

小型ネーザル CPAP 素子実用化に向けた素子内動作特性評価

川橋 正昭（理工学研究科・教授）

1. はじめに

近年の流れ解析技術は、これまで十分な解析がなされてこなかった呼吸現象の詳細を明らかにしつつあり、その解析結果が、呼吸疾患を有する患者に適用される人工換気法における最適呼吸管理条件を定めることなどに貢献している。同時に、人工換気に使用される器具等による患者への負荷軽減などに対する努力もなされている。

本研究は、新生児、特に早期早産児に対する救命医療において重要な、呼吸管理に関連するものである。早期早産児に多く見られる呼吸機能不全に対応する呼吸管理には、いくつかの人工的換気法が臨床応用されている。特に、自呼吸が可能なケースでは、抹消気道の虚脱を防ぐために一定の気道内陽圧を保ちながら呼吸を維持するネーザル CPAP（気道陽圧維持）法が多用されており、良好な臨床効果が得られている。ネーザル CPAP を実施するには、鼻孔に直接取り付ける素子が必要となる。CPAP に必要な基本的条件を満たす素子がすでに臨床応用されているが、素子の長期間装着による流体力学的不快感や、鼻孔周囲の糜烂発生、鼻腔隔膜損傷などが問題となっている。

研究代表者らは、新たな流体力学的原理の基づく装着性の改善を目指した小型ネーザル CPAP 素子の原理実証モデルを開発し、素子としての基本作動特性を有することを明らかにしてきた。その後、基本モデルの実用化を目指して開発研究を進め、臨床応用で求められている要件をほぼ満たす実用化原型モデルが完成した¹⁾。しかし、実用化に向けて更なる改良が必要であることが明らかとなった。

本研究では、臨床応用における動作上の問題点を明らかにするとともに、ネーザル CPAP 素子のさらなる改良と、改良後の動作特性の解析および評価を行うことを目的としている。

2. 素子の改良および動作特性

本研究で用いられた素子の形状が、図 1 に示されている。素子の構造は、給気ノズル、くさび状スプリッタ、よどみ室、鼻孔接続プロング、排気流路、よどみ室と排気流路との分離板、排気流路部ガイドベーンからなる。なお、ノズル部を除く素子の奥行き方向厚さは 2mm、ノズル出口幅は 1mm で、ノズル-くさび間は 1.2mm～2.4mm、くさび-分離板間隔は 0～5mm の範囲で変化させた。従来の素子との主な相違点は、排気流路側に、ガイドベーンを設けた

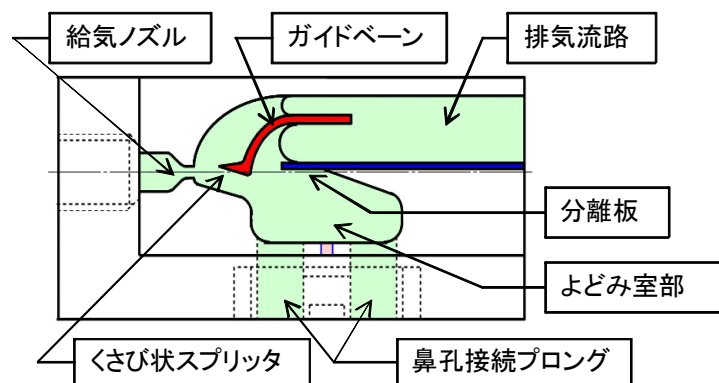


図 1 CPAP 素子

ことである。この素子の CPAP 基本動作は、改良前の素子と基本的には同様である。すなわち、鼻孔プロングに接続されているよどみ室部に発生させる CPAP 圧は、ノズルから流出する噴流のよどみ圧によりもたらされる。この CPAP 圧は、吸気時および呼気時になるべく変動せずに一定値を保ち、呼吸負荷を小さくすることが求められている。それを実現するため、ノズル噴流が、ノズルに対向して置かれているくさび状スプリッタにより、吸気時および呼気時に応じてよどみ室側および排気流路側に分流制御され、よどみ室部の圧力変動振幅を抑制する。しかし、従来の素子では、呼気時に、くさび部背後と分離板との隙間からの排気流が排気流路上部壁に衝突して圧力回復し、ノズル部に向かって逆圧力勾配が生じる。これにより、呼気時に生じる噴流の排気流路側への十分な分流が生じないため、呼気時によどみ室圧力が大きく上昇することが、実験的にも数値解析結果からも明らかにされた。このような動作特性を改善するため、呼気時の、くさび-分離板間を通過する流れに対するガイドベーンを設け、排気流路内での逆圧力勾配の発生を防ぐこと試みた。

図 1 に示す素子について、その動作特性を調べた。実験条件は、CPAP 圧 500Pa、呼吸回数 50 回/分、呼吸換気量 20ml である。これらの条件のもとで得られた、ノズルースプリッタ間距離 $X=2.0\text{mm}$ 、スプリッター分離板間距離 $L=2.8\text{mm}$ におけるよどみ室部圧力変動波形が、図 2 に示されている。なお、図には現在すでに臨床応用されている素子についての結果が、併せて示されている。図より、設定 CPAP 圧が 500Pa よりやや高めに設定されているが、変動圧力振幅 Δp は、およそ 50Pa に抑制されており、臨床応用で求められる条件を満たしていることが分かる。

4. あとがき

著者らが提案してきたネーザル CPAP 素子の実用化を目指して、改良を加えた素子について動作特性を調べた結果、吸気時および呼気時における、くさびによるノズル噴流の分流制御が効果的になされ、よどみ室内の圧力変動を抑制し、臨床応用時に求められている CPAP 圧変動の許容範囲を十分下回る結果を得ることができた。

参 考 文 献

- 1) 細井健司, 川橋正昭, 松本崇, 平原裕行:スプリッタ付きネーザル CPAP 素子の最適化, 日本機械学会 2007 年度年次大会, No.07-1, (2007) pp.191-192.

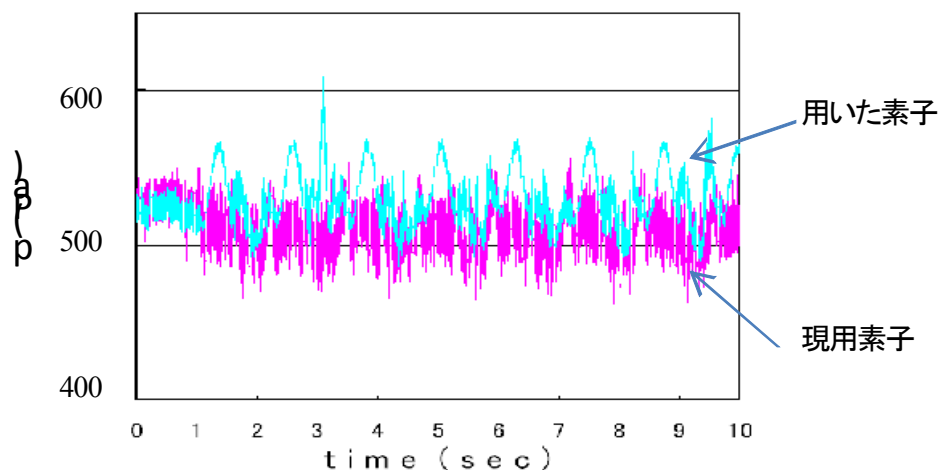


図 2 作動時における CPAP の変動圧力波形