

CPAP 12 cmH₂O と 16 cmH₂O の呼吸循環動態への影響

中部大学 生命健康科学部 臨床工学科 和田 結佳

要旨

心不全や OSAS 等の治療として使用される CPAP は、酸素化能を改善するが、心拍出量減少、血圧低下等、呼吸循環動態へ影響があるとされている。患者へ負荷する CPAP の大きさによってそれらの影響がどのように変化するかを調査するため、健常者を対象に CPAP 12 cmH₂O と 16 cmH₂O の比較実験を行った。その結果、CPAP 16 cmH₂O で呼吸数のみが有意に減少したが、その他の呼吸循環動態の指標に有意差は認めなかった。

1. はじめに

呼吸療法とは、「人の生命に直接関係のある呼吸循環機能を適正に維持管理することを目的とし、心肺機能に障害のある人に対して、質的、量的な診断、治療、病状経過の追跡、さらには社会的な生活への適応訓練（リハビリテーション）を行い、生活機能の増進に重要な役割を果たすために進歩発展を遂げてきている医療の一分野」と定義されており¹⁾、呼吸循環系に障害のある患者を対象とした包括的な呼吸管理の事を指す。その中で、機器を用いて患者の呼吸を代行、サポートを行うものを人工呼吸療法と言う。

非侵襲的陽圧換気（non-invasive positive pressure ventilation：NPPV）は、気管挿管を行わずマスクを用いて換気を行う人工呼吸療法であり、持続陽圧呼吸療法（continuous positive airway pressure：CPAP）を用いた NPPV は、心不全や閉塞性睡眠時無呼吸症候群（obstructive sleep apnea syndrome：OSAS）、慢性閉塞性肺疾患（chronic obstructive pulmonary disease：COPD）などの一般的な治療法として普及している^{2,3,4)}。今回の研究では、こうした CPAP 治療の適応となる OSAS、心不全、COPD などの疾患背景を反映することはできないが、健常者における CPAP の設定圧の違いによる影響を検討することを目的として研究計画を立案した。

CPAP 治療の効果としては、肺胞拡張や機能的残気量の増加、酸素化改善と肺コンプライアンス改善による呼吸筋仕事量の低下等が挙げられる。その一方で、高い陽圧で胸腔内圧を上昇させる事で心拍出量の減少や血圧の低下といった影響を引き起こすと言われている。また、設定圧が適切でないと、患者に不快感やストレスを与えるなどのデメリットもある。

日本では、COPD に対する CPAP 治療では、吸気気道陽圧（inspiratory positive airway pressure：IPAP）の設定は、12 cmH₂O が中央値であるとされているが、海外では、20 cmH₂O 以上と非常に高い IPAP で治療が行われているケースもある⁵⁾。日本での IPAP の中央値は、12 cmH₂O であるが、COPD の治療で IPAP の

許容される最大圧が 17-18 cmH₂O となっている⁶⁾。また、人工呼吸器の取り扱い代理店が、愛知県と岐阜県で auto CPAP を用いた在宅治療を行う OSAS 患者 1,541 名に対して行ったヒアリング調査によると、CPAP の上限圧として設定される値は、15 cmH₂O が 31.5 % と一番多く、次いで 20 cmH₂O が 23.5 % となっている事が分かった。これらのことから、CPAP 利用の現状と、また過負荷とならないように配慮して、12 cmH₂O と 16 cmH₂O の気道内陽圧で比較実験を行うこととした。

2. 目的

健常者に対して、CPAP 12 cmH₂O と 16 cmH₂O の気道内陽圧を加えた際、非侵襲的手法を用いて呼吸循環動態への影響を比較する。

3. 方法

1) 使用機器

本研究では、人工呼吸器（フィリップスレスピロニクス株式会社、BiPAP シンクロニー）、ベッドサイドモニタ（日本光電工業株式会社、BSM6701）、非侵襲連続推定心拍出量（estimated continuous cardiac output：esCCO）測定専用パルスオキシメータプローブ（日本光電工業株式会社、TL-281T-IB）を使用した。

2) 対象

20-23 歳の男性健常者 23 名を測定対象とした。また、本研究は中部大学倫理委員会の倫理審査の承認を得て行った（承認番号：20210006 承認年月日：2021 年 4 月 30 日から 2024 年 3 月 31 日まで）。

3) 測定項目

心電図電極、esCCO 測定専用パルスオキシメータプローブ、非観血血圧カフを被験者に装着し、次の項目を連続的に測定した。

- ・呼吸数（respiratory rate：RR [1/min]）
- ・経皮的動脈血酸素飽和度（percutaneous oxygen saturation：SpO₂ [%]）

- ・心拍数 (heart rate : HR [1/min])
- ・脈動率 (pulse-amplitude index : PI [%])
- ・非侵襲連続推定心拍出量 (estimated continuous cardiac output : esCCO [L/min])
- ・非侵襲連続推定心係数 (estimated continuous cardiac index : esCCI [L/min/m²])
- ・非観血血圧 (non-invasive blood pressure : NIBP [mmHg])
- ・体血管抵抗係数 (systemic vascular resistance index : SVRI [Dyne·sec/cm⁵/m²])

補足) esCCO とは、心電図、血圧、SpO₂ から非侵襲的かつ連続的に心拍出量を算出できる計測システムである。従来は、血管内にカテーテルを挿入し侵襲的に測定する方法が一般的であったが、esCCO は、非侵襲で測定できるパラメータを用いて心拍出量を推定することができる^{7,8)}。

4) 測定手順

CPAP 負荷圧は、12 cmH₂O と 16 cmH₂O で同一被験者に対し、それぞれ別日に測定を行った。

測定の手順を次に示す。

- ①ベッドサイドモニタに被験者情報(生年月日・身長・体重・性別)を入力する。
- ②被験者に検査台で安静臥位の状態をとらせる。
- ③被験者に心電図電極(II誘導)と esCCO 測定専用パルスオキシメータプローブ、非観血血圧カフを装着する。
- ④NIBP を測定し、esCCO の校正を行う。
- ⑤安静臥位のまま 5 分間データを測定する(コントロール)。
- ⑥人工呼吸器のマスクを装着し 5 分間データを測定する。
- ⑦CPAP 負荷をかけ、5 分間データを測定する。
- ⑧マスクを外し、安静臥位の状態で 5 分間データを測定する。測定項目の回復を確認したのち実験を終了する。

今回の研究では、CPAP 使用時の短期的な影響を調査するために、負荷をかける時間は 5 分とした。

5) 検定方法

気道内陽圧 12 cmH₂O と 16 cmH₂O の各データの正規性を求めた後、両方の値で正規性が見られた場合は、平均値±標準偏差の値を用いて t 検定を行う。片方でも正規性がなければ、中央値[四分位範囲]の値を用いて Wilcoxon 符号付き順位検定を行う。p 値はどちらの検定も 0.05 未満で有意差ありとした。

表 1 : 結果

	測定項目	12 cmH ₂ O	16 cmH ₂ O	p 値
呼吸動態	RR [1/min]	12.4[10.7-15.2]	10.1 [9.0-11.2]	0.008
	SpO ₂ [%]	99.1±0.8	98.9±0.7	0.468
循環動態	HR [1/min]	65.2[59.0-71.2]	66.9 [64.1-72.3]	0.315
	PI [%]	1.87[0.82-2.79]	1.63 [1.02-2.51]	0.595
	esCCO [L/min]	5.98[5.56-6.44]	6.13 [5.73-6.38]	0.128
	esCCI [L/min/m ²]	3.45[3.31-3.71]	3.48 [3.36-3.67]	0.280
	NIBP(拡張期) [mmHg]	73.7±5.8	74.3±6.1	0.675
	NIBP(収縮期) [mmHg]	119.2±7.9	120.9±8.2	0.281
	NIBP(平均) [mmHg]	88.5±5.9	89.4±6.2	0.469
	SVRI [Dyne·sec/cm ⁵ /m ²]	1856.5±184.3	1860.2±187.0	0.916

4. 結果

1) RR

平均値±標準偏差・中央値[四分位範囲]・最大値・最小値は、CPAP 12 cmH₂O の時 13.0±3.6 /min・12.4[10.7-15.2] /min・20.1 /min・6.2 /min、CPAP 16 cmH₂O の時 10.6±3.6 /min・10.1[9.0-11.2] /min・21.4 /min・4.6 /min であった。一方の RR に正規性が認められなかったため、比較は Wilcoxon 符号付き順位検定を用い、CPAP 12 cmH₂O に比べ CPAP 16 cmH₂O で有意に RR が減少していた (p=0.008) (表 1)。

2) SpO₂

平均値±標準偏差・中央値[四分位範囲]・最大値・最小値は、CPAP 12 cmH₂O の時 99.1±0.8%・99.1[98.7-99.7]%・100%・97.1%、CPAP 16 cmH₂O の時 98.9±0.7%・99.0[98.7-99.4]%・100%・96.9% であった。双方の圧条件で SpO₂ に正規性が認められたため、比較は t 検定を用い、両群間で有意差を認めなかった (表 1)。

3) HR

平均値±標準偏差・中央値[四分位範囲]・最大値・最小値は、CPAP 12 cmH₂O の時 66.3±10.4 /min・65.2[59.0-71.2]/min・85.7/min・44.3/min であり、CPAP 16 cmH₂O の時 69.5±9.0 /min・66.9[64.1-72.3] /min・95.7/min・58.8/min であった。一方の HR に正規性が認められなかったため、比較は Wilcoxon 符号付き順位検定を用い、両群間で有意差を認めなかった (表 1)。

4) PI

平均値±標準偏差・中央値[四分位範囲]・最大値・最小値は、CPAP 12 cmH₂O の時 2.08±1.24 %・

1.87[0.82-2.79] %・4.27 %・0.49 %であり、CPAP 16 cmH₂O の時 2.09 ± 1.35 %・1.63[1.02-2.51] %・5.82 %・0.59 %であった。双方の圧条件で PI に正規性が認められなかったため比較は Wilcoxon 符号付き順位検定を用い、両群間で有意差を認めなかった(表 1)。

5) esCCO

平均値±標準偏差・中央値[四分位範囲]・最大値・最小値は、CPAP 12 cmH₂O の時 5.99 ± 0.73 L/min・5.98[5.56-6.44] L/min・7.36 L/min・4.56 L/min であり、CPAP 16 cmH₂O の時 6.23 L/min・6.13[5.73-6.38] L/min・9.21 L/min・5.19 L/min であった。一方の esCCO に正規性が認められなかったため、比較は Wilcoxon 符号付き順位検定を用い、両群間で有意差を認めなかった(表 1)。

6) esCCI

平均値±標準偏差・中央値[四分位範囲]・最大値・最小値は、CPAP 12 cmH₂O の時 3.47 ± 0.32 L/min/m²・3.45[3.31-3.71] L/min/m²・4.02 L/min/m²・2.80 L/min/m²、CPAP 16 cmH₂O の時 3.56 L/min/m²・3.48[3.36-3.67] L/min/m²・4.85 L/min/m²・3.09 L/min/m²であった。一方の esCCI に正規性が認められなかったため、比較は Wilcoxon 符号付き順位検定を用い、両群間で有意差を認めなかった(表 1)。

7) NIBP (収縮期)

平均値±標準偏差・中央値[四分位範囲]・最大値・最小値は、CPAP 12 cmH₂O の時 119.2 ± 7.9 mmHg・118.2[114.1-124.7] mmHg・137.0 mmHg・107.8 mmHg、CPAP 16 cmH₂O の時 120.9 ± 8.2 mmHg・12.5[115.8-126.0] mmHg・138.4 mmHg・102.6 mmHg であった。双方の圧条件で NIBP (収縮期) に正規性が認められたため、比較は t 検定を用い、両群間に有意差を認めなかった(表 1)。

8) NIBP (拡張期)

平均値±標準偏差・中央値[四分位範囲]・最大値・最小値は、CPAP 12 cmH₂O の時 73.7 ± 5.8 mmHg・74.2[70.4-76.8] mmHg・82.4 mmHg・59.2 mmHg、CPAP 16 cmH₂O の時 74.3 ± 6.1 mmHg・76.2[69.4-78.5] mmHg・83.2 mmHg・64.0 mmHg であった。双方の圧条件で NIBP (拡張期) に正規性が認められたため、比較は t 検定を用い、両群間に有意差を認めなかった(表 1)。

9) NIBP (平均)

平均値±標準偏差・中央値[四分位範囲]・最大値・最小値は、CPAP 12 cmH₂O の時 88.5 ± 5.9 mmHg・88.8[85.9-91.3] mmHg・100.4 mmHg・75.4 mmHg、CPAP

16 cmH₂O の時 89.4 ± 6.2 mmHg・89.6[85.0-93.4] mmHg・98.8 mmHg・77.8 mmHg であった。双方で NIBP (平均) に正規性が認められたため、比較は t 検定を用い、両群間に有意差を認めなかった(表 1)。

10) SVRI

平均値±標準偏差・中央値[四分位範囲]・最大値・最小値は、CPAP 12 cmH₂O の時 1856.5 ± 184.3 Dyn・sec/cm⁵/m²・1853.5[1671.6-2001.5] Dyn・sec/cm⁵/m²・2172.4 Dyn・sec/cm⁵/m²・1573.9 Dyn・sec/cm⁵/m²、CPAP 16 cmH₂O の時 1860.2 ± 187.0 Dyn・sec/cm⁵/m²・1852.5[1735.1-1988.2] Dyn・sec/cm⁵/m²・2230.4 Dyn・sec/cm⁵/m²・1453.2 Dyn・sec/cm⁵/m² であった。双方の圧条件で SVRI に正規性が認められたため、比較は t 検定を用い、両群間に有意差を認めなかった(表 1)。

5. 考察

健常者に対し CPAP 12 cmH₂O と 16 cmH₂O の気道内陽圧を負荷した結果、呼吸動態のうち RR にのみ有意差が見られ、SpO₂ とその他循環動態には、両群間に有意差は見られなかった。

RR については、CPAP 療法は、吸気や呼気に関わらず常に一定の気道内陽圧を加える方法であるため、吸気時は吸い込みやすいが、呼気時には CPAP 負荷が呼気抵抗となることで 16 cmH₂O でより長い呼気時間を要し、1 呼吸サイクルの時間が延長することで RR が減少したと考えられる。

また、今回、呼気終末二酸化炭素分圧(end tidal CO₂: etCO₂) は、全例で計測していなかったため比較研究の対象から除外したが、計測し得た CPAP 12 cmH₂O の 6 例と CPAP 16 cmH₂O の 23 例の比較では、コントロール時と負荷時の中央値[四分位範囲]は、CPAP 12 cmH₂O で 41.2[40.4-42.0] mmHg、34.8[33.8-37.2] mmHg、CPAP 16 cmH₂O で 43.5[41.7-45.6] mmHg、34.5[31.1-38.7] mmHg であった。etCO₂ の正常値が、35-45 mmHg でありどちらの負荷でも CPAP による同程度の etCO₂ の低下が見られることから、CPAP を加えたことにより過換気を生じていたと考えられる。

CPAP 12 cmH₂O と 16 cmH₂O の比較において、HR、PI、esCCO、esCCI のいずれにも有意な差が認められなかったが、健常者において、胸腔内圧上昇による静脈還流量の減少やバルサルバ洞刺激による副交感神経亢進など生理的な反応に基づく循環動態への適応が関与している可能性がある。しかし、心拍出量の低下原因としては静脈還流量の過度な減少、過膨張した肺による外部からの心室コンプライアンスの低下などが挙げられている⁹⁾。また、健常心において陽圧換気による心拍出量の減少は、循環血液量の減少し

た患者で特に顕著となると言われている¹⁰⁾。これらのことから、今回の研究で使用した CPAP 12 cmH₂O と 16 cmH₂O において、その気道内陽圧の差である 4 cmH₂O では、肺の過膨張が、静脈灌流量の低下や心室コンプライアンスの有意な減少をもたらさず、心拍出量の低下が認められなかった可能性が考えられる。そのため、比較する気道内陽圧の差をさらに大きくした際に心拍出量がどのように変化するのか、検討する必要があると考える。

また、今回は治療目的で平均的に使用されている CPAP の 12 cmH₂O と高圧の 16 cmH₂O の比較を目的としたが、大気圧をコントロールとした CPAP の影響についても今後、検討していきたい。

本研究では、健常者を対象としているため、CPAP 12 cmH₂O に比較し CPAP 16 cmH₂O で循環動態の悪化は認められなかったが、CPAP 治療が必要な患者に対しても呼吸循環動態への影響がないとは言い切れない。CPAP を使用して心拍出量の低下が見られたという報告^{11), 12)} や、高い気道内陽圧によって吸気筋活動が消失するという報告¹³⁾ があることから、実際に患者へ使用する際には、気道内陽圧と、血圧、心拍出量、尿量などの生体情報を観察しながら、最も CPAP が有益に働く設定を検討していく必要があると考える。

6. 結論

健常者に対して、CPAP で 12 cmH₂O と 16 cmH₂O の気道内陽圧を加えた際、16 cmH₂O で呼吸数は有意に減少したが、呼吸循環動態に変調をきたすような影響は観察されなかった。

キーワード：CPAP, NPPV, 呼吸循環動態, esCCO, 心拍出量, 血圧

参考文献

- 1) 岩井誠三. 呼吸療法とは. 呼吸療法テキスト. 克誠堂出版. p 1-5. 1992
- 2) 日本循環器学会/日本心不全学会合同ガイドライン. 急性・慢性心不全診療ガイドライン (2017年改訂版)
- 3) 日本呼吸器学会. 睡眠時無呼吸症候群 (SAS) の診療ガイドライン 2020
- 4) 日本呼吸器学会. COPD (慢性閉塞性肺疾患) 診断と治療のためのガイドライン 2022 [第 6 版]
- 5) Kohnlein T, Windisch W, Kohler D, et al.: Non-invasive positive pressure ventilation for the treatment of severe stable chronic obstructive pulmonary disease: a prospective, multicentre, randomised, controlled clinical trial. *Lancet Respir Med* 2 :698-705, 2014
- 6) 立川 良, 室 繁郎, 谷澤 公伸ほか: 慢性期 COPD 対

する非侵襲的陽圧換気 (NPPV) 療法の実態調査. 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌. 第 25 巻第 3 号: 389-394, 2015

- 7) Sugo Y, Ukawa T, Takeda S, Ishihara H, Kazama T, Takeda J. A novel continuous cardiac output monitor based on pulse wave transit time. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2010;2010:2853-2856.
- 8) Ishihara H, Okawa H, Tanabe K, et al. A new non-invasive continuous cardiac output trend solely utilizing routine cardiovascular monitors. *J Clin Monit Comput.* 2004;18(5-6):313-320.
- 9) 弓野 大. 重症心不全における陽圧呼吸療法の急性効果. 第 4 回心不全陽圧治療研究会心臓 Vol.42No11(2010)1515-1518.
- 10) Marini JJ, Culver BH, Butler J. Mechanical effect of lung distention with positive pressure on cardiac function. *Am Rev Respir Dis.* 1981;124(4):382-386.
- 11) Cassidy SS, Robertson CH Jr, Pierce AK, Johnson RL Jr. Cardiovascular effects of positive end-expiratory pressure in dogs. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1978;44(5):743-750.
- 12) Sturgeon CL Jr, Douglas ME, Downs JB, Dannemiller FJ. PEEP and CPAP: cardiopulmonary effects during spontaneous ventilation. *Anesth Analg.* 1977;56(5):633-641.
- 13) Lukácsovits J, Carlucci A, Hill N, et al. Physiological changes during low- and high-intensity noninvasive ventilation. *Eur Respir J.* 2012;39(4):869-875.

指導教員

中部大学 生命健康科学部 臨床工学科
中井 浩司, 平手 裕市