆様に深謝いたします。

なお、本論文の要旨は第 45 回日本小児呼吸器疾患学会 (2012 年 9 月於旭川) で発表した。また本研究は厚生労働科学研究(難治性疾患政策研究事業)の一環として行った。

文 献

- 1) Mellins RB, Balfour HH, Turino GM, et al: Failure of automatic control of ventilation (Ondine's curse). Report of an infant born with this syndrome and review of the literature. *Medicine (Baltimore)* 1970; 49: 487-504.
- 2) Read DJ: A clinical method for assessing the ventilator response to carbon dioxide. *Aust Ann Med* 1967; 16: 20-32.
- 3) Hasegawa H, Kawasaki K, Inoue H, et al: Epidemiologic survey of patients with congenital central hypoventilation syndrome in Japan. *Pediatrics Int* 2012; 54: 123-126.
- 4) Sasaki A, Kanai M, Kijima K, et al: Molecular analysis of congenital central hypoventilation syndrome. *Hum Genet* 2003; 114: 22-26
- 5) 邊見伸英, 長谷川久弥, 鶴田志緒, 他: 新生児における炭酸ガス換気応答試験の検討 正常新生児 113 例の正常値の検討. *日本周産期・新生児医学会雑誌* 2012; 48: 357.
- 6) 菅波佑介, 長谷川久弥, 邊見伸英, 他: 早産児における炭酸ガス換気応答試験の検討. *日本周産期・新生児医学会雑誌* 2012; 48: 358.
- 7) 伊藤令子, 小林啓子, 伊藤裕司, 他: 未熟児・新生児における CO₂ 換気応答. *日児誌* 1992; 96: 2252-2257.
- 8) 本田良行, 宮村実晴, 山田良行, 他: CO₂ 換気応答曲線の迅速測定法による研究. *臨床生理* 1971; 1: 173-181.
- 9) Takano N, Sakai A, Iida Y: Analysis of Alveolar PCO₂ control during the menstrual cycle. *Pflugers Arch* 1981; 390: 56-62.
- 10) Miyamura M, Yamashina T, Honda Y: Ventilatory response to CO₂ rebreathing at rest and during exercise in untrained subjects and athletes. *Jpn. J. Physiol* 1976; 26: 245-254.
- 11) Kunitomo F, Kimura H, Tatsumi K, et al: Sex differences in awake ventilator drive and abnormal breathing during sleep in eucapnic obesity. *Chest* 1988; 93: 968-976.
- 12) 早坂 清, 荒井博子, 吉田悠紀, 他: 先天性中枢性低換気症候群における *PHOX2B* 遺伝子異常について. *日児誌* 2011; 115: 769-776.
- 13) Trochet DE, Pontual LO, Straus CH, et al: *PHOX2B* germline and somatic mutations in late-onset central hypoventilation syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 2008; 177: 906-911.

教育講演 2

重症心身障害児者における気道病変
—内視鏡を中心とした管理—

長谷川 久 弥

キーワード：気道病変、喉頭軟化症、気管軟化症

I. はじめに

長期に機械的人工呼吸を受けている重症心身障害児者では、様々な気道のトラブルが起こる。気管切開チューブや吸引チューブの刺激による肉芽形成や出血などの医療行為に伴うトラブルだけでなく、長期間ベッド上で同じ姿勢をとり続けることによる気道の変形がトラブルの原因となる場合も多くみられる。これらの気道病変は症状からすると喘息との鑑別が困難なこともある。薬剤不応性の喘鳴や通年性の喘鳴を認める場合には気道病変の存在を疑い、積極的に検索をすすめる必要がある。この稿では、重症心身障害児者に起こりやすい気道病変とその治療法について述べる。

II. 検索のすすめ方

気道病変の存在が疑われた場合には、画像検査を中心とした検索をすすめる。頸部側面 X 線検査、頸部・胸部 CT 検査は気道病変の検索として多くの情報を与えてくれる。胸部の造影 CT 検査は気管腕頭動脈瘤も危険性の予知や血管による気道の圧迫状態の把握に有用である。直接的な診断としては喉頭・気管・気管支鏡検査が最も有用である。診断だけでなく、気道病変に対する治療を行うことも可能である。

III. 上気道病変

1. 舌根沈下

長期臥床を行っている場合、重力の影響を受けて舌根部が後方に移動し、上気道閉塞を来す場合がある(図 1)。姿勢の工夫などで症状が軽減する場合もあるが、長期にわたって舌根沈下の状態が続くと、扁平喉頭(図 2)などの喉頭の変形を来し、呼吸症状だけでなく誤嚥なども起こしやすくなる。下顎の挙上や姿勢の工夫などで改善する場合もあるが、経鼻持続陽圧呼吸(CPAP)を併用することにより、より安定した管理が可能となる場合も多い(図 3)。管理困難な場合には経鼻エアウェイ(図 4)が有効な場合があるが、重症例では気管切開を必要とする。

2. 喉頭軟化症

喉頭軟化症は吸気時に喉頭の閉塞、狭窄を来し、吸気性喘鳴、閉塞性無呼吸などをおこす。Olney 分類¹⁾では 3 つのタイプに分類される(図 5)。重症例では、喉頭レーザー形成術などの積極的治療が必要となる場合もある(図 6)²⁾。重症心身障害児者では喉頭軟化症単独ではなく、扁平喉頭などの気道病変を合併している場合も多くみられる。こうした場合には喉頭レーザー形成術の有効率が低くなることが報告されている³⁾。

3. 誤嚥

喉頭の変形や嚥下機能障害のある例では、食物だけでなく唾液などの誤嚥を来し、肺炎などの呼吸器トラブルを起こす場合も多い。重症例では喉頭気管分離手術などの適応となる。嚥下機能の評価には従来、造影剤を用いた嚥下試験が行われてきた。この方法は嚥下困難な例で施行困難なことや造影剤の誤嚥の問題があった。こうした問題を解決するために、われわれの施設では経鼻喉頭ファイバースコ

東京女子医科大学東医療センター 新生児科 医師

連絡先 〒116-8567

東京都荒川区西尾久 2-1-10

東京女子医科大学東医療センター 新生児科

(長谷川久弥)

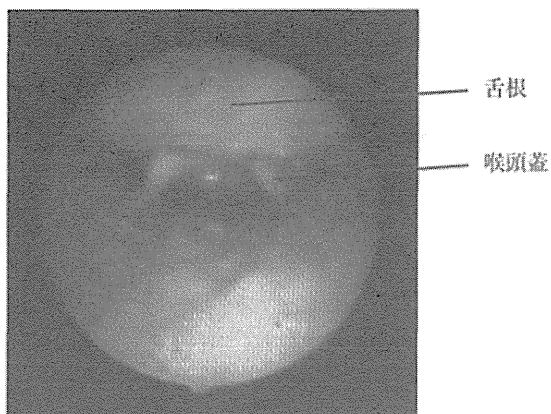


図1 舌根沈下

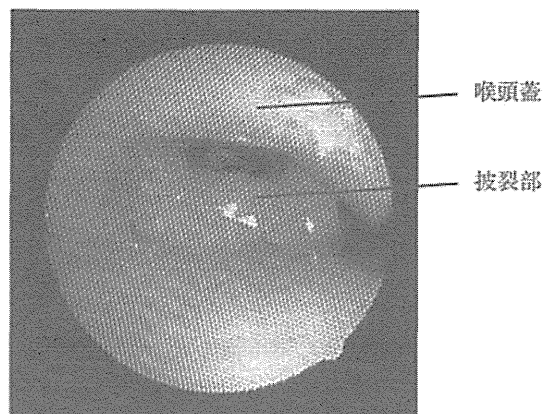
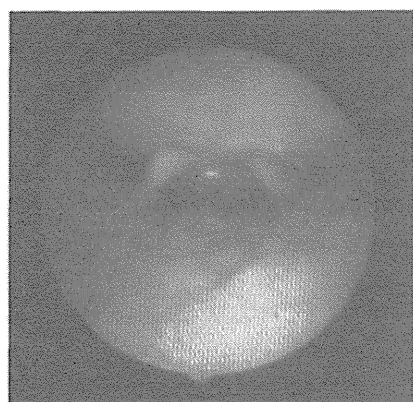
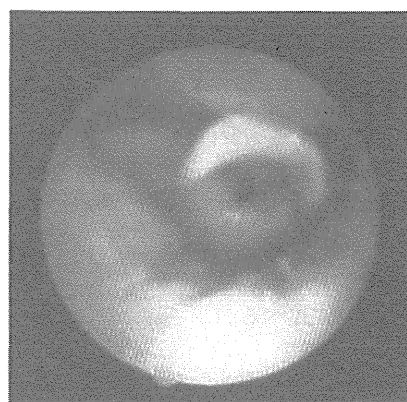


図2 扁平喉頭



CPAP (-)



CPAP (+)

図3 上気道閉塞に対する CPAP の効果

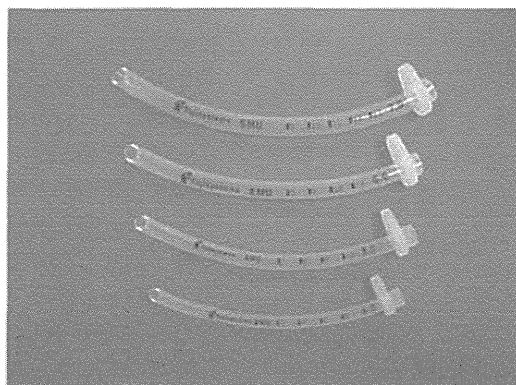


図4 シリコン製経鼻エアウェイ(試作品)

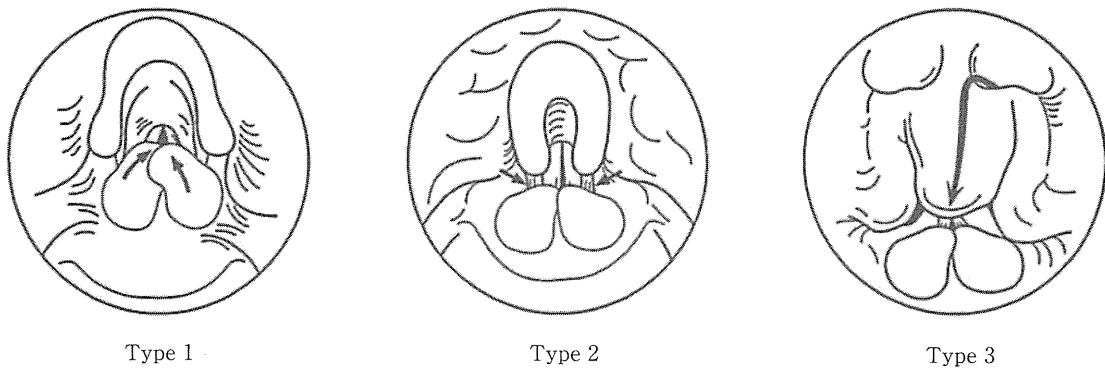


図5 喉頭軟化症の分類(Olney DR,et al. 文献1より引用)

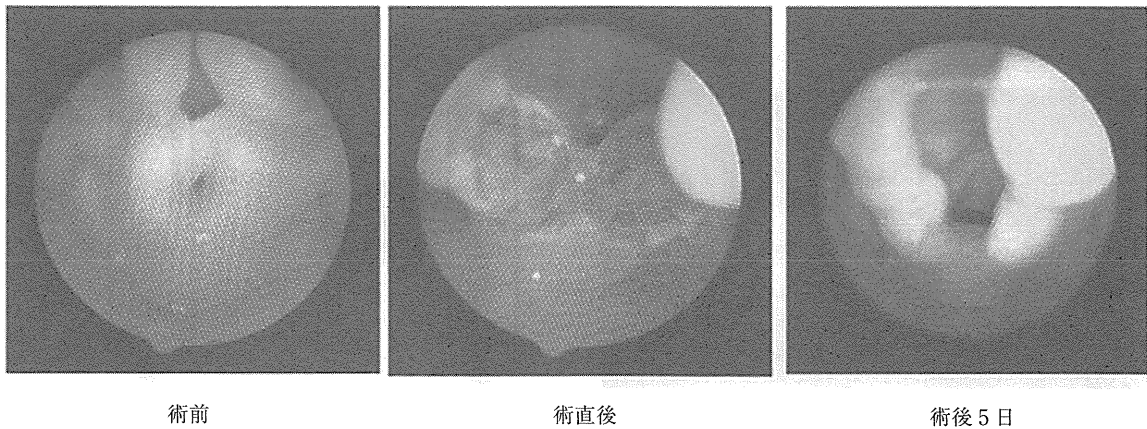


図6 喉頭軟化症に対する喉頭レーザー形成術

ピーを行いながら、生理食塩水をカテーテルで咽頭に注入する嚥下試験を行っている。この方法は、嚥下困難な例でも施行可能で、誤嚥の危険性も少なく、誤嚥を起こす原因検索も可能となっている。気管切開施行例ではスピーキングバルブ(図7,8)を用いることにより、誤嚥の危険性を減らすことができるだけでなく、気管内吸引の頻度を減らせるなどの利点もある。

IV. 下気道病変^{4~6)}

1. 気道の変形

長期に人工呼吸をしている症例では、同じ姿勢(主に仰臥位)になっている時間が長くなり、重力の

影響で進行性に前後に薄い胸郭になってくる。胸郭の前後径が短くなることにより、この中に含まれている気道系も変形を来す。変形の度合いは必ずしも人工換気期間の長短とは一致せず、また、同一の基礎疾患でも違う経過をとる場合も多いことから、個々の症例で対応していく必要がある。気道系の病変の検索を行うのに最も有効な検査は気管支ファイバースコープである。気道の変形の評価だけでなく、血管性拍動を確認することにより、気管腕頭動脈瘤の危険性を把握することが可能である(図9)。胸部CT検査を併用することにより、より正確な病態の把握が可能となる。

気道は変形しただけでは直接的に換気状態の悪

化を来すことは稀であるが、進行すると狭窄や軟化症など臨床的にも問題となるトラブルに発展していくため、定期的な評価と早期対応が重要となる。

2. 気管・気管支肉芽

長期人工換気を施行している例では挿管チューブや吸引チューブの刺激により、気管、気管支肉芽を形成する場合がある。気管肉芽は挿管チューブ、気管切開チューブなどの刺激で形成され、吸引チューブの刺激で増悪する。経口挿管による場合、チューブ先端位置が一定していないため、比較的気管肉芽を形成しにくい。気管切開チューブの場合、チューブ先端位置が一定しているため、一度刺激に対して気道粘膜が反応しやすくなると高率に気管肉芽を形成する(図10)。気管切開チューブの出口に肉芽が形成されると、気管切開チューブその

ものによる刺激だけでなく、気管内吸引を行うたびに吸引チューブが刺激を加えるため、加速度的に増悪する。気管支肉芽は吸引チューブの刺激によって形成される場合が多く、解剖学的特徴から右下葉枝に形成される場合が多くみられる。全周性に狭窄を来す場合と半球状に突出した肉芽を形成する場合とがあり、特に後者では入ってきた空気が出られずに check valve 状態となる大葉性肺気腫などを起こしやすいため注意が必要である。気管・気管支肉芽の治療は肉芽形成の原因となる刺激を減らすことを第一に考える。具体的には気管切開チューブの種類を変更し、先端位置をずらしたり、長さを変更できる特殊チューブ(図11)を用いたりする。また、気管内吸引の際のチューブを挿入する長さを制限し、肉芽にあたらないように工夫する。刺激を減らす努

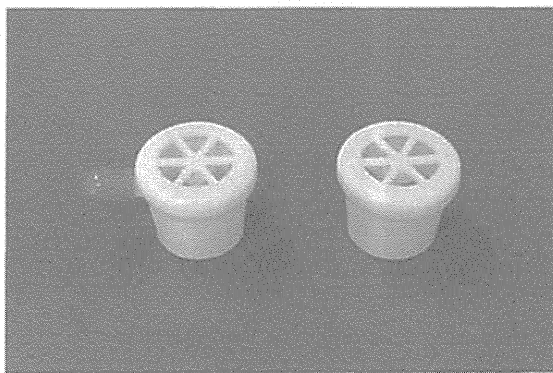


図7 スピーキングバルブ

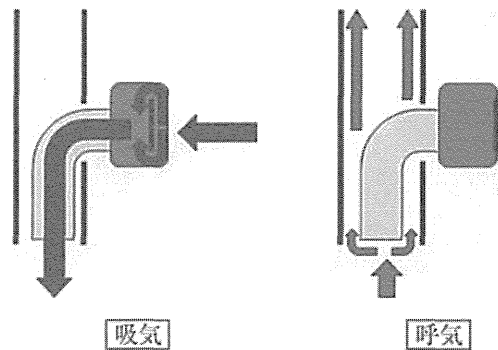


図8 スピーキングバルブの空気の流れ

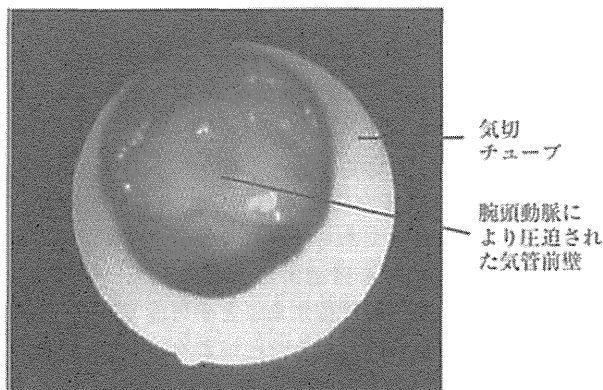


図9 腕頭動脈の圧迫による気管狭窄(気切チューブ下)

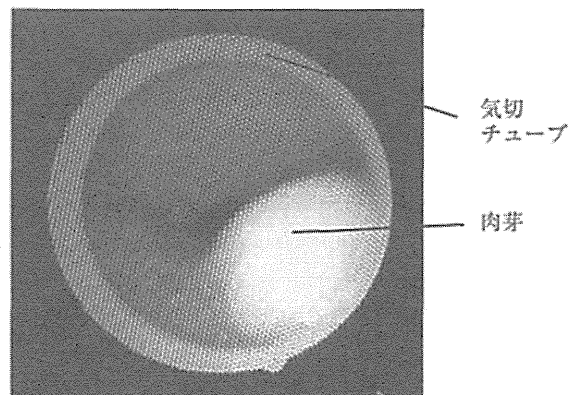


図10 気管肉芽(気管切開チューブ下)

力をして肉芽の成長が止まらない場合には、ステロイド、カテコラミンなどの薬剤の投与を行う。薬剤投与によっても改善せず、呼吸状態の悪化を来す場合には、気管支ファイバースコープを用いたレーザー焼灼術を行う。レーザー焼灼術は有効性の高い治療であるが、稀にチューブの燃焼や出血を来す場合があるので、日常的に刺激の少ない管理を心がけ、肉芽形成を予防することが重要である。

3. 気管・気管支軟化症

正常の気管では、膜性部/軟骨部の比率は1:4.5になっている。気道の変形が進み膜性部の比率が増大すると気道を支える力が弱くなり、呼吸運動に伴う気道の著しい扁平化および閉塞の所見を呈する

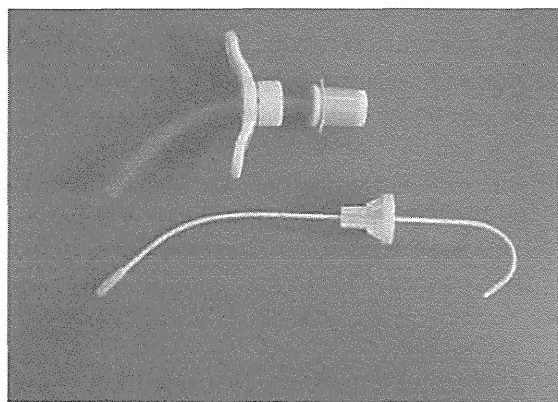


図11 アジャストフィット NEO® (富士システムズ)

気管・気管支軟化症を発症する(図12)。症状としては、呼吸性喘鳴、犬吠様咳嗽、繰り返す呼吸器感染などがあるが、重症になると **dying spell** という呼気時に気道がつぶれたままになってしまい、場合によっては心肺停止に至るような発作を起こすことがある。軽症例では経過をみるだけでよいが、重症例では積極的な管理を行う必要がある。気管・気管支軟化症の治療としては以下のようなものがある。

1) high PEEP 療法

呼気時に気道閉塞を来してしまうような例では著しい換気不全を来すため、呼気時の気道閉塞を予防するために呼気終末に高い圧をかける人工呼吸法が high PEEP 療法である。通常、7~10cmH₂O 程度の圧を呼気終末にかけ、気道閉塞を予防する。年少児で啼泣などの強い場合には、鎮静剤の投与を併用する場合もある。

2) 大動脈前方固定術

大動脈を持ち上げ胸骨の裏側に固定することで、大動脈と結合組織でつながっている気管を持ち上げて閉塞を防ぐ治療法である。傷が比較的小さい、異物を体内に残さないなどの利点があるが、気管・気管支軟化症の範囲の広いものや、胸郭の変形の強い場合には十分な効果の得られない場合がある。

3) 外ステント術

脆弱な気道を外側に支え(ステント)をつけることにより補強し、虚脱を防ぐ治療法である。外ステントとしてはゴアテックス製リング付人工血管を用い、気管支ファイバースコープで気道内の状態を

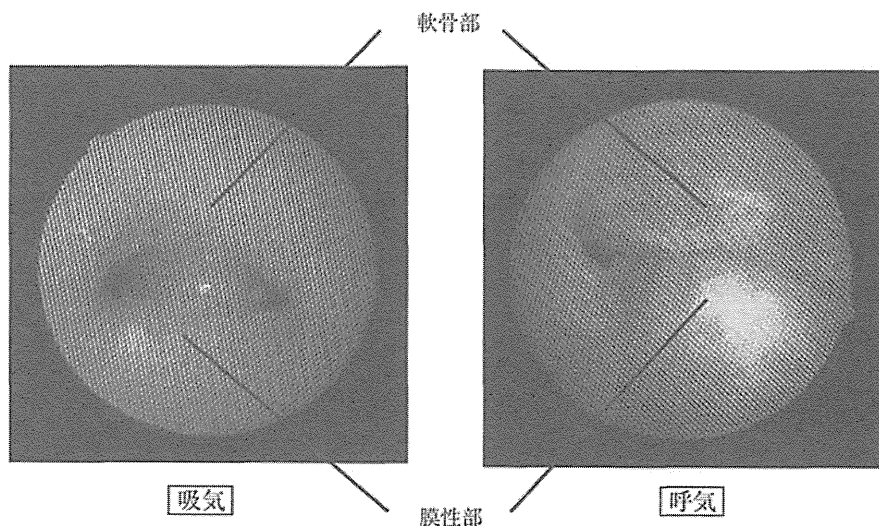


図12 気管軟化症(呼気時に気道の閉塞を認める)

観察しながら、最もよく気道が開く位置で人工血管内を固定する。気管・気管支軟化症の範囲の広いものでも有効で、最も確実な方法であるが、手術の傷が大きかったり、異物を体内に残してくる欠点がある。

4) 内ステント術

外ステントとは反対に内側からステントを入れて脆弱な部分を補強する方法である。開胸する必要がなく、手技そのものは容易である。簡単に施行したくなるが、異物を気道内に残すことから、肉芽形成などの気道粘膜の反応が著しく、術後の気道病変の管理に難渋する場合が多く、長期的な有効性は低い。他の治療法が選べない場合に選択する方法である。

4. 気管・気管支狭窄

気道の変形の仕方によっては、軟化症ではなく、気管・気管支狭窄を来す場合がある(図13)。気管・気管支狭窄の積極的治療としてはバルーン拡張術がある。バルーン拡張術を施行する際には、拡張に適したバルーンカテーテルを選択するために、事前に狭窄部位の長さ、拡張したい径などを測定しておく必要がある。透視下に気管支ファイバースコープでガイドしながら狭窄部位にバルーンカテーテルを挿入し、狭窄部位にバルーンカテーテルが留置されたことを確認した後、ゆっくりとバルーンを膨らませていき、8気圧で30秒間拡張する。拡張中はパルスオキシメータなどで児の監視を行い、状態が悪化した場合には即座に中止する。拡張術終了後に再度、気管支ファイバースコープで観察を行い、拡

張が不十分な場合には同様の処置を再度行う。

V. おわりに

長期人工呼吸に伴う気道病変は、進行した後では治療が困難になる場合も多くみられる。気管支ファイバースコープなどによる気道の定期的な観察と、体位変換など気道の変形の変形を予防する対策をたてることが重要である。気道病変は疑って検索をすすめるのであれば診断、治療に到達しない。薬剤不応性の喘鳴や通年性の喘鳴を認め、通常の喘息として疑問が持たれる場合には気道病変の存在を疑い、積極的に検索をすすめる必要があるものと思われる。

文献

- 1) Olney DR, Greinwald JH, Smith RJH, et al. Laryngomalacia and Its Treatment. *Laryngoscope* 109 : 1770-5. 1999.
- 2) Hasegawa H, Sakai M and Tsuruta S. The evaluation of lung function tests in laser laryngoplasty for severe laryngomalacia. *The Medical Journal of Matsudo City Hospital* 18 : 5-9. 2008.
- 3) Denoyelle F, Mondain M, Gresillon N, Roger G, Chaudre F, Garabedian EN. Failures and complications of supraglottoplasty in children. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 129 : 1077-80. 2003.
- 4) 長谷川久弥. 新生児の気道病変. *日本小児科学会雑誌*111 : 649-58. 2007.
- 5) 長谷川久弥. 気管切開が必要な新生児の病気と管理. *小児看護*33 : 1596-600. 2010.
- 6) 長谷川久弥. 新生児・小児の気管・気管支軟化症. *小児科* 51 : 795-804. 2010.

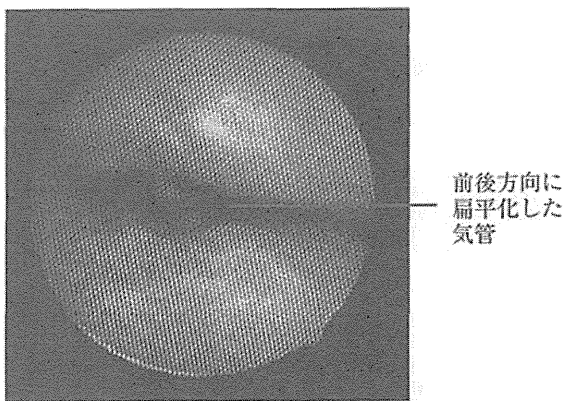


図13 変形による気管狭窄

—小児在宅医療に必要な手技—
在宅人工呼吸療法

鈴木康之

はじめに

新生児医療、呼吸管理技術、小児集中治療の進歩に伴い、長期の人工呼吸管理を必要とする患者数は年々増加している。楠田¹⁾の報告では、NICU長期入院患者の増加が問題となり、年間約100名の受け入れ施設および在宅支援体制が必要である。我々の施設では1983年より小児在宅人工呼吸管理の施行をしており、延べ患者数が101名となった。その約6割がNICUの出身者であり、また現在小児病棟に入院中の長期呼吸管理患者の半数がNICUの出身者である。

平成23年度に東京都が実施した「災害時の在宅人工呼吸器使用難病患者に係る人工呼吸器等実態調査(プレ調査)」では東京都全体の訪問看護ステーションを対象に行った結果、85.8%の回答率で患者数は842名であった²⁾。そのうち小児慢性医療費助成を行っているものが101名(12%)であり、日本全国規模の調査はないが単純に人口比で推測すると、在宅人工呼吸小児患者は1,000~1,500名程度と推察される。また、気管切開下の人工呼吸管理が全体の48.2%、鼻マスク使用の非侵襲的人工呼吸(noninvasive positive pressure ventilation: NPPV)患者が38.8%と気管切開管理がより多い結果であった。24時間人工呼吸使用患者が46.6%と、常時人工呼吸器依存の高い患者が約半数と重症患者が多いことが示されている。

すずき やすゆき 国立成育医療研究センター手術・集中治療部
〒157-8535 東京都世田谷区大蔵2-10-1
E-mail address: suzuki-y@ncehd.go.jp

在宅人工呼吸管理の適応疾患

小児在宅人工呼吸管理の適応疾患を表1に示した。呼吸中枢の異常、神経筋疾患、気道・胸部・肺疾患の三つに分類され、国立成育医療研究センターでの101症例の疾患群の内訳はそれぞれ約1/3ずつであった。新生児期から発症して低年齢で在宅人工呼吸管理となる疾患として、先天異常や低酸素性脳症など呼吸中枢異常、気管肺胸部疾患が多く、神経筋疾患は10代以降に在宅人工呼吸管理となる症例が多い。

小児在宅人工呼吸管理の分類

在宅用の人工呼吸管理は陽圧式人工呼吸管理、陰圧式人工呼吸管理、横隔神経ペーシングがあげられる。我が国における小児在宅患者では陽圧式人工呼吸管理が主流であり、その中で気管切開人工呼吸管理が多いが、乳児用や小児マスクの開発により、NPPVがより低年齢で導入されるケースが多くなっている³⁾。横隔神経ペーシングは先天性中枢性低換気症候群や高位頸椎損傷が適応疾患であるが、我が国では保険適用となっていないため、小児患者ではほとんど使用されていない³⁾。

NICUから在宅人工呼吸への流れ

NICUで救命治療や外科治療後に全身状態が安定し、呼吸器合併症、慢性肺障害、重篤な中枢神経障害、筋力低下などさまざまな理由で人工呼吸器からの離脱が困難と判断された患者が対象である。全身状態も含めて人工呼吸器使用中に病状が

表1 小児在宅人工呼吸管理の適応疾患

呼吸調節の異常	先天性	先天性中枢性低換気症候群(CCHS) キアリ奇形(Ⅱ型)
	続発性	低酸素性虚血性脳症 脳腫瘍
神経筋疾患 (呼吸筋力の低下)		頸椎損傷 筋萎縮性側索硬化症(ALS) Werdnig-Hoffman病(SMAⅠ型) 脊髄炎 Guillain-Barré症候群 重症筋無力症 筋ジストロフィー症 ミオパチー ミトコンドリア脳筋症 代謝性筋疾患(Pompe病) 横隔神経麻痺
気道・胸郭・肺疾患		気管支肺異形成症(慢性肺疾患) 肺低形成症(先天性横隔膜ヘルニア、膈帯ヘルニア術後) 気管狭窄症 先天性肺低形成症 肺線維症(特発性間質性肺炎) 胸郭形成異常症(窒息性胸郭異形成症) 慢性閉塞性肺疾患(COPD)

安定したら早期より、家族に在宅移行への意志の確認が重要である。先天異常や染色体異常に伴う重篤な障害患者においても、患者が家族と一緒に過ごせる時間をつくるのが最大の利益につながることを家族に伝える。在宅人工呼吸管理の意義を説明し、高度な医療機器管理による在宅治療が多方面のサポート体制により可能なことを説明し、時間をかけて同意を得るプロセスが重要である。

1. 在宅用の人工呼吸器への変更

在宅用の人工呼吸器は数社あるが、内蔵バッテリーで長時間駆動可能なポータブル人工呼吸器が選択される。呼吸回路は接続部分が少なく、シンプルなものがより安全である。加温加湿器は外出時には使用が困難なため、人工鼻を利用する。

2. 家族への在宅トレーニング

1) 気管切開患者においては気管内吸引手技、カニューレ管理、交換手技などは日常安全に在宅管理を行うための重要な手技である。また、自己膨張式バッグを習得する必要がある。自宅に

表2 人工呼吸患者のDOPE管理

D	Displacement: 気管切開カニューレの事故抜去や位置異常。カニューレテープは小指が1本入る程度にゆるみがないようにしっかりと固定する。移動時にカニューレに余分な力が加わらないように細心の注意を払う。
O	Obstruction: 気管切開カニューレの分泌物などによる閉塞。適切な深さに吸引カテーテルの挿入と吸気ガスの加温加湿が重要。吸引カテーテルの挿入長はカニューレ長より2 cm程度長く設定し、確実にチューブ内の通過を確認する。
P	Pneumothorax: 気胸は合併症の頻度として多くはないが、急変時には視診、聴診で診断し、迅速な対応が必要。
E	Equipment failure: 人工呼吸器、回路など医療器具の不具合。警報により異常を察知したら、自己膨張式バッグに切り替えて適切な換気を行ってから、対応する。

において気管切開カニューレ、人工呼吸器や医療機器のトラブル時には自己膨張式バッグが手動式人工呼吸器となるため、適切に換気できることが重要である。家族に小児の心肺蘇生法やDOPE(表2)について教育する。DOPEは在宅においても気管切開や人工呼吸管理のトラブル対

処方法として重要である。

- 2) 人工呼吸器および酸素の取り扱い：人工呼吸器と加湿加温器のしくみ、回路交換の仕方、アラームへの対処法のトレーニングを行い、患者用のマニュアルを作成する。
- 3) 経鼻胃管や胃瘻からの注入手技の習得
- 4) 移動のトレーニング：病院と自宅間の移動、つまり、通院のトレーニングが重要である。移動時の呼吸回路の取り回し、自己膨張式バッグによる手動換気、車への移動、ベッドへの移動など確実に短時間でできるようにする。ベッド移動後には、本人の状態を観察し、人工呼吸器の作動状況、呼吸回路、電源、換気圧、モニター値などの確認が重要である。

3. 社会資源の確保

ソーシャルワーカーと綿密に連携し、訪問看護ステーションや在宅往診医を確保する。小児慢性疾患、身体障害手帳の申請など利用できる制度の申請準備を進める。

4. 在宅に必要な器具の購入およびレンタル

人工呼吸器の搭載可能なバギーや車椅子の作製や吸引器は身体障害者の手帳があれば助成を受けることが可能である。特にバギーや車椅子の作製には時間がかかるため、手帳の申請は早めに行うことが重要である。必要な在宅モニターとしてパルスオキシメータが重要であるが、健康保険の適用となっていないため、日常生活用具給付事業の助成制度を利用して購入するか、レンタルなどの準備が必要である。

5. 緊急時の連絡体制として

自宅が遠方の場合には地元地域の救急施設に紹介を行い、診療所や病院間が連携し、安全な在宅管理体制の調整を行う。今後は在宅での遠隔モニタリングが有用となる。我々の施設で1996年からテレビ電話を用いた在宅支援医療を展開し、患者が安全に在宅できる画像モニタリングシステムとして有用であった¹⁾。

6. 外泊訓練

病棟における試験外泊を行った後、自宅での外泊訓練を行う。この時の大事なポイントは、呼吸器装着患者の搬送移動の訓練である。また、多くの医療機器を一般家庭で使用するため、自宅の許容電気容量の確認や患者ベッド周囲の取り回し状況の確認が必要である。

気管切開人工呼吸かNPPVかの選択

乳幼児においては、いくつかの理由で気管切開による呼吸管理が安全性の面で優れている。

1. 低年齢患者のNPPVの問題点

気道が細く脆弱な小児では、マスクによるNPPVは不確実な要素が多い。小児においては、長時間鼻マスクによる圧迫による皮膚損傷や顔面骨の変形を生じやすい⁵⁾。我々の経験でも、ネマリニミオパチーで在宅人工呼吸管理になった患者は11歳から鼻マスクによるNPPVを開始し、長時間マスク装着の結果、圧迫による顔面骨の変形をきたしている。マスク装着年齢が低年齢であればあるほど、長時間圧迫による顔面骨の成長障害による変形リスクは高くなる。マスクによるNPPVは小学校低学年になれば安全に施行できると考えている。

2. NPPV機器およびマスクや回路の多様性の問題

NPPVではインテンショナルリークを正しく設定する必要がある。正しく設定しないと換気異常から医療事故に発展する危険性を有している⁶⁾。乳幼児ではマスク装着とリークの問題は絶えず克服しなければならない問題である。

3. 気管切開の患者にNPPV器と回路を装着した場合

気管切開周囲のリークがあるとインテンショナルリークと重なり、ガスリークが多くなり、吸気ガスの加湿不良によりチューブ閉塞を起こしやすいことがあり、注意が必要である。

文献

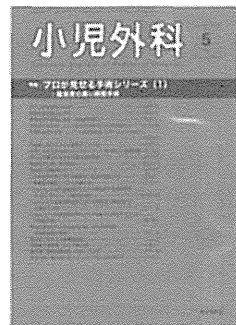
- 1) 楠田 聡：平成 21 年度厚生労働省研究費補助金(こども家庭総合研究事業)「重要新生児に対する療養・療育環境の拡充に関する総合研究」, 2009
- 2) <http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/iryō/kohō/books.files/shishin3.pdf>
- 3) 長谷川久弥, 川崎一輝, 井上壽茂, 他：先天性中枢性肺胞低換気症候群(オンディースの呪い)の全国アンケート調査, 日本呼吸器疾患学会雑誌 **19** : 80-84, 2008
- 4) 鈴木康之, 阪井裕一, 宮坂勝之：テレビ電話の小児医療への利用とその発展, 周産期医学 **28** : 976-978, 1998
- 5) Fauroux B, Lavis JF, Nicot F, et al : Facial side effects during noninvasive positive ventilation in children, Intensive Care Med **31** : 965-969, 2005
- 6) 日本呼吸療法医学会 人工呼吸管理安全対策委員会 : NPPV 関連, 人工呼吸 **28** : 61-63, 2011

* * *

雑誌『小児外科』45 巻 5 号 (2013 年 5 月号) 定価 2,835 円

特集 プロが見せる手術シリーズ (1) : 難易度の高い胸部手術

- 声門下腔狭窄症の手術
- 喉頭気管食道裂の手術
- 喉頭気管食道裂の手術 (喉頭顕微鏡下)
- 気管端々吻合術—とくに壊死性気管支炎症例の経験から
- 気管狭窄症の手術 : スライド気管形成術 (slide tracheoplasty)
- 気管軟化症に対する大動脈吊り上げ術
- 気管・気管支軟化症に対する外ステント術の術式と治療成績
- 低出生体重児に対する右肺上葉切除術
- 胸腔鏡下左肺上葉切除術
- 胸腔鏡下胸腺摘出術
- C 型食道閉鎖症に対する胸腔鏡下食道閉鎖根治術
- C 型食道閉鎖症に対する開胸手術
- Long-gap A 型食道閉鎖症に対する胸腔鏡下食道延長術 (Foker 変法) + 二次的根治術
- Long-gap A 型食道閉鎖症に対する胸腔鏡・腹腔鏡併用全胃吊上げ術
- Long-gap A 型食道閉鎖症に対する胸壁内延長術を付加した多段階手術
- 腐食性食道炎に対する食道全摘・有茎空腸間置食道再建術の実際
- 乳び胸水に対する胸管結紮術
- 胸腔鏡下横隔膜ヘルニア根治術
- 胸腔鏡下横隔膜縫縮術 (両側一期手術)
- 変形の強い漏斗胸に対する Nuss 手術 + 肋軟骨形成



好評発売中

東京医学社

〒101-0051 東京都千代田区神田神保町 2-20-13 Y's コーラルビル TEL 03-3265-3551 FAX 03-3265-2750
E-mail : hanbai@tokyo-igakusha.co.jp URL : <http://www.tokyo-igakusha.co.jp/>

特集

子どもの呼吸管理 2

Key words

パルスオキシメータ
カブノグラフィー
グラフィックモニター
経皮二酸化炭素モニター

呼吸管理におけるモニタリング

鈴木 康之*

要旨

小児の安全で適切な人工呼吸管理を行うためには、患者モニタリングが重要である。動脈血酸素飽和度を非侵襲的に連続的に測定するパルスオキシメータ、換気の指標である呼気二酸化炭素濃度を測定するカブノグラフィー、人工呼吸器の気道内圧・吸気呼気流量・換気量を測定表示するグラフィックモニター、高頻度振動換気や非侵襲的人工呼吸管理でも使用可能な経皮二酸化炭素モニターについて解説した。モニタリング技術の進歩により安全な呼吸管理が可能となった現在においても、モニタリングのみに頼るのではなく、視診聴診などの理学所見、胸部X線写真、血液ガス所見などと合わせた総合的な診断が必要となる。

はじめに

小児の人工呼吸管理を安全に適切に行うためには、モニタリングが重要である。日本呼吸療法医学会の人工呼吸器安全使用のための指針(第2版)¹⁾では、以下のモニタリング4項目があげられている。①パルスオキシメータによる経皮的酸素飽和度を連続的にモニタリングすること、②呼気二酸化炭素濃度を連続的にモニタリングすること、波形も表示すること、③心電図を連続的にモニタリングすること、④人工呼吸器の分時換気量、気道内圧を連続的にモニタリングすること、そして①から③については警報装置を作動させることとなっている。小児の呼吸不全患者が増加している傾向もあり、集中治療室、新生児集中治療室、それ以外の一般病棟などでの呼吸管理においては、患者の安全のために適切なモニタリングを行うことは重要不可欠となっている。

I パルスオキシメータ

呼吸のモニターでもっとも汎用されているモニターである。パルスオキシメトリは非侵襲的に動脈血酸素飽和度(SpO₂)を測定でき、酸素化のモニターとして校正が不要、簡便、安価という特徴がある。指先などに発光部と受光部とからなるセンサーを取り付けるだけで測定可能である。本来、呼吸のモニターであるが、脈波の形状やセンサー装着部の容積変化をPI(perfusion index)という指標で数値化し、末梢循環の指標としても活用できる。SpO₂に影響を与える因子や状況は、①体動、②一酸化炭素ヘモグロビン、メトヘモグロビンなどの異常ヘモグロビンの存在、③血管内色素、④皮膚の色素沈着、⑤マニキュア、⑥センサーの不適切な装着、⑦センサーの汚れ、⑧周囲の光による干渉などである。またSpO₂が80以下の低値での信頼性がかける装置も存在する。

* 国立成育医療研究センター手術・集中治療部
〒157-8535 東京都世田谷区大蔵2-10-1

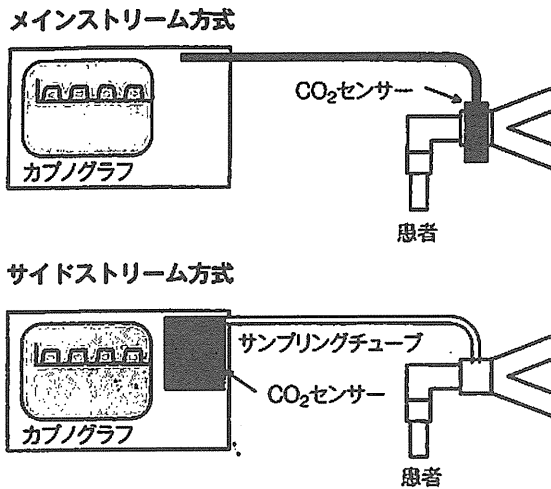


図1 メインストリーム方式とサイドストリーム方式

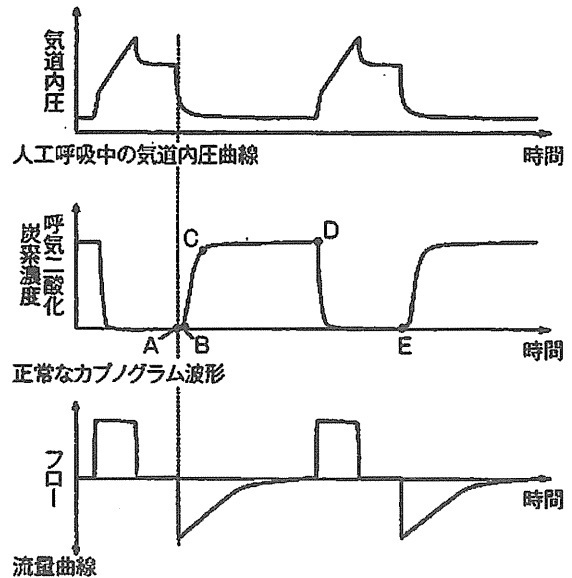


図2 气道内圧, 呼気二酸化炭素濃度, 流量曲線

Ⅱ カブノグラフィー

カブノグラフィー（呼気二酸化炭素モニター・カブノグラフ）は呼気中の二酸化炭素濃度を連続測定する装置である。センサーを気管チューブと呼吸器回路との間につけるメインストリーム方式と同部位にサンプリングチューブを取り付けるサイドストリーム方式と2種類があり、現在はサイドストリーム方式が主流となっている（図1）。

①. メインストリーム方式

呼気ガスを吸引することなく、測定チャンバーを患者口元に位置させて測定する方法である。したがって、遅延時間がほとんどなく、吸引されることがないため、換気条件に及ぼす影響は測定チャンバー付加による死腔量の増加のみである。新生児用に死腔量を最小限にした機種も存在する。サンプリングチューブが存在しないため、分泌物や加湿ガスの影響を受けずに安定した測定が可能である。従来メインストリーム方式では非挿管患者の測定は困難であったが、重量4gの超小型のセンサー（CapONE®日本光電工業）により酸素カニューレや

酸素マスクと併用しながら測定が可能となった²³⁾。

②. サイドストリーム方式

呼気ガスを気道から直接ポンプで吸引し、サンプリングチューブを介してカブノメータに導き測定する方式である。サンプル量として50~150 mL/分が一般的である。この方法はサンプリング部位を患者の肺に限りなく近づけることが可能であり、死腔量に影響されない肺胞レベルでの炭酸ガス濃度または分圧を測定できる方法である。メインストリーム方式に比べて、患者に直接接続されるサンプリング部が簡潔で軽量であると同時に気管挿管されていない患者でも容易に測定できる利点を有する。

サイドストリーム方式の最大の欠点は、水分貯留や分泌物によるサンプリングチューブの閉塞である。水分による閉塞に関しては、除湿が可能なナフィオンチューブの利用やウオータートラップの改良により、加温加湿器を用いて加湿をしている小児集中治療領域においても支障がない程度になっている。換気量の少ない小児や挿管されていない患者でも測定可能という利

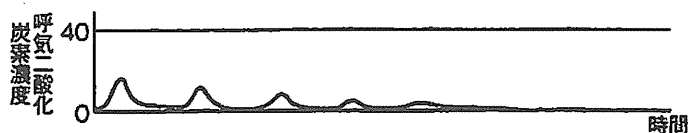


図3 気管挿管チューブ食道内挿入時のカプノグラム
最初の数呼吸、小さな波形がみられるがすぐに消失する。
(宮坂勝之, 1988⁴⁾)

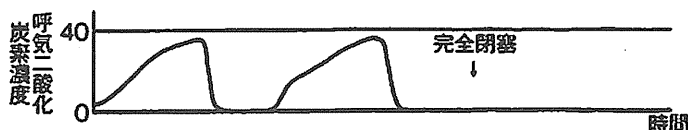


図4 気管挿管チューブの完全閉塞
内腔が完全閉塞すると、上行枝は消滅し、全く平坦なカプノグラムとなる。
(宮坂勝之, 1988⁴⁾)

点をもっている。

③. カプノグラム波形の各部分の意味

上段に人工呼吸中の気道内圧曲線、中段に正常のカプノグラム波形、下段に流量曲線を示す(図2)。気道内圧流量に関しては後述とし、中段のカプノグラムの波形を説明する。

第1相(A~B)：Aが呼気の始まりで、呼出されるのはマスク換気の場合は咽頭や鼻腔、気管や気管支などに存在するガスである。気管挿管の場合はチューブ内、気管や気管支内に存在するガスが呼出される。これらの部分ではガス交換が行われていないので、吸気と同じ組成のガスが呼出される。呼気中に含まれる二酸化炭素分圧はほとんど0である。

第2相(B~C)：器械的解剖学的死腔と肺胞からのガスが混合する部分が第2相にあたる。二酸化炭素濃度は急速に増加する。肺胞から出てくるガスは、血液から肺胞内へ流れ込んでくる二酸化炭素が含まれている。

第3相(C~D)：第3相は alveolar plateau (肺胞相)といわれ、ほとんどが肺胞からのガスとなる。正常肺ではほぼ平坦である。呼気が終了したところ(D)の二酸化炭素分圧が終末呼気二酸化炭素分圧(endtidal CO₂:ETCO₂)ということになる。正常値はおよそ5.0~5.3%,

分圧で5.1~5.3 kPa, 38~40 mmHgである。

第4相(D~E)：呼気が終了し、吸気が開始すると二酸化炭素分圧は急激に低下し、基線に到達する。

カプノグラムから診断できることは、患者の血液中の二酸化炭素濃度の推定、挿管チューブの位置が適切かどうか、気道閉塞の有無、死腔換気量の推定、呼吸数などである。

④. 異常なカプノグラム波形

正常なカプノグラムが観察されない場合には、機器の故障やサンプリングチューブの閉塞、食道挿管などがある。食道挿管直後に人工呼吸を開始すると、呼気の最初は胃内に含まれていた二酸化炭素が数回排出されるが、換気回数を重ねるうちにゼロに近づき、徐々に検出されなくなる(図3)。

呼吸停止、心停止、気管チューブの完全閉塞でもカプノグラムは平坦となる(図4)。

呼気が延長していると第3相がプラトーとならず、右肩上がりとなる。喘息や細気管支炎などの気道閉塞の病態で起こる(図5)。気管狭窄や気管チューブの不完全閉塞でも同様の波形が得られる(図6)。気管挿管チューブが完全閉塞すると図4で示したように突然平坦になる。

基線がゼロに戻らない場合は呼気中に二酸化

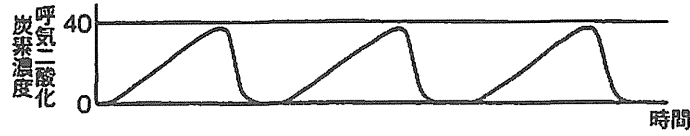


図5 喘息発作, 気道狭窄
上行枝が著しく平坦化, 遅延化する。つまり呼気の延長が明らかである。ETCO₂は PaCO₂を全く反映しない。(宮坂勝之, 1988⁴⁾)

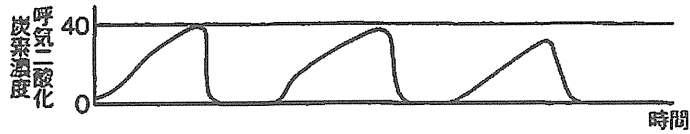


図6 気管挿管チューブの不完全閉塞のカプノグラム
上行枝がゆるやかになり, 第3相(肺胞相)がみられない。気管挿管チューブの折れ曲がり, 喀痰貯留, 気道異物などが原因でみられる。(宮坂勝之, 1988⁴⁾)

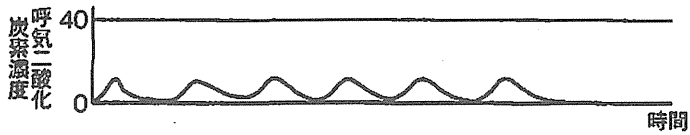


図7 リークの多い気管チューブ
リークが多い気管チューブでの人工呼吸もしくはカフ付チューブのカフの破損, ETCO₂値は低下しているが, 低換気の可能性あり。(宮坂勝之, 1988⁴⁾)

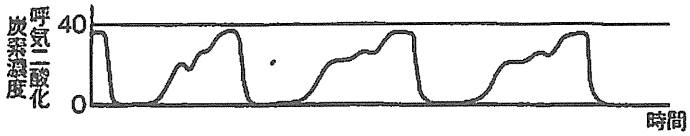


図8 片肺挿管
気管挿管チューブが右気管支内に入りこみ, 片肺挿管になった場合カプノグラムに変化のみられない場合もあるが, ときに上行枝が突然乱れたり, ラクダ型波形がみられる場合もある。(宮坂勝之, 1988⁴⁾)

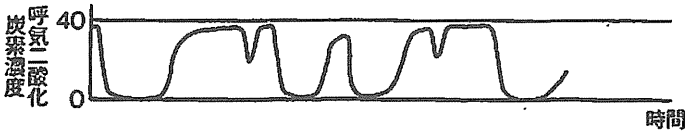


図9 人工呼吸器とのファイティング
不規則なカプノグラムの波形や本来平坦な第3相にみられるディップはファイティング時にみられる特有の波形である。(宮坂勝之, 1988⁴⁾)

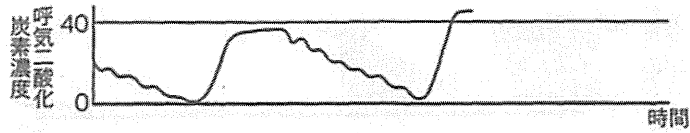


図10 緩徐な呼吸と心源性波動

カプノグラムに心拍動に同期した波動がみられる場合は、呼気相の遅延または換気量が著しく小さいことを意味する。心源性波動の原因は、心拍動が肺を外から機械的に圧迫し、わずかな空気が入り出すからである。(宮坂勝之, 1988⁴⁾)

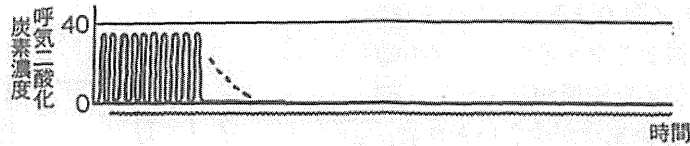


図11 呼吸停止

呼吸停止か、呼吸回路の外れの場合の波形。二酸化炭素の周期的変動が消失し、また濃度自体も低下する。破線のようにガス濃度が徐々に下がる場合もある。(宮坂勝之, 1988⁴⁾)

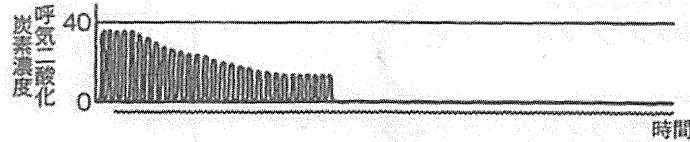


図12 循環血液量減少

カプノグラムは血圧や循環血液量低下のモニターとしては敏感ではない。換気が一定にもかかわらず、振幅の低下がみられる状況では、肺血流量が不十分になりつつあることを意味する場合がある。(宮坂勝之, 1988⁴⁾)

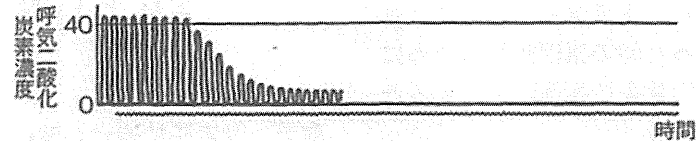


図13 心停止

人工呼吸中の患者では、はじめ大きかったカプノグラムの振幅が徐々に小さくなる。最後にごく小さな波形がみられるのは心停止に特徴的な現象である。最後にみられる二酸化炭素濃度の上昇は肺での二酸化炭素産生による。(宮坂勝之, 1988⁴⁾)

炭素が含まれていることを示している。再呼吸が起こっている場合である。小児ではリークのあるカフなしのチューブを使用していることが

あるため、第3相のプラトーがみられずに右肩が削られた波形になる(図7)。

気管チューブの位置異常で、片肺挿管では上

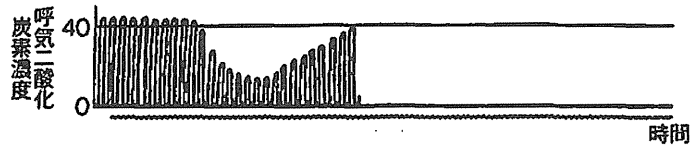


図 14 肺梗塞

梗塞部位の肺は換気されるが、二酸化炭素の排出がない死腔となっている。このためその部分の呼気が他の部分から呼出される二酸化炭素を洗い流し、二酸化炭素濃度は低下する。PaCO₂は上昇している場合が多い。(宮坂勝之, 1988⁹⁾)

行枝が突然乱れ、ラクダ型の波形がみられる(図8)。また、人工呼吸器とのファイティングの時には図9のような不規則な波形がみられる。図10のように呼吸回数と換気量が少なくなると、呼気相に心臓の拍動による基線の振れとして心源性波動の波形がみられることがある。

カブノグラムのトレンドデータより呼吸停止、循環血液量減少、心停止、肺梗塞などの特徴的な波形を図11~14に示した。

Ⅲ 人工呼吸器のグラフィックモニター

最近の人工呼吸器にグラフィックモニターを搭載している機種が増えてきている。このグラフィックモニターを活用することにより、安全かつ適切な人工呼吸を行うことができる。グラフィックモニターは患者の呼吸機能に関するリアルタイムの変化と人工呼吸器の作動状態の両方をモニターしている。グラフィックモニタリングはアラームが鳴った時の原因究明のためにも、刻々と変化する急性期の病態に対応するためにも重要となる。

1. 圧制御換気 (pressure controlled ventilation : PCV)

小児で主流の換気方法である。一換気量が一定ではないという欠点があるが、均一でない病的肺に対して、圧損傷や容量損傷を避ける換気方法といわれる。PCVの標準的な波形を図15に示した。吸気開始とともに気道内圧が設定吸気圧まで上昇する。吸気流量の立ち上がりの程

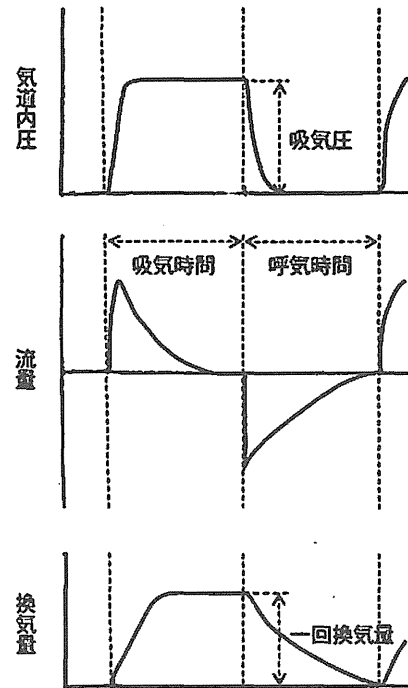


図 15 PCVの標準的な波形

度で、設定圧に達する時間は変わってくる。ガスは肺胞内圧と気道内圧の差に比例した流量で肺内へ流れ込むため、最初は肺胞内圧が低いので大きな流量で流れ込む。肺容量の増加とともに、肺内圧も上昇するため吸気流量は次第に低下する。設定した吸気時間が経過すると吸気相から呼気相へ変わり、呼出される。

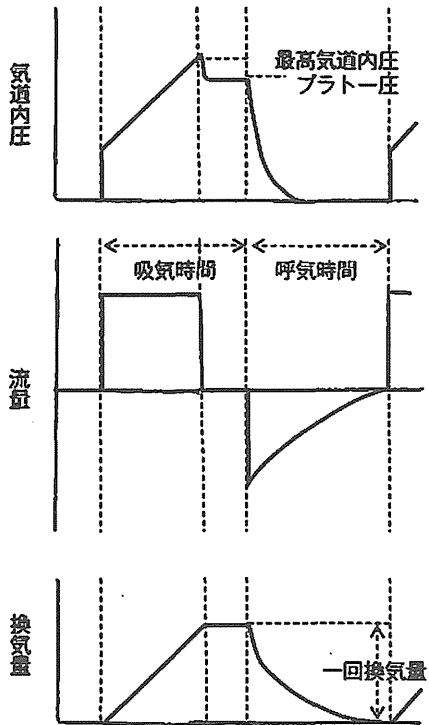


図 16 VCV の標準的な波形

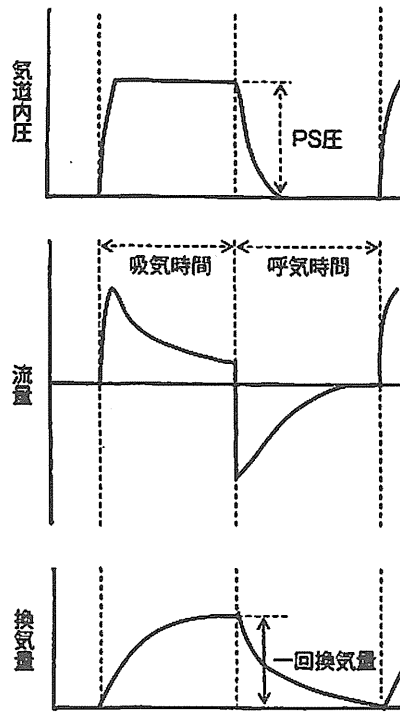


図 17 PSV の標準的な波形

②. 量規定換気 (volume controlled ventilation : VCV)

VCV の標準的な波形を図 16 に示した。吸気開始とともに一定流量のガスが肺に送り込まれる。気道抵抗に打ち勝つまでは気道内圧は急上昇する。一定の流量で肺にガスが送り込まれるので換気量は直線的に上昇し、気道内圧も肺胞内圧にあわせて上昇する。気道内圧は規定量のガスを送り込んだ時がもっとも高く最高気道内圧となる。続いて休止相 (プラトー相) では流量がゼロとなるため、気道抵抗のため発生した圧がなくなり気道内圧が低下する。この圧の変化は吸気開始時の圧上昇と等しい。休止相の気道内圧をプラトー圧という。この圧は肺胸郭のコンプライアンスにより規定される。休止相が終了すると、呼気弁が開き呼気相となる。肺胞内圧と大気圧の差で呼出され、肺容量が減少する。

③. プレッシャーサポート換気 (pressure support ventilation : PSV)

自発呼吸の吸気を補助するプレッシャーサポートの標準的な波形を図 17 に示した。自発呼吸による気道内圧変化 (圧トリガー) もしくは回路内の流量変化 (フロートリガー) を感知した人工呼吸器はガスの送り込みを開始し、立ち上がり時間をかけて設定 PS 圧までガスを肺へ送り込む。吸気の立ち上がりの流量は段階的に変化させることができる。吸気相から呼気相への移り変わりは PSV では吸気流量の減少で判断している。最大吸気流量に対する割合で判断するものが多い。この割合を吸気終了基準もしくはサイクルオフ値という。

④. グラフィックモニターで診断できる病態

グラフィックモニターから診断できる代表的な病態を解説する。

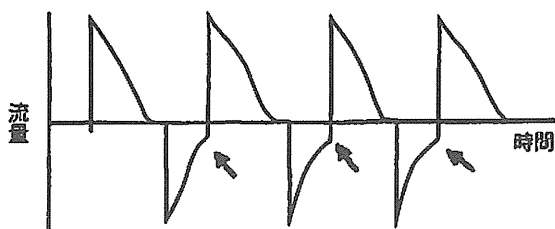


図 18 auto PEEP の状態の流量曲線

a. 流量曲線で呼気が基線に戻らない場合
 正常に換気されている患者であれば、呼気曲線は次の吸気までに基線に戻る。図 18 に示すようにこれが基線に戻らない場合は、次の吸気直前まで患者は呼気を続けていることになる。これが auto PEEP の状態である。auto PEEP の状態は患者の呼気が終了する前に人工呼吸器の吸気が始まってしまうために生じる。呼吸仕事量が増加し、また air trapping が進み、気胸の原因となることがある。具体的には喘息発作、末梢気道閉塞患者などのように呼出障害がある患者の場合は内因性 PEEP が高くなってしまい、患者のフロー曲線が図 18 の波形となる。対応としては内因性の PEEP に対して PEEP 圧を上げる、換気回数を減らし十分な呼気時間をとる、吸気時間を短くする、気管支拡張薬の使用などである。

b. 気道抵抗増加時、コンプライアンス低下時の気道内圧曲線
 VCV では一回換気量を決めて換気している

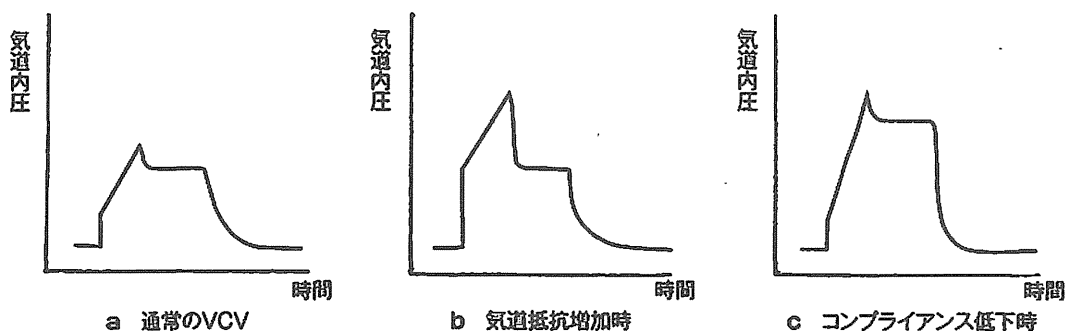


図 19 気道・肺の状態による気道内圧の変化

ので、患者の気道や肺の状態で気道内圧が変化する(図 19)。喘息や細気管支炎のときのように気道抵抗が増大している病態では、気道内圧の曲線は図 19-b のような波形になり、立ち上がりの部分が急峻となる。また肺や胸郭のコンプライアンスの低下している場合は図 19-c のような立ち上がり曲線になる。

IV 経皮二酸化炭素モニター

皮膚にセンサーを貼付するだけで、非侵襲的に動脈血液中の二酸化炭素濃度を測定できるモニターとして新生児領域で広く使用され有用性が認められていたが、近年では小児や成人領域での有用性が報告されている^{5)~8)}。センサーの中心部を 42℃ に加温し、皮膚の毛細血管の血流を増加させ、動脈血に近い状態にする。皮膚の表面に二酸化炭素の浸透性が高まり、拡散した二酸化炭素が測定電極の膜を通過して電解液の中に入り込み化学反応を起こす。その電気信号を数値化して二酸化炭素分圧として表示する。Sen Tec Digital Monitor[®]や Tosca[®]は酸素飽和度センサーと一体化したモニターとして使用されている。カプノグラフィーで測定不可能な、高頻度人工呼吸 (high frequency ventilation)、非侵襲的人工呼吸 (noninvasive ventilation) において有用性が報告されている⁹⁾。