

圧補助人工呼吸（P S V）のファジイ制御

北大工学部生体システム工学、*福島県立医大麻酔科

高橋英嗣、手島一憲、*管 桂一、*奥秋 晟

ファジイ制御法を用い圧補助人工呼吸（P S V）の自動制御を試みた。ファジイ制御では、被制御量（例えば PaO_2 ）を該当するカテゴリーに分類し、さらにそのカテゴリーへの適合度を数値的に表現する（例えば、かなり低すぎるが80%）。次に、それを人間が定性的に体得している知識や経験を基にif-then 形式で記述した規則に当てはめることで（例えば PaO_2 がかなり低すぎるならば、 FiO_2 を非常に大きく増加させよ）、熟練したオペレータ（医師）の意志決定過程を、コンピュータ上に再現することが可能である。

本研究では、 PaO_2 および PaCO_2 を入力とし、それぞれ FiO_2 と圧補助レベル（PSレベル）をファジイ制御することで、動脈血血液ガスレベルの適正化を図るとともに、 Paw （平均吸気時気道内圧）をゼロに近づけるようPSレベルをファジイ制御することで（高橋他、1991）患者呼吸仕事量の最適化をめざした。特に、血液ガスレベルの正常化が達成された後、呼吸仕事量の最適化がなされるよう、制御ルールには階層性をもたせた。ファジイ制御法にはMin-Max-重心法を用いた。

本ファジイP S V制御の妥当性を計算機シミュレーションで検討した。我々が開発した生体肺-P S V人工呼吸器の数学モデル（立石他、1989）に本制御システムを適用し、種々の肺疾患に対する最適P S Vをそれぞれ決定した。生体肺モデルは換気メカニクスおよびガス交換モデルからなり、呼吸化学調節モデルを付加することで、血液ガスレベルに応じ一回換気量ならびに呼吸数が変化するようにした。本モデルに気道抵抗増大、肺コンプライアンス低下、解剖学的死腔増大、換気血流比異常などを付加し疾患肺モデルとした。さらに同様の疾患肺モデルを麻酔科医に提示し、医師の判断により最適P S Vを決定し、その結果をコンピュータによる最適P S Vと比較した。

今回検討した3種の疾患肺モデルにおいて、医師の設定によるP S Vとファジイ制御法に基づきコンピュータが設定したP S Vの効果を表1に示す。医師によるP S V設定とコンピュータによるP S V設定は同等であり、ここで提案するファジイP S V制御が各種肺疾患に対し有効であることが示唆された。どちらの場合もP S Vにより血液ガスを正常域に維持できたが、ファジイ制御では医師による制御に比べより大きな換気補助が達成された結果、 PaCO_2 と患者の呼吸筋仕事量（W/V_T）をより低値に維持することができた。

ここで用いた患者情報（ PaO_2 、 PaCO_2 、 Paw ）の連続測定は、臨床的に必ずしも困難ではない（例えば PaCO_2 はカプノグラフによる $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ で、 PaO_2 は SaO_2 で代用）。従って本ファジイ制御システムをオンラインで動作させることによって、刻々と変化する患者の状態に応じた、よりきめの細かいP S V制御が可能となるかも知れない。

（表1）各種肺疾患モデルに対するP S Vの効果

		FiO_2	PS level	PaO_2	PaCO_2	Paw	W/V_T
				(cmH ₂ O)	(Torr)	(cmH ₂ O)	(Kg·m/l)
1	T-piece	0.8	-	81.9	47.1	0.0	0.096
	physician	1.0	10.0	95.7	42.9	3.3	0.061
	fuzzy	0.88	10.8	87.1	41.4	4.2	0.050
2	T-piece	0.3	-	84.9	53.8	0.0	0.130
	physician	0.3	10.0	86.2	46.1	3.2	0.102
	fuzzy	0.33	13.5	88.7	43.8	4.9	0.089
3	T-piece	0.3	-	85.0	49.5	0.0	0.118
	physician	0.4	10.0	93.6	44.5	3.1	0.093
	fuzzy	0.33	12.3	88.3	42.8	4.1	0.087