

成人の人工呼吸患者に対する開放式気管吸引と閉鎖式気管吸引の有用性の比較

—ナラティブレビュー

佐藤隆平^{1)†}・河合佑亮²⁾・中根正樹³⁾

KEY WORDS ● 開放式気管吸引, 閉鎖式気管吸引

要旨

気管吸引は開放式と閉鎖式に分けられる。これらの吸引法を比較した検討では、人工呼吸器関連肺炎 (ventilator-associated pneumonia : VAP) がその高い発生率のため主要な評価項目として用いられることが多く、2024年にシステマティックレビュー (systematic review : SR) ・メタアナリシス (meta-analysis : MA) が出版された。また、苦痛を評価項目に含む報告も増えている。他にも酸素化、循環、コストなども重要だが、多面的に評価した総説は見当たらない。そこで、多面的な評価指標について吸引法を比較するために、3つの検索データベースを使用しナラティブレビューを行った。その結果、閉鎖式はVAPの発生率の低下と関連する可能性と呼吸状態の悪化を抑制することが示唆された。しかし、気管吸引に伴う苦痛はどちらで少ないかは判断できず、コスト面では吸引回数が多くなく閉鎖式のデバイスを定期交換した場合に閉鎖式で高くなると考えられた。したがって、患者ごとにそのときの状態を評価したうえで吸引法を選択することが望ましい。

I はじめに

人工呼吸患者において、気管吸引は障害物を取り除き、ガスの出入りを容易にする気道クリアランス法の1つであり¹⁾、1日に7~17回程度実施されていることが報告されている^{2~5)}。気管吸引は人工呼吸患者に対して、頻呼吸、呼吸パターンの変動、頻脈や徐脈、血圧の変動などさまざまな生理学的影響を与える¹⁾。また、Pain, Agitation/sedation, Delirium, Immobility (rehabilitation/mobilization), and Sleep (disruption) ガイドラインで、吸引は最も苦痛の増加と関連する医療行為の1つとして指摘されている⁶⁾。よって、医療従事者は、気管吸引に伴う生理学的な影響や苦痛について理解を深める必要がある。

気管吸引には、開放式吸引 (open endotracheal suctioning : OES) と閉鎖式吸引 (closed endotracheal suc-

tioning : CES) の2つの吸引法がある。OESは、人工呼吸回路の接続部のコネクターを人工気道から取り外し、気道を開放した状態で行う吸引法である。一方、CESは、シースと呼ばれる内面が滅菌されているビニールカバーで包まれた吸引カテーテルがシース内で可動できるようになっているデバイスを使用し、気道を大気に開放せずに行う吸引法である⁷⁾。OESと比較してCESはいくつかの利点があると考えられている。第1に、OESにおける開放操作により下気道への病原微生物の侵入が増加すること、操作時の手袋や人工呼吸器回路の汚染の可能性が高まることがCESでは防止され、人工呼吸器関連肺炎 (ventilator-associated pneumonia : VAP) の発生率の低下と関連すると考えられている⁵⁾。第2に、OESで生じると考えられている人工呼吸器から切り離す際の気管チューブの移動に伴う気管粘膜への刺激をCESでは回避できる可能性があるため⁸⁾、苦痛の程度が低いと考えられている。気管挿管患者を対象にした調査において、気管チューブの不快感はチューブの移動によって増すことが報告されている⁹⁾。第3に、CESでは人工呼吸器回路を開放しないため、気道の陽圧を失わず機能的残気量を維持しやすい

1) 神戸市看護大学 療養生活看護学領域急性期看護学分野

2) 藤田医科大学病院 看護部

3) 札幌東徳洲会病院 集中治療センター

(執筆時：山形大学医学部附属病院 救急部 高度集中治療センター)

† 責任著者

[受付日：2025年4月25日 採択日：2025年11月21日]

成人の人工呼吸患者に対する開放式気管吸引と閉鎖式気管吸引の有用性の比較
—ナラティブレビュー—

という利点があり¹⁰⁾、酸素化の維持や低酸素血症に伴う不整脈の発生などが避けられる可能性があるため、OESに比べCESで呼吸や循環に対する悪影響が少ないと考えられている。

これまで、OESとCESとの比較については、高い発生率や死亡率から問題となるVAP¹¹⁾を中心に調査されている。現時点では2024年のシステマティックレビュー(systematic review: SR)・メタアナリシス(meta-analysis: MA)が最新である¹²⁾。また、近年では吸引時の苦痛を評価項目に含む報告が増えている^{8,13~15)}。他にも酸素化や循環などの吸引による生理学的影響やコストも重要だが、これらの報告を網羅し、多面的に評価し考察した総説は見当たらない。したがって、我々は新たな観点(苦痛)を含めた多面的な評価指標について2つの吸引法を比較するナラティブレビューを行った。

II 方法

検索データベースはMEDLINE、CENTRAL、医学中央雑誌とした。検索期間は制限せず、最終検索は2025年1月であった。組み入れ基準はa) 英語と日本語の論文(抄録が英語である場合は含めた)、b) 人工気道を使用した18歳以上の患者を対象としOESとCESを比較した論文、c) SR・MA、ランダム化比較試験(randomized controlled trial: RCT)、クロスオーバー試験、d) アウトカムにVAP・苦痛・呼吸あるいは循環指標・コストのいずれかを含むとし、除外基準は設けなかった。MEDLINE、CENTRALにおける検索用語は、OES/CESでは“open/closed suction system”“open/closed suctioning system”“open/closed tracheal suction system”“open/closed endotracheal suction”“open/closed system”“open/closed suction method”“open/closed suctioning”“open/closed tracheal suctioning”“open/closed endotracheal suctioning”とした。人工呼吸については“ventilator”を使用した(医学中央雑誌における検索用語は類似する日本語を使用した)。本論文は、ナラティブレビュー論文の評価尺度SARNA¹⁶⁾およびナラティブレビューの執筆方法¹⁷⁾に従って作成した。

III 結果および考察

1. VAP

これまでRCTが多くなされ(表1)^{2~5,18~31)}、SR・MAが5件出版されていた^{10,12,32~34)}。Liangらによる最新のSR・MAでは、各データベースの開始時から2023年12月

までに出版された12試験を対象とした結果、OESと比較してCESはVAPの発生率の低下と関連することが報告された(OR: 0.77; 95% CI: 0.61, 0.98)¹²⁾。しかし、我々はLiangらのSR・MAに含まれた2件の試験についてVAP症例数の抽出に誤りがあることを発見した³⁵⁾。1つ目の試験はArdehaliらによるもので、原文ではCES群で10例、OES群で12例のVAPが発生し吸引法間に有意な差はないとされていたが(OR: 0.80; 95% CI: 0.32, 2.02)³¹⁾、OES群で22例発生したと記載されていた(OR: 0.35; 95% CI: 0.15, 0.81)¹²⁾。2つ目の試験はAdamsらによるもので、原文ではいずれの群でもVAPの発生は認められなかったと報告されていたが²⁾、CES群で6例、OES群で7例のVAPが認められたと記述されていた¹²⁾。また、含んだ試験のデータ抽出の誤りは、2022年のSanaieらのSR・MA³⁴⁾にも認められた³⁶⁾。

以上から、VAPを主要評価項目とした5件のSR・MAを整理すると以下のとおりとなる。2007年のSolàら¹⁰⁾と2008年のSiemposら³²⁾のSR・MAでは、OESとCESとの間に有意な差はないと報告されていた。一方、2015年のKuriyamaら³³⁾、2022年のSanaieら³⁴⁾、2024年のLiangら¹²⁾のSR・MAでは、OESと比較してCESはVAPの発生率の低下と関連すると報告されていた。我々の指摘によって、Sanaieら³⁴⁾、Liangら¹²⁾のSR・MAは今後修正され、VAPの抑制についてCES優勢という結果が変わる可能性があるが、再解析の結果はまだ出ていない。そのため、2015年のKuriyamaら³³⁾のSR・MAをふまえると、現時点ではOESと比べCESがVAPの抑制に関連する可能性があるが、今後2件のSA・MAの修正後の結果を注視すべきである。

2. 苦痛

我々の検索した範囲では、気管吸引に伴う苦痛を検証したSR・MAはなく、RCTが4件あった(表2)。MohammadpourらとDastdadehらの試験では吸引法間で差がないとされたが^{13,14)}、EbrahimianらとKhayerらの試験ではOES群に比べCES群で吸引に伴う苦痛の程度が低いと報告された^{8,15)}。各試験の結果が一致しない原因としては、対象患者や評価法の差異、組み入れ基準にRichmond agitation sedation scale (RASS)に関する記載の有無、鎮痛薬の投与状況の違いが考えられ、統合した解釈を困難にしている。対象患者は冠動脈バイパス術後患者¹³⁾・ICUの患者¹⁴⁾・外傷性脳損傷患者⁸⁾・気管切開術後患者¹⁵⁾というように、各試験で異なる対象であった。評価方法にはCritical-care pain observation tool^{8,13,15)}とBehavior-

成人の人工呼吸患者に対する開放式気管吸引と閉鎖式気管吸引の有用性の比較
—ナラティブレビュー—

表1 VAPについての試験概要

文献番号	筆者	出版年	デザイン	対象	OES群		CES群		CESデバイスの交換	VAP診断法	主要な結果
					VAP発生数	総数	VAP発生数	総数			
18	Conrad et al. [‡]	1989	RCT	人工呼吸患者	6	15	6	16	24時間	臨床的診断	VAP発生率に差はなかった (OES : 40.0% vs. CES : 37.5%)。
19	Deppe et al.* [‡]	1990	RCT	内科系・外科系ICUの患者	11	38	12	46	24時間	臨床的診断	VAP発生率に差はなかった (OES : 28.9% vs. CES : 26.1%)。
20	Johnson et al.* [‡]	1994	RCT	外傷・外科系ICUの患者	10	19	8	16	24時間	臨床的診断	VAP発生率に差はなかった (OES : 62.5% vs. CES : 50.0%)。
2	Adams et al.* [‡]	1997	RCT	慢性肝不全で肝移植を受けた患者	0	10	0	10	24時間	臨床的診断	両群にVAPは発生しなかった。
21	Welte et al. [‡]	1997	RCT	人工呼吸患者	16	25	9	27	記載なし	臨床的診断	VAP発生率はOES群で64.0%、CES群で33.3%であった (統計学的な有意差についての記述はなかった)。
22	Combes et al.* ^{†‡}	2000	RCT	脳神経外科ICUに入室した患者	9	50	4	54	24時間	臨床的診断	1,000患者日あたりのVAP発生率に差はなかった (OES : 15.9 vs. CES : 7.3)。
23	Zeitoun et al.* ^{†‡}	2003	RCT	内科系・外科系ICUの患者	11	24	7	23	24時間	臨床的診断	VAP発生率に差はなかった (OES : 45.8% vs. CES : 30.4%)。
24	Lee et al. [‡]	2004	RCT	ICUの患者	14	38	2	32	72時間	臨床的診断	OES群に比べCES群におけるVAP発生率は低かった (OES : 35.9% vs. CES : 6.5%)。
25	Topeli et al.* ^{†‡}	2004	RCT	内科系ICUの患者	9	37	13	41	分泌物による著しい汚染、破損時	臨床的診断	VAP発生率に差はなかった (OES : 24.3% vs. CES : 31.7%)。
5	Rabitsch et al.* ^{†‡}	2004	RCT	内科系ICUの患者	5	12	0	12	24時間	臨床的診断	OES群に比べCES群におけるVAP発生率は低かった (OES : 41.7% vs. CES : 0%)。
3	Lorente et al.* ^{†‡}	2005	RCT	内科系・外科系ICUの患者	42	233	43	210	24時間	臨床的診断	VAP発生率に差はなかった (OES : 18.0% vs. CES : 20.5%)。
4	Lorente et al.* ^{†‡}	2006	RCT	内科系・外科系ICUの患者	31	221	33	236	機械的故障、汚れ、再挿管時	臨床的診断	VAP発生率に差はなかった (OES : 14.1% vs. CES : 13.9%)。
26	Li et al. [‡]	2007	RCT	人工呼吸患者	21	40	9	40	24時間	CPIS	OES群に比べCES群におけるVAP発生率は低かった (OES : 52.5% vs. CES : 22.5%)。
27	Fakhar et al. [‡]	2010	RCT	ICUの患者	36	74	23	82	24時間	CPIS	OES群に比べCES群におけるVAP発生率は低かった (OES : 48.6% vs. CES : 28.0%)。
28	David et al.* ^{†‡}	2011	RCT	内科系ICUの患者	29 (臨床的診断) / 18 (CPIS)	100	18 (臨床的診断) / 10 (CPIS)	100	168時間	臨床的診断判断およびCPIS	臨床的診断 (OES : 29% vs. CES : 18%) およびCPIS (OES : 18% vs. CES : 10%) でVAP発生率に差はなかった。
29	Hamishekar et al.* [†]	2014	RCT	外科系ICUの患者	10	50	6	50	48時間	CPIS	VAP発生率に差はなかった (OES : 20% vs. CES : 12%)。
30	Alipour et al. [†]	2016	RCT	ICUの患者	17	43	7	43	記載なし	CPIS	OES群に比べCES群におけるVAP発生率は低かった (OES : 39.5% vs. CES : 16.3%)。
31	Ardehali et al.* [†]	2020	RCT	ICUの患者	12	60	10	60	48時間	CPIS	VAP発生率に差はなかった (OES : 20.0% vs. CES : 16.7%)。

CES : closed endotracheal suctioning; CPIS : clinical pulmonary infection score; ICU : intensive care unit; OES : open endotracheal suctioning; RCT : randomized controlled trial; VAP : ventilator-associated pneumonia

*システマティックレビュー (systematic review : SR)・メタアナリシス (meta-analysis : MA) のLiangら (2024) の報告に含まれた試験;

†SR・MAのSanaieら (2022) の報告に含まれた試験;

‡SR・MAのKuriyamaら (2015) の報告に含まれた試験

成人の人工呼吸患者に対する開放式気管吸引と閉鎖式気管吸引の有用性の比較
—ナラティブレビュー—

表2 苦痛についての試験概要

文献番号	筆者	出版年	デザイン	対象	OES群	CES群	RASSに関する組み入れ基準と鎮痛薬の投与状況	吸引方法	主要な結果
13	Mohammadpour et al.	2015	RCT	冠動脈バイパス術後の患者	75	55	RASSスコア-1または0の患者である。除外基準に試験開始前の鎮静薬あるいは精神安定薬などの投与に関する記載はなかった。鎮痛薬は吸引後に投与されていた。	吸引の前後1分間は100%酸素の吸入を行い、吸引圧150~200mmHgで15秒間吸引していた。	吸引中のCPOTスコア (OES : 3.21 vs. CES : 2.94) は、群間で差はなかった。
14	Dastdadeh et al.	2016	RCT	ICUの患者	30	30	OESにはRASS+1から-4の患者が含まれ、CESにはRASS+1から-3の患者が含まれていた。過去6時間に高用量の鎮静薬または精神安定薬を投与していない患者を対象とした。鎮痛薬については、一般的な治療プロトコルを超える精神安定薬および鎮痛薬の使用患者を除外したという記載のみであった。	吸引前後に1分間100%酸素の吸入を行い、最大吸引圧120mmHgで10~15秒間吸引していた。	吸引中、直後、5分後、15分後におけるBPSについて群間に差はなかった。
8	Ebrahimian et al.	2020	RCT	ICUの外傷性脳損傷患者	56	56	RASSの記載はなかった。過去6時間に鎮痛薬の使用をしていない患者に実施した。吸引手技にかかわる鎮痛薬投与の記載はなかった。	吸引前後に2分間100%酸素を供給し、最大吸引圧120mmHgで14秒間吸引していた。	CPOTスコアについては、吸引開始後すべての時点で両群間に有意差が認められた： 1min, 0.82±1.49 (OES) vs. 0.30±0.76 (CES); 3min, 4.64±2.38 (OES) vs. 2.39±1.63 (CES); and 7min, 1.27±1.76 (OES) vs. 0.39±0.86 (CES)。
15	Khayer et al.	2020	RCT	ICUの気管切開術後の患者	35	35	RASSスコア-1または0の患者であった。過去6時間に高用量の鎮静薬または精神安定薬を投与していない患者を対象とした。鎮痛薬については、治療プロトコルを超える精神安定薬および鎮痛薬の使用患者を除外したという記載のみであった。	吸引前後に100%酸素を供給し(酸素供給時間は記載なし)、最大吸引圧120mmHgで吸引していた(吸引時間は記載なし)。	CPOTスコアは、吸引中 (OES : 5.50±1.88 vs. CES : 4.38±1.60) および吸引後10分 (OES : 3.20±1.38 vs. CES : 2.18±1.40) において、CES群がOES群よりも有意に低かった。吸引後30分では、両群間に有意差はなかった。

BPS : behavioral pain scale; CES : closed endotracheal suctioning; CPOT : critical-care pain observation tool; ICU : intensive care unit; OES : open endotracheal suctioning; RASS : richmond agitation-sedation scale; RCT : randomized controlled trial

al pain scale¹⁴⁾ が使用されていた。組み入れ基準については、RASSの評価で0あるいは-1の患者とする試験^{13,15)}、組み入れ基準に含まない試験¹⁴⁾、記載のない試験⁸⁾ が混在していた。鎮痛薬の投与状況については、プロトコルを超える使用の患者を除外する試験^{14,15)}、過去6時間投与していない患者を対象にする試験⁸⁾、記載がない試験¹³⁾ があった。

以上のように、現在まである4件のRCTの結果が一致していないため、現時点ではOESとCESのどちらで苦痛が少ないかは、判断できない。

3. 呼吸と循環

我々の検索では呼吸と循環に関する評価項目について検証したMAは見当たらず、2007年のSolàらのSR¹⁰⁾ と2008年のPagottoらのSR³⁷⁾ が出版されていた。これら2件のSRに含まれた試験の結果を合わせて整理すると、以下のようなになる。呼吸数において吸引法の違いで差はないか^{38,39)}、OESに比べ、CESで吸引中および吸引後のSpO₂

が高く^{5,20,24,38~40)}、吸引中の機能的残気量の減少量が小さい^{39~41)}。吸引中および吸引後の不整脈についてはOESに比べCESで不整脈の発生率が低い^{20,38)}。PaO₂・PaCO₂^{39,42,43)}、平均動脈圧・心拍数 (HR)^{20,38,39,41,43)} については試験結果は一致していない (表3)。

2008年のSR出版後、吸引による肺の虚脱評価として機能的残気量に関する研究が行われてきた^{44,45)}。Heinzeらは、3種類の吸引方法 (a. 従圧式換気中のCES; b. 従量式換気中のCES; c. OES) のいずれも吸引後20分の機能的残気量は低下したものの、有意な相対的な低下はbの吸引法のみであったと報告した (a. 95.8±9%, p=0.053; b. 94.7±9.8%, p=0.026; c. 92.4±21.2%, p=0.127)⁴⁴⁾。この結果を解釈時に注意すべき点は、機能的残気量の測定は吸引の20分後であったという点であり、吸引中や直後の変化ではない。Corleyらは、機能的残気量の評価に呼気終末肺インピーダンスを利用し、OESに比べCESで吸引中の呼気終末肺インピーダンスの低下は

成人の人工呼吸患者に対する開放式気管吸引と閉鎖式気管吸引の有用性の比較
—ナラティブレビュー—

表3 呼吸と循環についての試験概要

文献番号	筆者	出版年	デザイン	対象	OES群	CES群	患者の状態	吸引方法	主要な結果
20	Johnson et al.	1994	RCT	外傷・外科系ICUの患者	19	16	両群ともAPACHEスコア12、ベースラインのP/F比に群間の差はなし (OES: 271 vs. CES: 334)	吸引前後にリクルートメント操作を適用した (100%酸素3~5回)。吸引はOESで59~74mmHg、CESで74~88mmHg、15秒未満で実施した。	吸引後の100%酸素投与直後、吸引直後、30秒後の測定において、動脈血酸素飽和度と静脈血酸素飽和度はすべての測定のタイミングでOES群に比べCES群が高い値であった。MAPはすべての測定のタイミングでOES群に比べCES群が低い値であった。HRは吸引30秒後OES群に比べCES群が低い値であった (OES: 112±1.8/min vs. CES: 100±1.4/min)。吸引中および吸引後の不整脈はOES群に比べCES群で低かった (OES: 14% vs. CES: 2%)。
39	Cereda et al.	2001	Crossover	ICUのALIの患者 (10名)	N.A.	N.A.	ベースラインのP/F比192±70 (血行動態が不安定な患者は除外された)	吸引の前後のリクルートメント操作と100%酸素の吸入は行わなかった。吸引は吸引圧100mmHgで20秒間実施した。	OESに比べCESが吸引中の機能的残気量とSpO ₂ の低下が小さく (機能的残気量, OES: -1231.5±858.3mL vs. CES: -133.2±129.9mL; SpO ₂ , OES: 94.6±5.1% vs. CES: 97.2±2.9%), MAPは吸引後に低かった (OES: 83.2±14.7mmHg vs. CES: 81.2±11.9mmHg)。
38	Lee et al.	2001	Crossover	外科系ICUの患者 (14名)	N.A.	N.A.	ベースラインのSpO ₂ (OES: 95.50±4.70% vs. CES: 96.36±3.27%), 呼吸数 (OES: 20.21±6.44/min vs. CES: 21.43±7.61/min), HR (OES: 100.29±22.05/min vs. CES: 100.00±19.60/min), MAP (OES: 89.43±19.54mmHg vs. CES: 87.57±18.03mmHg) で群間に差はなし	100%酸素を初回吸引前60秒2回目吸引前30秒、各吸引後30秒供給した。吸引は吸引圧120mmHgで10秒間実施した。	OESに比べCESがSpO ₂ の初回吸引直後と2回目吸引中の値が高く (初回吸引直後, OES: 95.36±5.90% vs. CES: 98.07±2.87%; 2回目吸引中, OES: 95.79±5.67% vs. CES: 97.00±3.64%), HRの初回と2回目吸引中の値が低く (初回吸引中, OES: 102.29±20.53/min vs. CES: 96.43±20.40/min; 2回目吸引中, OES: 106.64±30.86/min vs. CES: 97.43±19.79/min), MAPの初回吸引直後の値が低かった (OES: 93.14±21.03mmHg vs. CES: 84.64±19.68mmHg)。吸引中の不整脈はOES群のみ発生した (38.5%)。呼吸数は群間で差はなかった。
40	Maggiore et al.	2003	Crossover	ALIあるいはARDSの患者 (9名)	N.A.	N.A.	LISスコア2.97±0.38、ベースラインのP/F比143±54	100%酸素投与の記載はない。間欠的吸引を吸引圧147mmHgで25~30秒間実施した。	OESに比べCESの吸引中および吸引後1呼吸後の機能的残気量の減少量が小さかった (吸引中, OES: -1466±586mL vs. CES: -531±228mL; 吸引後1呼吸後, OES: -1116±460mL vs. CES: -122±101mL)。また、OESに比べ、CESの吸引中のSpO ₂ の減少が小さかった (OES: -9.2±7.6% vs. CES: -2.2±2.7%)。
41	Fernández et al.	2004	Crossover	ICUの軽度から中等度急性呼吸不全の患者 (10名)	N.A.	N.A.	APACHE II スコア19±4、ベースラインのP/F比273±28	第一部では100%酸素をせず、第二部では100%酸素を120秒供給した。吸引は吸引圧150~200mmHgで10~15秒間実施した。	OESに比べCESの吸引中機能的残気量の減少量が小さかった (OES: -1218±403mL vs. CES: -449±370mL)。SpO ₂ , end-tidal CO ₂ , HR, MAPに差はなし。
24	Lee et al.*	2004	RCT	ICUの患者	38	32	ベースラインのSpO ₂ (OES: 96.7±2.2% vs. CES: 97.2±2.8%), HR (OES: 100.6±15.3/min vs. CES: 96.0±15.4/min) 群間に差はなし	N.A.	OES群に比べCES群の吸引直後および30秒後のSpO ₂ が高かった (直後, OES: 94.0±3.3% vs. CES: 97.6±2.0%; 30秒後, OES: 96.5±2.2% vs. CES: 98.0±2.0%)。
5	Rabitsch et al.	2004	RCT	内科系ICUの患者	12	12	気管挿管1日目と3日目の吸引前のSpO ₂ (1日目, OES: 97.2±1.9% vs. CES: 96.3±1.4%; 3日目, OES: 96.8±1.0% vs. CES: 97.0±1.4%) 群間に差はなし	100%酸素を吸引前後120秒間供給した。(吸引圧と吸引時間は未記載)	気管挿管1日目と3日目ともに、OES群に比べ、CES群の吸引直後のSpO ₂ が高かった (1日目, OES: 89.6±2.5% vs. CES: 96.8±1.0%; 3日目, OES: 89.6±1.9% vs. CES: 96.4±0.8%)。
42	Lasocki et al.	2006	Crossover	ALI患者 (9名)	N.A.	N.A.	ベースラインのP/F比169±55、LISスコア2.3±0.5	吸引15分前から吸引後30分後まで100%酸素を供給した。吸引は吸引圧147mmHgで20秒間実施した。(CESのみ吸引後20回の肺リクルートメント操作を実施)	OESは、ベースラインの値 (PaO ₂ , 221±87mmHg; PaCO ₂ , 41±7mmHg) と比べ、吸引1分後・3分後・10分後のPaO ₂ を低下させ (1分後, 185±65mmHg; 3分後, 175±68mmHg; 10分後, 178±64mmHg)、吸引1分後のPaCO ₂ を上昇させた (44±9mmHg)。CESは、ベースラインの値と比べ吸引13分後のPaO ₂ が上昇したものの、その他の測定値に有意な変化はなかった。
43	Bourgault et al.	2006	Crossover	ICUの患者 (18名)	N.A.	N.A.	ベースラインの心拍変動および圧反射の測定項目すべてにおいてOESとCESとの間に差はなし	吸引前に100%酸素を1分間投与した。吸引は吸引圧120mmHgで15秒以内で実施した。	PaO ₂ , PaCO ₂ , pH, sBP, HR, 交感神経系および副交感神経系の指標の測定項目について、吸引法間で有意な差はなかった。
44	Heinze et al.	2008	Crossover	ICUの心臓手術後患者 (20名)	N.A.	N.A.	左室駆出率58.9±11.4%、LISスコア1.1±0.4	吸引前にリクルートメント操作を適用 (PEEP 15cmH ₂ O、吸引圧35~40cmH ₂ O、30秒)。吸引は吸引圧200mmHgで20秒間実施した。	3種類の吸引方法 (a. 従圧式換気中のCES; b. 従量式換気中のCES; c. OES) いずれも吸引の20分後機能的残気量は低下した (a. 95.8±9%; b. 94.7±9.8%; c. 92.4±21.2%)。患者によっては機能的残気量が顕著に変化することもあった。
45	Corley et al.	2012	Crossover	ICUに入院した従量式の同期式間欠的強制換気管理されている患者 (20名)	N.A.	N.A.	ベースラインのP/F比314±154 (平均動脈圧50mmHg以下、徐脈または頻脈、術後1時間以内のドレインからの出血が200mL以上の血行動態が不安定な患者は除外)	吸引前に100%酸素を1分間投与した。30分間を空けて、2回目の吸引が行われた。吸引は吸引圧150mmHgで8~10秒間を2回 (6秒間休息) 実施した。	吸引中の呼気終末肺インピーダンスの低下は、CESの方がOESよりも小さかった (mean difference: -905 impedance units; 95% CI: -1234, -587)。しかし、吸引後の回復では、CESがOESより時間がかかり、各時間における吸引法間の差は有意であった: 1min, -352 (OES) vs. -609 (CES); 10min, -55 (OES) vs. -426 (CES); 20min, -249 (OES) vs. -559 (CES); and 30min, -370 (OES) vs. -533 (CES)。その他のパラメータ (SpO ₂ , P/F比、Static airway compliance) には有意な差はなかった。
13	Mohammadpour et al.	2015	RCT	心臓外科ICUの冠動脈バイパス術後患者	75	55	ベースラインのP/F比に群間の差はなし (OES: 292.2±66.92 vs. CES: 291.4±60.52) (MAP<70mmHgという血行動態不安定な患者を除外)	吸引の前後1分間は100%酸素の吸入を行った。吸引は吸引圧150~200mmHgで15秒間実施した。	OES群の値と比べCES群において吸引15分後のPaO ₂ (OES: 130.2mmHg vs. CES: 147.6mmHg) とP/F比 (276.2 vs. 301.0) は高く、PaCO ₂ (40.5mmHg vs. 38.0mmHg) は低かった。吸引後のSpO ₂ 、不整脈や気管支痙攣を生じた症例数は、両群に差はなかった。
8	Ebrahimian et al.	2020	RCT	ICUの外傷性脳損傷患者	56	56	ベースラインのGCS、BP、HR、SpO ₂ 、呼吸数、end-tidal CO ₂ には、群間に差はなし (GCS: 6.45±1.13; BP: 128.33±20.54mmHg; HR: 82.18±42.33/min; SpO ₂ : 96.74±2.76%; 呼吸数: 15.06±3.98/min; end-tidal CO ₂ : 36.2±21.98mmHg)	吸引前後に2分間100%酸素を供給した。吸引は最大吸引圧120mmHgで14秒間実施した。	吸引直後のSpO ₂ (OES: 94.80±3.48% vs. CES: 96.39±2.87%)、呼吸数 (OES: 19.20±5.25/min vs. CES: 16.61±4.82/min)、end-tidal CO ₂ (OES: 33.70±3.34mmHg vs. CES: 35.50±2.89mmHg) は両群間で有意差が認められた。またSpO ₂ 、呼吸数は吸引15分後までその差が有意であった。しかし、BPとHRには両群間に有意差はなかった。

APACHE: acute physiology and chronic health evaluation; BP: blood pressure; CES, closed endotracheal suctioning; GCS: glasgow coma scale; HR: heart rate; ICU: intensive care unit; LIS: lung injury score; MAP: mean arterial pressure; OES: open endotracheal suctioning; P/F: PaO₂/FiO₂; RCT: randomized controlled trial
*吸引方法については翻訳できなかったため未記載である。

成人の人工呼吸患者に対する開放式気管吸引と閉鎖式気管吸引の有用性の比較
—ナラティブレビュー—

小さかったと報告した (mean difference: -905 impedance units; 95% CI: $-1,234, -587$)⁴⁵⁾。吸引後の回復については、OESに比べCESで時間がかかっていたと報告されていた⁴⁵⁾。この結果を解釈する際に注意すべき点は、吸引を8~10秒間2回実施する一連吸引手技の結果という点であり、単回吸引の結果とは単純に比較できない。また、2008年のSR以降2件のRCTが行われ、OES群と比べCES群で酸素化が良く、循環指標 (血圧、HR、不整脈) は群間で差はないと報告されていた^{8,13)}。

このように呼吸に関する指標ではOESと比べCESのほうが患者に与える影響は少ない可能性がある一方、循環に関する指標では差はないという報告が認められる。その理由には、吸引によるSpO₂の低下量が循環に影響を与えるほどではなかったこと、吸引法間で苦痛の差が断定できないことが考えられる。本論文に含まれた循環指標について報告した試験では両吸引法でSpO₂は93%以上を維持していた^{8,13,20,38,39)}。閉塞性睡眠時無呼吸の患者においては、低酸素血症に伴う血圧および脈拍はSpO₂と負の相関関係にあり⁴⁶⁾、その低酸素血症に伴う血圧の上昇はSpO₂が90%以下となる場合に起きていると報告されている⁴⁷⁾。一般的には吸引に伴う苦痛が交感神経を活性化させ、循環指標が変動することが推測される。しかし、苦痛の項で述べたとおり、対象疾患や鎮静や鎮痛薬などの違いから吸引法間で苦痛の差があるかは断定できない。したがって、吸引法間で有意な苦痛の差を断定できないということが、循環指標における吸引法間で差を認めない試験結果に影響している可能性があると考えられる。

以上から、呼吸については、一連吸引時のCESによる機能的残気量の回復遅延はあるものの、OESに比べてCESは吸引中および吸引後のSpO₂の低下や吸引中の機能的残気量の減少などの有害事象は少ない可能性がある。循環への影響に関しては、現時点ではOESとCESのどちらで影響が少ないかは、判断できない。

4. コスト

吸引手技にかかわる使用物品のコストを評価項目に含めたMAは見当たらず、2008年にPagottoら³⁷⁾とSiemposら³²⁾がSRで、それぞれ4件のRCTを記述的にまとめた。Pagottoら³⁷⁾は4件中3件の試験でOESに比べCESのコストが高くなったと報告し、Siemposら³²⁾は含めた試験の結果は一致していなかったと報告していた。この2つのSRに含まれた試験を確認すると、3件が重複していたため、合わせると5件のRCTが含まれていることになる。

その5件のうち、2件でCESにおいてコストが高く^{2,3)}、2件で吸引法の違いによる差はなかった^{4,20)} (1件では統計学的に群間差の検討が行われていなかった²⁴⁾) (表4)。前述の2008年のSRの出版後に行われたRCTでは、CES群で有意に1日あたりのコストが高かったこと (OES: 138インド・ルピー [2.94米ドル] vs. CES: 272インド・ルピー [5.81米ドル]) が報告された²⁸⁾。

PagottoらのSR³⁷⁾と最新のSR以降のRCT²⁸⁾をふまえると、使用物品のコストについては、OESに比べCESが高い可能性があるが、試験の結果が一致していないと報告したSiemposらのSR³²⁾もあるため、断定はできない。

吸引法の違いによるコストの差について考える際、OESでの吸引回数、CESデバイスの交換期間に留意する必要がある。まず、OESでの吸引回数について述べる。ほとんどの試験では、OESのコスト計算式の中で吸引回数あるいは使用カテーテル本数を乗じたと記載している^{2,3,20,24,32)}。Adamsらの試験では、OES群の1日の平均吸引回数は10.0回であり、1回吸引あたり14.5ペンスであるため、1日の使用物品のコストは1.45ポンドとなり、OES群がCES群の16.89ポンドと比較し安価であった²⁾。一方、吸引法間で差がないと報告したJohnsonらの試験では、OES群の1日の平均吸引回数16回であり、1吸引あたり93セントであるため、1日の使用物品のコストは14.88米ドルとなり、CES群の13.00米ドルと差がなくなった²⁰⁾。次に、CESデバイスの交換期間について説明する。CESのデバイスの添付文書では、原則定期交換となっている。PagottoらやSiemposらのSRに含まれたRCTは全て定期交換であり^{2,3,20,24,28)}、またOESに比べCESが高いと報告した試験では全て定期交換であった^{2,3,28)}。一方、Lorenteらは定期交換しない方法を採用しVAP発生率やコストに吸引法間で差がないと報告した⁴⁾。

以上から、吸引回数が多くなく、CESのデバイスを定期交換する場合、OESに比べCESは使用物品のコストが高いと考えられる。

5. 本研究の限界

本研究では検索で言語制限を行ったことや含める研究デザインを制限したことから、文献を十分収集できていない可能性がある。しかし、本研究では3つの検索データベースを利用し、SR・MA、RCT、クロスオーバー試験などエビデンスレベルの高い論文を取り込んでいるため、一定水準の論文を含め考察できたと考えている。また、本研究は一定の評価基準で体系的に文献検索・収集し評価を行うSRではないため、客観性をもった最良のエ

成人の人工呼吸患者に対する開放式気管吸引と閉鎖式気管吸引の有用性の比較
—ナラティブレビュー—

表4 コストについての試験概要

文献番号	筆者	出版年	デザイン	対象	OES群	CES群	コスト計算と吸引回数	CESデバイスの交換	主要な結果
20	Johnson et al.	1994	RCT	外傷・外科系ICUの患者	19	16	OESのコストは吸引カテーテル93セントに1患者1日あたりの平均吸引回数(16回/日)を掛けて算出した。 CESのコストは1患者1日あたりのCESデバイスで算出した。吸引回数については、OESでは16回/日と記載があったが、CESでは記載がなかった。	24時間	OES群の1日あたりのコストは14.88米ドルであった。 CES群のコストは1日あたり13.00米ドルであり、OES群との差はわずかであった。
2	Adams et al.	1997	RCT	慢性肝不全で肝移植を受けた患者	10	10	OESの単回のコストは吸引カテーテル1本と滅菌手袋1つで145ペンスとして計算した。 吸引回数については、OESでは10.0(範囲、0~43)、CESでは16.6(範囲、2~33)であった。	24時間	OES群に比べCES群の1日あたりの吸引コストが高かった(OES:1.45ポンド vs. CES:16.89ポンド)。
24	Lee et al.	2004	RCT	ICUの患者	38	32	OESのコストはカテーテル350大韓民国ウォンに平均カテーテル本数20.7を掛け算出した。 CESのコストはCESデバイスコストの30,000大韓民国ウォンを3で割った値とカテーテル350大韓民国ウォンに1日当たりの平均カテーテル本数6本を掛けた値(2,100大韓民国ウォン)を足して算出した。(1日あたりの平均カテーテル本数の記載はあったが吸引回数について未記載)	72時間	1日あたりの吸引コストについて、OES群では7,245大韓民国ウォン、CES群では12,100大韓民国ウォンであった(統計学的有意な差についての記載はなし)。
3	Lorente et al.	2005	RCT	内科系・外科系ICUの患者	233	210	OESのコストは各単回のコスト(使い捨てカテーテル、滅菌手袋、マスクを含む平均0.30米ドル)に対する吸引回数を掛け人工呼吸の日数で割って算出した。 CESのコストは、CESデバイスの使用数にデバイスコストの10米ドルを掛け、人工呼吸の日数で割って算出した。 吸引回数について群間に差はなかった(OES:8.3±3.7回/日 vs. CES:8.1±3.5回/日)。	24時間	OES群に比べCES群の患者1人1日あたりの吸引コストは高かった(OES:2.5±1.1米ドル vs. CES:11.1±2.3米ドル)。
4	Lorente et al.	2006	RCT	内科系・外科系ICUの患者	221	236	OESの単回のコストは0.30ユーロ(使い捨て吸引カテーテル、マスク、滅菌手袋を含む)、CESのコストは10ユーロ(CESデバイスのコスト5ユーロ)で計算した。 吸引回数について群間に差はなかった(OES:7.9±2.6回/日 vs. CES:8.1±2.7回/日)。	機械的故障、汚れ、再挿管時	患者1人1日あたりの吸引コストについて群間に差はなかった(OES:2.4±0.5ユーロ vs. CES:2.3±3.7ユーロ)。 人工呼吸期間が4日以下ではOES群に比べCES群でコストが高かったが(OES:1.9±0.6ユーロ vs. CES:7.2±4.7ユーロ)、人工呼吸期間が4日を越えるとOES群に比べCES群でコストが低くなった(OES:2.5±0.5ユーロ vs. CES:1.6±2.8ユーロ)。
28	David et al.	2011	RCT	内科系ICUの患者	100	100	吸引カテーテルと手袋(滅菌であるか不明)がコスト計算に含まれた。(吸引回数について未記載)	168時間	OES群に比べCES群の1日あたりの吸引コストが有意に高かった(OES:138インドルビー [2.94米ドル] vs. CES:272インドルビー [5.81米ドル])。

CES: closed endotracheal suctioning; ICU: intensive care unit; OES: open endotracheal suctioning; RCT: randomized controlled trial

ビデンスを提供できていない。しかし、我々はナラティブレビューとして論文の評価尺度SARNA¹⁶⁾ および執筆方法¹⁷⁾ に従って作成し論文の正当性や再現性を高め、より深い解釈について記述できていると考えている。

IV 結論

今回の検討では、OESと比較してCESはVAP発生率の低下と関連する可能性、SpO₂や機能的残気量を維持する可能性が示唆された。循環への影響や気管吸引に伴う苦痛はどちらで少ないかは判断できず、コスト面では吸引回数が多くなくCESデバイスを定期交換した場合にCES

で高くなる可能性がある。したがって、すべての患者において同じ吸引法を選択するのではなく、VAPのリスク因子¹¹⁾、呼吸動態、吸引回数など、患者ごとにそのときの状態を評価したうえで気管吸引法を選択することが望ましい。今後、それぞれの吸引法が適応されるべき患者の疾患や状態を明らかにする試験が求められる。

謝辞 論文収集にご協力くださった守口敬仁会病院リハビリテーション室の銀杏 猛様に感謝申し上げます。

本稿のすべての著者に規定されたCOIはない。

成人の人工呼吸患者に対する開放式気管吸引と閉鎖式気管吸引の有用性の比較
—ナラティブレビュー—

参考文献

- 1) 中根正樹, 河合佑亮, 小野寺悠ほか: 気管吸引ガイドライン 2023 [改訂第3版] 成人で人工気道を有する患者のための. 呼吸療法. 2024 ; 41 : 1-47.
- 2) Adams DH, Hughes M, Elliott TS : Microbial colonization of closed-system suction catheters used in liver transplant patients. *Intensive Crit Care Nurs.* 1997 ; 13 : 72-6.
- 3) Lorente L, Lecuona M, Martín MM, et al : Ventilator-associated pneumonia using a closed versus an open tracheal suction system. *Crit Care Med.* 2005 ; 33 : 115-9.
- 4) Lorente L, Lecuona M, Jiménez A, et al : Tracheal suction by closed system without daily change versus open system. *Intensive Care Med.* 2006 ; 32 : 538-44.
- 5) Rabitsch W, Köstler WJ, Fiebiger W, et al : Closed suctioning system reduces cross-contamination between bronchial system and gastric juices. *Anesth Analg.* 2004 ; 99 : 886-92.
- 6) Devlin JW, Skrobik Y, Gelinas C, et al : Clinical Practice Guidelines for the prevention and management of pain, agitation/sedation, delirium, immobility, and sleep disruption in adult patients in the ICU. *Crit Care Med.* 2018 ; 46 : e825-73.
- 7) 中根正樹, 森永俊彦, 鶴澤吉宏ほか: 気管吸引ガイドライン 2013 (成人で人工気道を有する患者のための). 人工呼吸. 2013 ; 30 : 75-91.
- 8) Ebrahimian A, Tourdeh M, Paknazar F, et al : The effect of the open and closed system suction on pain severity and physiological indicators in mechanically ventilated patients with traumatic brain injury: a randomised controlled trial. *Turk J Anaesthesiol Reanim.* 2020 ; 48 : 202-7.
- 9) Grap MJ, Blecha T, Munro C : A description of patients' report of endotracheal tube discomfort. *Intensive Crit Care Nurs.* 2002 ; 18 : 244-9.
- 10) Solà I, Benito S : Closed tracheal suction systems versus open tracheal suction systems for mechanically ventilated adult patients. *Cochrane Database Syst Rev.* 2007 : CD004581.
- 11) Chastre J, Fagon JY : Ventilator-associated pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002 ; 165 : 867-903.
- 12) Liang Z, Liao Q, Xu J, et al : Comparative analysis of open and closed tracheal suction systems on mechanical ventilation efficiency in adults: A systematic review and meta-analysis. *Aust Crit Care.* 2024 ; 38 : 101106.
- 13) Mohammadpour A, Amini S, Shakeri MT, et al : Comparing the effect of open and closed endotracheal suctioning on pain and oxygenation in post CABG patients under mechanical ventilation. *Iran J Nurs Midwifery Res.* 2015 ; 20 : 195-9.
- 14) Dastdadeh R, Ebadi A, Vahedian-Azimi A : Comparison of the effect of open and closed endotracheal suctioning methods on pain and agitation in medical ICU patients: a clinical trial. *Anesth Pain Med.* 2016 ; 6 : e38337.
- 15) Khayer F, Ghafari S, Saghaei M, et al : Effects of open and closed tracheal suctioning on pain in mechanically ventilated patients. *Iran J Nurs Midwifery Res.* 2020 ; 25 : 426-30.
- 16) Baethge C, Goldbeck-Wood S, Mertens S : SANRA-a scale for the quality assessment of narrative review articles. *Res Integr Peer Rev.* 2019 ; 4 : 5.
- 17) Green BN, Johnson CD, Adams A : Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: secrets of the trade. *J Chiropr Med.* 2006 ; 5 : 101-17.
- 18) Conrad S, George R, Romero M, et al : Comparison of nosocomial pneumonia rates in closed and open tracheal suction systems. *Chest.* 1989 ; 96 : 184S.
- 19) Deppe SA, Kelly JW, Thoi LL, et al : Incidence of colonization, nosocomial pneumonia, and mortality in critically ill patients using a Trach Care closed-suction system versus an open-suction system: prospective, randomized study. *Crit Care Med.* 1990 ; 18 : 1389-93.
- 20) Johnson KL, Kearney PA, Johnson SB, et al : Closed versus open endotracheal suctioning: costs and physiologic consequences. *Crit Care Med.* 1994 ; 22 : 658-66.
- 21) Welte T, Ziesing S, Schulte S, et al : Incidence of ventilator associated pneumonia in mechanically ventilated patients: a comparison of closed versus open endotracheal suctioning. *Eur Respir J.* 1997 ; 10 : 319.
- 22) Combes P, Fauvage B, Oleyer C : Nosocomial pneumonia in mechanically ventilated patients, a prospective randomised evaluation of the Stericath closed suctioning system. *Intensive Care Med.* 2000 ; 26 : 878-82.
- 23) Zeitoun SS, de Barros AL, Diccini S : A prospective, randomized study of ventilator-associated pneumonia in patients using a closed vs. open suction system. *J Clin Nurs.* 2003 ; 12 : 484-9.
- 24) Lee ES, Kim SH, Kim JS : Effects of a closed endotracheal suction system on oxygen saturation, ventilator-associated pneumonia, and nursing efficacy. *Taehan Kanho Hakhoe Chi.* 2004 ; 34 : 1315-25.
- 25) Topeli A, Harmanci A, Cetinkaya Y, et al : Comparison of the effect of closed versus open endotracheal suction systems on the development of ventilator-associated pneumonia. *J Hosp Infect.* 2004 ; 58 : 14-9.
- 26) Li JQ, Li XY, He J : Influence of different ways of sputum suctioning on ventilator-associated pneumonia. *J Nurs Sci.* 2007 ; 22 : 20-1.
- 27) Fakhar HRE, Rezaie K, Kohestani HR : Effect of closed endotracheal suction on incidence of ventilator-associated pneumonia. *Scientific journal of kurdistan university of medical sciences.* 2010 ; 15 : 79-87.
- 28) David D, Samuel P, David T, et al : An open-labelled randomized controlled trial comparing costs and clinical outcomes of open endotracheal suctioning with closed endotracheal suctioning in mechanically ventilated medical intensive care patients. *J Crit Care.* 2011 ; 26 : 482-8.
- 29) Hamishekar H, Shadvar K, Taghizadeh M, et al : Ventilator-associated pneumonia in patients admitted to intensive care units, using open or closed endotracheal suctioning. *Anesth Pain Med.* 2014 ; 4 : e21649.
- 30) Alipour N, Manouchehrian N, Sanatkar M, et al : Evaluation of the effect of open and closed tracheal suction on the incidence of ventilator associated pneumonia in patients admitted in the intensive care unit. *Arch Anesth & Crit Care.* 2016 ; 2 : 193-6.
- 31) Ardehali SH, Fatemi A, Rezaei SF, et al : The effects of open and closed suction methods on occurrence of ventilator associated pneumonia; A comparative study. *Arch Acad Emerg Med.* 2020 ; 8 : e8.
- 32) Siempos II, Vardakas KZ, Falagas ME : Closed tracheal suction systems for prevention of ventilator-associated pneumonia. *Br J Anaesth.* 2008 ; 100 : 299-306.
- 33) Kuriyama A, Umakoshi N, Fujinaga J, et al : Impact of closed versus open tracheal suctioning systems for mechanically ventilated adults: A systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med.* 2015 ; 41 : 402-11.
- 34) Sanaie S, Rahnemayan S, Javan S, et al : Comparison of closed vs open suction in prevention of ventilator-associated pneumonia: A systematic review and meta-analysis. *Indian J Crit Care Med.* 2022 ; 26 : 839-45.
- 35) Sato R, Kawai Y, Nakane M : Concerns about misquoted data in the systematic review and meta-analysis of closed versus open endotracheal suctioning by Liang Z et al. *Aust Crit Care.* 2025 ; 38 : 101220.
- 36) Sato R, Kawai Y, Nakane M : Concerns regarding errors in the systematic review and meta-analysis of ventilator-associated pneumonia. *Indian J Crit Care Med.* 2025 ; 29 : 792.
- 37) Pagotto IM, Oliveira LR, Araújo FC, et al : Comparison between open and closed suction systems: a systematic review. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2008 ; 20 : 331-8.
- 38) Lee CK, Ng KS, Tan SG, et al : Effect of different endotracheal suctioning systems on cardiorespiratory parameters of ventilated patients. *Ann Acad Med Singap.* 2001 ; 30 : 239-44.
- 39) Cereda M, Villa F, Colombo E, et al : Closed system endotracheal suctioning maintains lung volume during volume-controlled mechanical ventilation. *Intensive Care Med.* 2001 ; 27 : 648-

成人の人工呼吸患者に対する開放式気管吸引と閉鎖式気管吸引の有用性の比較
—ナラティブレビュー—

54.

- 40) Maggiore SM, Lellouche F, Pigeot J, et al : Prevention of endotracheal suctioning-induced alveolar derecruitment in acute lung injury. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003 ; 167 : 1215-24.
- 41) Fernández MD, Piacentini E, Blanch L, et al : Changes in lung volume with three systems of endotracheal suctioning with and without pre-oxygenation in patients with mild-to-moderate lung failure. *Intensive Care Med.* 2004 ; 30 : 2210-5.
- 42) Lasocki S, Lu Q, Sartorius A, et al : Open and closed-circuit endotracheal suctioning in acute lung injury: efficiency and effects on gas exchange. *Anesthesiology.* 2006 ; 104 : 39-47.
- 43) Bourgault AM, Brown CA, Hains SM, et al : Effects of endotracheal tube suctioning on arterial oxygen tension and heart rate variability. *Biol Res Nurs.* 2006 ; 7 : 268-78.
- 44) Heinze H, Sedemund-Adib B, Heringlake M, et al : Functional residual capacity changes after different endotracheal suctioning methods. *Anesth Analg.* 2008 ; 107 : 941-4.
- 45) Corley A, Spooner AJ, Barnett AG, et al : End-expiratory lung volume recovers more slowly after closed endotracheal suctioning than after open suctioning: a randomized crossover study. *J Crit Care.* 2012 ; 27 : 742.e1-7.
- 46) Sasaki N, Nagai M, Mizuno H, et al : Associations between characteristics of obstructive sleep apnea and nocturnal blood pressure surge. *Hypertension.* 2018 ; 72 : 1133-40.
- 47) Kario K : Obstructive sleep apnea syndrome and hypertension: ambulatory blood pressure. *Hypertens Res.* 2009 ; 32 : 428-32.