

기관 내 흡인 유형이 인공호흡기 대상자의 폐기능과 저산소혈증에 미치는 효과

이은영¹ · 김수현²

¹영남대학교 의료원, ²경북대학교 간호대학

Effects of Open or Closed Suctioning on Lung Dynamics and Hypoxemia in Mechanically Ventilated Patients

Lee, Eun Young¹ · Kim, Su Hyun²

¹Youngnam Medical Center, Daegu

²College of Nursing, Kyungpook National University, Daegu, Korea

Purpose: This study was conducted to compare effects of open and closed suctioning methods on lung dynamics (dynamic compliance, tidal volume, and airway resistance) and hypoxemia (oxygen saturation and heart rate) in mechanically ventilated patients. **Methods:** This study was a cross-over repeated design. Participants were 21 adult patients being treated with endotracheal intubation using a pressure-controlled ventilator below Fraction of Inspired Oxygen (FI_O₂) 60% and PEEP 8 cmH₂O. Data were collected at baseline and 1, 2, 3, 4, 5, and 10 minutes after suctioning. Data were analyzed using two-factor ANOVA with repeated measures on time and suctioning type. **Results:** Effects of the interaction between suction type and time were significant for oxygen saturation and heart rate but not significant for dynamic compliance, tidal volume, or airway resistance. Prior to performance of suctioning, tidal volume and oxygen saturation were significantly lower, but airway pressure and heart rate were significantly higher using the closed suctioning method as compared with the open suctioning method. **Conclusion:** For patients on ventilator therapy below FI_O₂ 60% and PEEP 8cmH₂O, open suctioning performed after delivery of 100% FI_O₂ using a mechanical ventilator may not have as much negative impact on lung dynamics and hypoxemia as closed suctioning.

Key words: Airway resistance, Anoxia, Suction, Lung compliances

서 론

1. 연구의 필요성

기관 내 흡인은 기관 내로 흡인 카테터를 삽입하여 기관 내에 축적된 분비물을 음압을 이용하여 무균적으로 제거하는 과정으로[1],

인공호흡기 치료를 받는 환자의 기도 개방성을 유지하고 객담 정체로 인한 저산소증과 무기폐를 예방하는 중요한 간호행위이다[2]. 그러나 기관 내 흡인은 저산소혈증과 심부정맥, 인공호흡기 관련 폐렴 등의 부작용을 흔히 초래하는 것으로 알려져 있다[3]. 기관 내 흡인 과정에서 폐 내 공기가 함께 흡인되면서 폐포가 허탈되어 저산소혈증이 발생할 수 있으며, 이는 심박동수 증가나 심부정맥 발생 위험

주요어: 기도저항, 저산소혈증, 흡인, 폐유순도

*이 논문은 제1저자 이은영의 석사학위논문을 수정하여 작성한 것임.

*This manuscript is a revision of the first author's master's thesis from Kyungpook National University.

Address reprint requests to : Kim, Su Hyun

College of Nursing, Kyungpook National University, 101 Dongin-2ga, Jung-gu, Daegu 700-422, Korea

Tel: +82-53-420-4928 Fax: +82-53-421-2758 E-mail: suhyun_kim@knu.ac.kr

Received: December 16, 2013 Revised: December 30, 2013 Accepted: February 18, 2014

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NoDerivs License. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0>)

If the original work is properly cited and retained without any modification or reproduction, it can be used and re-distributed in any format and medium.

을 증가시키고[4], 기도가 오염될 경우 인공호흡기 관련 폐렴을 초래하고 기관지 분비물로 인해 병원 환경을 오염시킬 수 있다[5].

인공호흡기 치료를 받는 환자들에게는 개방형 또는 폐쇄형 방법 중 선택하여 기관 내 흡인을 시행하게 된다. 대상자로부터 인공호흡기를 분리한 후 기도를 흡인하는 개방형 방법은 폐쇄형 방법에 비해 분비물을 더 많이 제거할 수 있는 반면[6], 폐유순도, 일회호흡량 및 산소포화도를 감소시키는 단점이 있다[7]. 최근 실무 가이드라인에서는 이러한 개방형 흡인의 부작용을 줄이기 위하여 고농도 산소나 높은 호기말 양압을 적용하도록 하고 있으며, 폐포 모집해제(derecruitment)의 위험이 높은 환자에게는 인공호흡기를 분리하지 않는 폐쇄형 흡인을 권장하고 있지만[8], 아직 이에 대한 근거가 불충분하고 최근 이와 상반되는 연구들이 제시되고 있어서 추가 연구가 필요한 상황이다[9].

개방형과 폐쇄형 흡인과 관련한 선행 연구를 보면, 개방형 또는 폐쇄형 흡인에 따른 저산소혈증과 심혈관계 불안정의 부작용을 비교하는 연구가 대부분이었다[3,6,10-12]. 주로 선행 연구에서는 폐쇄형 흡인이 개방형 흡인에 비해 산소포화도와 심박동수의 변화에 대한 부정적 영향이 적었으며, 이에 따라 인공호흡기를 사용하는 환자에게 폐쇄형 흡인법을 사용하도록 권고하고 있다[3,11]. 그러나 이 연구들에서는 기관 내 흡인을 시행하기 전에 과산소화를 시행하지 않거나 엠부백을 이용하여 과산소화를 시행하였기 때문에 [13], 인공호흡기를 이용하여 과산소화를 시행하도록 권고한 최근 기관 내 흡인 가이드라인[8]과는 다소 차이를 보이고 있다.

한편, 최근 국외연구에서는 기관 내 흡인으로 인한 저산소혈증이 외에도 동적 폐유순도, 일회호흡량, 기도저항 등 폐기능에 미치는 영향에 대해 관심을 기울여야 한다고 제시하고 있다[7,14,15]. 기관 내 흡인을 하는 동안 폐포 허탈이 발생되면 동적 폐유순도의 감소로 이어지게 되는데, 이는 폐와 흉벽의 탄력성의 감소를 의미하는 것으로서 반복적인 발생은 무기폐의 위험을 증가시킬 수 있다[15,16]. 아직까지 국내외적으로 인공호흡기 대상자에서 개방형과 폐쇄형 흡인술이 폐기능에 미치는 영향에 관한 연구는 매우 미비하며, 최근 기관 내 흡인 가이드라인에 따라 흡인술을 시행한 후 저산소혈증 및 폐기능에 대한 영향을 비교한 연구도 찾아보기 어려운 상황이다.

특히, 최근에는 폐 보호 전략으로 압력조절 인공호흡기를 많이 적용하고 있으나[17], 기관 내 흡인에 대한 선행 연구에서는 대부분 용적조절 인공호흡기 사용 환자를 대상으로 이루어졌다 [3,6,10,12,18]. 압력조절 인공호흡기는 기도 내 분비물이 정체되면 기도저항의 증가나 일회호흡량의 감소가 특징적으로 발생할 수 있으며, 일반적으로 흡인 후 일회호흡량이 증가하고 기도저항이 감소할 것으로 기대되고 있다[8]. 그러나 압력조절 인공호흡기 대상자에 관한 선행 연구를 보면, 개방형과 폐쇄형 기관 내 흡인 이후 폐유순도

는 모두 감소하였지만 산소포화도는 유의하게 감소되지 않았다는 일부 연구 결과[7,14]와 개방형 기관 내 흡인은 폐쇄형보다 폐유순도와 산소포화도, 1회 호흡량이 더 많이 감소하였다는 연구 결과 [18,19] 등이 불일치하는 것으로 나타나 개방형과 폐쇄형 기관 내 흡인에 관한 더 많은 연구가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 압력조절 인공호흡기를 사용하는 성인 환자를 대상으로 개방형과 폐쇄형 기관 내 흡인이 폐기능과 저산소혈증에 미치는 영향을 비교하고자 하였다.

2. 연구 목적

본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

첫째, 개방형 기관 내 흡인과 폐쇄형 기관 내 흡인 간에 흡인 후 폐기능, 즉 동적 폐유순도, 일회호흡량 및 기도저항의 변화량의 변화를 비교한다.

둘째, 개방형 기관 내 흡인과 폐쇄형 기관 내 흡인 간에 흡인 후 저산소혈증, 즉 산소포화도, 심박동수의 변화를 비교한다.

3. 용어 정의

1) 동적 폐유순도(Dynamic compliance)

공기의 흐름이 있을 때 1cmH₂O의 압력 변화 시 나타나는 폐 용적의 변화로 기도저항 상태를 포함한 폐와 흉벽 탄력의 적절성을 의미한다[17]. 본 연구에서 조작적 정의는 대상자의 폐와 흉벽에 대해 Evita 4 edition (Draeger, Lubeck, Germany) 인공호흡기 모니터에서 mL/cmH₂O 단위로 제시된 값이다.

2) 일회호흡량(Tidal volume)

일회 호흡에 의해서 흡기되거나 호기되는 공기의 양이다[16]. 본 연구에서 조작적 정의는 대상자의 일회 호흡에 의해 호기되는 공기의 양에 대해 Evita 4 edition 인공호흡기 모니터에서 mL 단위로 제시된 값이다.

3) 기도저항(Airway resistance)

흡기 동안에 기도를 통과하는 공기의 흐름에 대한 저항(Rinsp)을 말한다[16]. 본 연구에서 조작적 정의는 흡기 시 공기흐름에 대한 저항에 대해 Evita 4 edition 인공호흡기 모니터에서 cmH₂O/L/sec 단위로 제시된 값이다.

4) 산소포화도(Oxygen saturation)

혈색소와 실제로 결합한 산소의 양(%)으로, 일반 성인의 정상 수

치는 97-100%이다[16]. 본 연구에서 조작적 정의는 Philips IntelliVue MP20 (Philips, Böblingen, Germany)의 맥박 산소계측기를 이용하여 동맥혈 헤모글로빈의 기능적 산소포화도를 %로 측정된 값이다[16].

5) 심박동수(Heart rate)

심장의 수축과 이완에 따라 심전도 상의 P wave나 R wave의 간격으로 측정되는 분당 횡수로서, 본 연구에서 조작적 정의는 Philips IntelliVue MP20 모니터를 이용하여 측정된 값을 말한다.

6) 압력조절 인공호흡기(Pressure-controlled mechanical ventilator)

특정한 양압을 전달하도록 장치되어 있어서 미리 정해진 기도압력에 도달할 때까지 폐에 공기가 전달되고, 미리 정해진 압력에 도달하면 호기가 시작되도록 구조화된 인공호흡기이다[20].

연구 방법

1. 연구 설계

본 연구 설계는 개방형과 폐쇄형 기관 내 흡인이 동적 폐유순도, 일회호흡량, 기도저항, 산소포화도 및 심박동수에 미치는 영향을 규명하기 위한 교차 반복실험 설계(Cross-Over Repeated Design)이다(Figure 1).

2. 연구 중재

무작위 순번교체법(counter balancing)을 이용하여 입원 순서대로 번호를 매겨 흡수번(A군)은 개방형 흡인술을, 짝수번(B군)은 폐쇄형 흡인술을 먼저 시행하였다. 처치로 인한 이월효과(Carry over effect)를 배제하기 위해 개방형 흡인과 폐쇄형 흡인 간에 1시간의 유실기(washout period)를 두었다.

기관 내 흡인을 시행함에 있어서, 시행 5분 전부터 대상자에게 어떠한 외부의 자극도 주지 않았으며, 기관 내 흡인을 시행하기 직전에 대상자의 동적 폐유순도, 일회호흡량, 기도저항, 산소포화도 및 심박동수를 측정하여 기록하였다. 기관 내 흡인은 미국 호흡기계

간호협회(American Association for Respiratory Care)의 최신 흡인 프로토콜[8]에 따라 시행하였으며, 흡인 전후에 인공호흡기의 흡인용 고농도 산소 단추를 눌러 30초간 고농도 산소를 제공하였고, 10-15초 동안 150mmHg 이하의 흡인압을 적용하여 무균적 방법으로 1회 흡인을 시행하였다. 본 연구 중재는 대상자의 인공호흡기 모드 조절이 없는 시간인 오후 5시 이후 전후에 시행하였다.

3. 연구 대상

본 연구의 대상자는 D시에 소재한 일개 대학병원의 내과계중환자실에 입실하여 기관 내 삽관을 통해 인공호흡기 치료를 받고 있는 환자로 다음 조건을 만족한 자였다. 대상자 선정기준은 1) Evita 4 edition 인공호흡기를 적용하고 있는 만 20세 이상 성인, 2) 인공호흡기의 모드가 압력조절 인공호흡기(PCV+Assist)인 자, 3) 인공기도의 내관이 7.5mm 또는 8.0mm를 사용 중인 자, 4) 활력징후가 안정적인 자, 5) Midazolam 또는 Propofol과 Remifentanyl을 투여받고 있는 자, 6) Ramsay sedation score가 2-3점으로 지속적인 진정상태이고 자발호흡이 거의 없는 자였다. 대상자 제외기준은 1) 인공호흡기 설정이 호기말 양압(PEEP)이 8cmH₂O 이상이거나 흡입산소농도(FiO₂) 60% 초과인 경우 인공호흡기 분리 시 폐포 허탈의 위험을 고려하여 [21] 윤리적 측면에서 대상자 보호를 위하여 제외하였으며, 2) 1시간 이내에 흡인을 여러 번 필요로 하는 대상자도 제외하였다.

본 연구 대상자수는 G*power 프로그램을 이용하였을 때 반복요인이 2개(처치, 시점)인 반복측정 분산분석(Repeated measures ANOVA)에서 처치수준이 2개, 시점이 6회이고 유의수준 α=.05, power=.80이며, 개방형과 폐쇄형 흡인 간 산소포화도 변화에 대한 효과크기를 선행 연구[11]에 근거하여 0.11, 시점 간 상관관계를 0.1로 설정하였을 때, 최소 18명으로 산정되었다. 본 연구에서는 대상자의 탈락률을 고려하여 21명을 대상으로 연구를 시행하였으며, 최종 21명이 모두 분석에 포함되었다.

4. 연구 도구

본 연구에서 폐기능, 즉 동적 폐유순도, 일회호흡량, 기도저항은

Order	Baseline	Treatment	After suction	Wash-out period	Baseline	Treatment	After suction
Group A	O ₁	OS	O ₂ , O ₃ , O ₄ O ₅ , O ₆ , O ₇	1 hour	O ₈	CS	O ₉ , O ₁₀ , O ₁₁ O ₁₂ , O ₁₃ , O ₁₄
Group B	O ₁	CS	O ₂ , O ₃ , O ₄ O ₅ , O ₆ , O ₇	1 hour	O ₈	OS	O ₉ , O ₁₀ , O ₁₁ O ₁₂ , O ₁₃ , O ₁₄

OS=Open suction; CS=Closed suction; O₁, O₈=Baseline; O₂, O₉=1 min; O₃, O₁₀=2 min; O₄, O₁₁=3 min; O₅, O₁₂=4 min; O₆, O₁₃=5 min; O₇, O₁₄=10 min.

Figure 1. Research design.

Evita 4 edition 인공호흡기 모니터로 측정하였고[22], 저산소혈증, 즉 산소포화도, 심박동수는 Philips IntelliVue MP20 모니터로 측정하였다[23]. 대상자에게 인공호흡기를 연결하기 전에 모두 calibration 을 시행하였다.

동적 폐유순도는 대상자의 폐와 흉벽의 탄력성에 대해 mL/cmH₂O 단위로 제시한 값으로 측정하였으며, 정상 범위는 35-50mL/cmH₂O이다[24]. 일회호흡량은 대상자의 일회 호흡에 의해 호기되는 공기의 양을 mL 단위로 측정하였으며, 정상인에서는 6-8mL/kg 정도가 정상 수준이다. 일회호흡량에 대한 Evita 4 인공호흡기의 정확도는 설정값 ± 25 mL로 보고되었다[22]. 기도저항은 흡기 시 공기 기류에 대한 저항(Rinsp)을 나타낸다. 선행 연구에서 폐질환이 없고 기관 내 삽관이 되어 있는 환자의 기도저항은 대략 4-6cmH₂O/L/sec 가량이며, 인공호흡기를 적용하는 경우에는 공기 기류(flow)와 압력(pressure)에 의해 기도저항 값이 높아질 수 있다고 하였다[16]. 본 연구에서 사용한 Evita 4 인공호흡기의 정확도는 자발호흡이 있을 경우 측정값의 ± 20%로 보고되었지만[22], 본 연구에서는 자발호흡이 거의 없는 환자들을 대상으로 하였기 때문에 정확도는 이보다 훨씬 높을 것으로 판단되었다.

산소포화도는 일반 성인의 정상 범위가 97-100%이다. Philips IntelliVue MP20 모니터의 정확도는 측정값 ± 2.5%(70% to 100%)였다[23]. 심박동수는 심전도 그래프상의 RR간격이나 PP간격을 파악하여 측정된 값으로, 본 연구에서 사용한 Philips IntelliVue MP20 모니터의 정확도는 측정값 ± 1%였다[23].

5. 자료 수집 방법

본 연구의 자료 수집은 2012년 6월 10일부터 2013년 3월 25일까지 대구 소재 대학병원의 내과계 중환자실에서 이루어졌으며, 해당병원의 연구 윤리위원회의 승인(IRB No. YUH-12-0353-O24)을 받고 보호자의 서면동의를 받은 후 실시하였다. 기관 내 흡인은 중환자실에서 17년간 근무하고 중환자 전문간호사 자격을 소지한 연구 책임자가 시행하였다. 각 시점별 변수 값을 측정하기 전에 자료 수집자 1인에게 각 기관 내 흡인 방법에 따른 자료 수집 시점과 자료 수집 방법에 대한 교육을 시행하였다. 구체적으로, 개방형 흡인은 흡인이 끝난 후 인공호흡기를 연결한 시점부터, 폐쇄형 흡인은 흡인이 끝난 후 카테터의 잠금장치를 잠그는 시점부터 스톱워치를 이용하여 1분, 2분, 3분, 4분, 5분, 10분이 경과한 시점에 자료를 수집하였다. 심전도 모니터에 나타나는 변수 값은 해당 시점에 즉시 자료 수집 용지에 기록하였고, 인공호흡기 모니터에 나타나는 변수 값은 각 자료 수집 시점에 사진을 촬영하였고 각 대상자로부터 자료 수집이 끝난 후에 자료 수집 용지에 기록하였다.

6. 자료 분석 방법

대상자의 일반적 특성, 질병관련 특성은 실수와 백분율, 평균과 표준편차를 산출하였다. 먼저, 처치로 인한 이월효과 존재 여부를 확인하기 위하여 개방형 흡인술을 먼저 시행한 후 폐쇄형 흡인술을 시행한 A 그룹과 폐쇄형 흡인술을 먼저 한 후 개방형 흡인술을 시행한 B 그룹 간에 동일 방법의 흡인 이전에 변수값이 동질함을 t-test로 검증하였다[25]. 처치로 인한 이월효과가 없음을 확인한 후에, 개방형 흡인 또는 폐쇄형 흡인 간 흡인 전 기준 시점에 동적 폐유순도, 일회호흡량, 기도저항, 산소포화도, 심박동수의 동질성을 대응 t-test로 검증하였다[25].

개방형 흡인술과 폐쇄형 흡인술에 대해 처치와 시간에 따른 변화량을 살펴보기 위해 반복 요인이 2개(처치, 시간)인 반복측정 분산분석(two-way ANOVA for repeated measures)를 실시하였다[26]. 반복측정 분산분석 결과 상호작용 효과가 유의하게 나타난 경우 시점별로 대응별 비교를 하였으며, 다중비교에 대해 Bonferroni correction을 하였다. 추가적으로, 개방형 흡인술과 폐쇄형 흡인술 이후 각 시점별로 기준시점 대비 변화량(%)을 대응 t-test와 Bonferroni correction을 이용하여 분석하였다. 수집된 자료는 SPSS 19.0 통계 프로그램을 이용해서 분석하였다.

연구 결과

1. 대상자의 일반적 특성

본 연구 대상자는 남자 14명(66.7%), 여자 7명(33.3%)이었고, 평균 연령은 63.14 ± 17.67세였다(Table 1). 진단명은 폐렴 14명(66.7%), 만성 폐쇄성 폐질환 1명(4.8%), 폐부종 2명(9.5%), 급성 약물 중독 1명(4.8%), 말초 T-세포 림프종 1명(4.8%), 용혈성 요독 증후군 1명(4.8%), 일산화탄소 중독 1명(4.8%)이었다. 흡입 산소농도는 31-40%가 10명(47.6%)으로 가장 많았고, 21-30%가 5명(23.8%), 41-50%와 51-60%가 각각 3명(14.3%)이었다. 호기말 양압 수치는 0-4 cmH₂O가 7명(33.3%), 5-8 cmH₂O는 14명(66.7%)이었다. 대상자의 APACHE II 점수는 10-14점이 38.1%로 가장 많았다.

2. 처치의 이월효과 및 동질성 검증

교차설계에서 처치로 인한 이월효과의 존재 여부를 확인하기 위하여 t-test를 시행한 결과(Table 2), 모든 결과 변수에서 이월효과는 없었다. 또한, 개방형 흡인술과 폐쇄형 흡인술 적용 전 기준 시점에서 종속변수의 동질성을 대응 t-test로 검증한 결과(Table 2), 개방형

흡인과 폐쇄형 흡인 간에 동적 폐유순도는 유의한 차이가 없었으나 ($t=1.51, p=.148$), 일회호흡량, 기도저항, 산소포화도, 심박동수는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($t=-6.97\sim 2.29, p<.05$ for all).

3. 개방형 또는 폐쇄형 흡인 전후 폐기능

흡인 전후 폐기능의 변화는 Figure 2와 같다. 첫째, 개방형 또는 폐쇄형 흡인 전후 시간에 따른 동적 폐유순도($\text{mL}/\text{cmH}_2\text{O}$)를 보면, 개방형 흡인술의 경우, 흡인 전에 평균 35.11 ± 14.31 에서 흡인 1분 후 35.63 ± 15.62 로 약간 증가하였다가 점차 감소하여 10분 후에는 34.22 ± 14.21 로 나타났다. 폐쇄형 흡인술의 경우, 흡인 전에는 32.82 ± 15.62 였다가 흡인 2분 후에 31.26 ± 14.05 로 감소하였으나 점차 재증가하여 10분 후에는 34.37 ± 17.48 이었다.

그러나 동적 폐유순도에 대한 개방형 또는 폐쇄형 흡인 유형과 시간의 상호작용 효과는 유의한 차이가 없었고($F=1.04, p=.443$), 흡인 유형의 주효과와 시간의 주효과 모두 통계적으로 유의한 차이가

없었다($F=2.44, p=.134; F=1.15, p=.383$, respectively). 추가적으로, 흡인 전 기준시점 대비 흡인 후 각 시점별 동적 폐유순도 변화량(%)을 개방형과 폐쇄형 흡인 간에 비교한 결과, 모든 시점에서 두 방법 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다($t=-1.51\sim 1.45, p>.05$ for all).

둘째, 개방형 또는 폐쇄형 흡인 전후 시간에 따른 일회호흡량(mL)을 보면, 개방형 흡인술의 경우, 흡인 전 평균 450.81 ± 98.75 에서 흡인 1분 후 453.81 ± 105.38 로 약간 증가하였고, 이후 소량의 감소와 증가가 있었으나 큰 변화는 없었으며 10분 후에는 444.00 ± 108.73 이었다. 폐쇄형 흡인술의 경우, 흡인 전 411.52 ± 86.70 에서 흡인 1분 후 412.38 ± 83.52 로 약간 증가하였다가 2분 후 396.29 ± 83.58 로 감소한 후 다시 증가하여 10분 후에는 430.00 ± 113.53 로 나타났다.

그러나 일회호흡량에 대한 흡인 유형과 시간의 상호작용 효과는 유의하지 않았고($F=1.05, p=.432$), 시간의 주효과도 유의한 차이가 없었으나($F=0.89, p=.527$), 흡인 유형의 주효과는 통계적으로 유의한 차이가 있었는데 일회호흡량은 개방형 흡인에서 폐쇄형 흡인보다 더 높았다($F=5.85, p=.025$). 추가적으로, 흡인 전 기준시점 대비 흡인 후 각 시점별 일회호흡량의 변화량(%)을 개방형과 폐쇄형 흡인 간에 비교한 결과, 모든 시점에서 두 방법 간에 유의한 차이가 없었다($t=-1.50\sim 1.25, p>.05$ for all).

셋째, 개방형 또는 폐쇄형 흡인 이후 시간에 따른 기도저항($\text{cmH}_2\text{O}/\text{L}/\text{sec}$)은 개방형 흡인술의 경우 흡인 전 14.06 ± 6.07 에서 흡인 1분 후에 13.41 ± 5.62 로 약간 감소하였으나 이후 큰 변화가 없었다. 폐쇄형 흡인술의 경우, 흡인 전 20.66 ± 5.65 에서 흡인 1분 후 20.20 ± 5.62 로 거의 변화가 없었고 이후에도 큰 변화가 없었다.

그러나 기도저항에 대한 흡인 유형과 시간의 상호작용 효과는 유의하지 않았고($F=1.84, p=.159$), 시간의 주효과도 유의한 차이가 없었지만($F=1.23, p=.296$), 흡인 유형의 주효과는 통계적으로 유의하였고 기도저항은 개방형 흡인에서 폐쇄형 흡인보다 더 낮았다($F=52.07, p<.001$). 또한, 흡인 전 기준시점 대비 흡인 후 각 시점별 기도저항 변화량(%)을 개방형과 폐쇄형 흡인 간에 비교한 결과, 모든 시점에서 두 방법 간에 유의한 차이가 없었다($t=-1.60\sim -0.32, p>.05$ for all).

Table 1. Characteristics of the Participants (N=21)

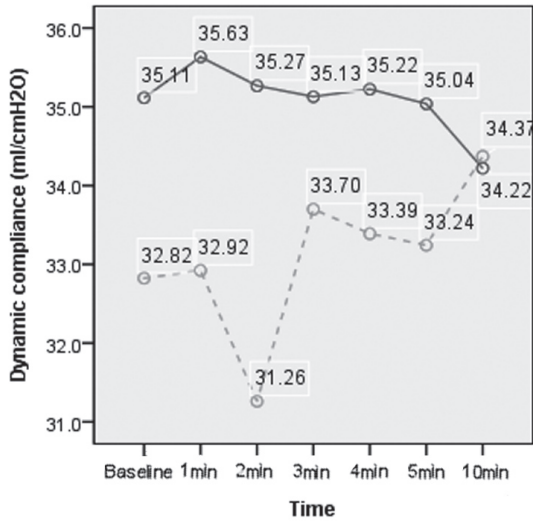
Characteristics	Categories	n (%) or M \pm SD
Gender	Male	14 (66.7)
	Female	7 (33.3)
Age (year)		63.14 \pm 17.67
Diagnosis	Pneumonia	14 (66.7)
	Chronic obstructive pulmonary disease	1 (4.8)
	Pulmonary edema	2 (9.5)
	Non-pulmonary disease	4 (19.0)
FI _O ₂ (%)	21-30	5 (23.8)
	31-40	10 (47.6)
	41-50	3 (14.3)
	51-60	3 (14.3)
PEEP (cmH ₂ O)	0-4	7 (33.3)
	5-8	14 (66.7)
APACHE II score	5-9	1 (4.8)
	10-14	8 (38.1)
	15-19	7 (33.3)
	20-24	5 (23.8)

FI_O₂ = Fraction of inspired oxygen; PEEP = Positive end expiratory pressure; APACHE II = Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II.

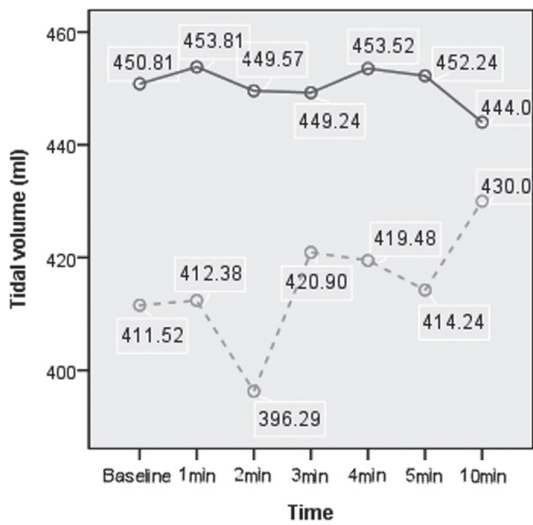
Table 2. Homogeneity Validation Between the Baselines of Open Suction and Closed Suction (N=21)

Characteristics	Open suction	Closed suction	Paired t-test	Carry-over effect*
	M \pm SD	M \pm SD	t (p)	t (p)
Dynamic compliance	35.14 \pm 14.31	32.82 \pm 15.62	1.51 (.148)	-0.38 (.708)
Tidal volume	450.81 \pm 98.75	411.52 \pm 86.70	-6.97 (<.001)	0.12 (.904)
Airway resistance	14.06 \pm 6.07	20.66 \pm 5.65	2.29 (.033)	-0.14 (.891)
Oxygen saturation	97.90 \pm 2.01	97.43 \pm 2.29	2.23 (.038)	0.28 (.783)
Heart rate	77.52 \pm 15.38	80.33 \pm 15.88	-2.48 (.022)	0.11 (.915)

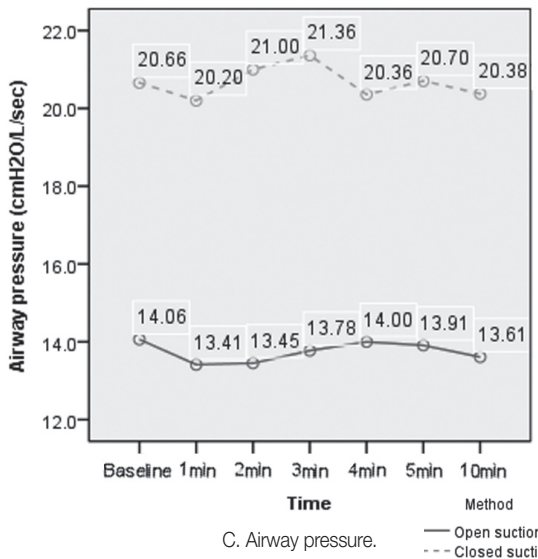
*Carry-over effect from open or closed suction.



A. Dynamic compliance.



B. Tidal volume.

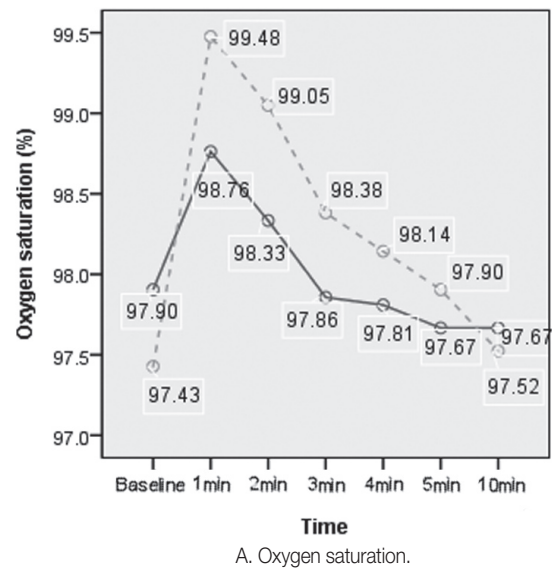


C. Airway pressure.

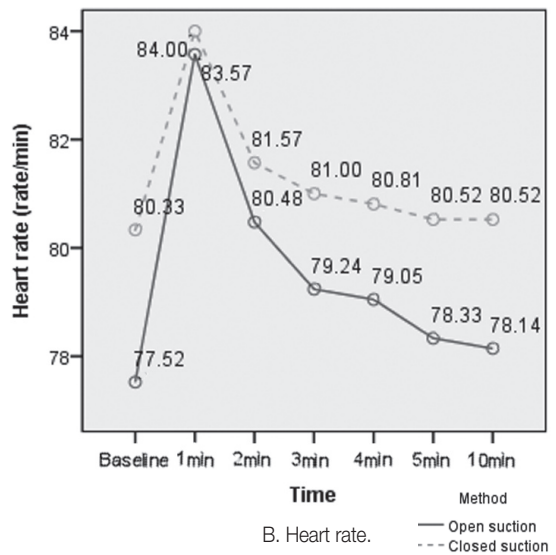
4. 개방형 또는 폐쇄형 흡인 전후 저산소혈증

개방형 또는 폐쇄형 흡인 이후 시간에 따른 저산소혈증은 Figure 3과 같다. 첫째, 평균 산소포화도(%)는 개방형 흡인술의 경우, 흡인 전 97.90 ± 2.61 에서 흡인 1분 후에 98.76 ± 1.90 으로 증가하였다가 점차 감소하기 시작하여 10분 후에는 97.67 ± 2.67 이었다. 폐쇄형 흡인술의 경우, 흡인 전에 97.43 ± 2.29 였다가 흡인 1분 후에 99.48 ± 1.37 로 증가한 후 점차 감소하기 시작하여 10분 후에는 97.52 ± 2.29 였다.

산소포화도에 대한 흡인 유형과 시간의 상호작용 효과는 통계적으로 유의하였고($F=4.21, p=.011$), 시간의 주효과는 유의하였으나($F=4.20, p=.011$) 흡인 유형의 주효과는 유의하지 않았다($F=1.84, p=.190$). 각 시점별 두 방법 간 대응별 다중비교를 한 결과, 산소포



A. Oxygen saturation.



B. Heart rate.

Figure 2. Lung dynamics after open or closed suction.

Figure 3. Hypoxemia after open or closed suction.

화도는 흡인 전 시점에 개방형 흡인($M=97.91, SE=.57$)에서 폐쇄형 흡인($M=97.43, SE=.50$)보다 유의하게 더 높았고($F=4.95, p=.038$) 흡인 1분 후 시점에는 개방형 흡인($M=98.76, SE=.41$)에서 폐쇄형 흡인($M=99.48, SE=.30$)보다 유의하게 더 낮았지만($F=11.72, p=.003$), 흡인 2분 후부터는 유의한 차이가 없었다. 또한, 흡인 전 기준시점 대비 각 시점별 산소포화도 변화량(%)을 개방형과 폐쇄형 흡인 간에 비교한 결과, 흡인 10분 후($t=-1.06, p=.304$)를 제외한 모든 시점에서 폐쇄형 흡인에서 산소포화도 변화량이 유의하게 더 많았다($t=-3.78\sim-2.30, p<.05$).

둘째, 개방형 또는 폐쇄형 흡인 이후 시간에 따른 심박동수는 개방형 흡인술의 경우, 대상자의 평균 심박동수(회/분)는 흡인 전 77.52 ± 15.38 에서 흡인 1분 후 83.57 ± 15.69 로 증가하였다가 점차 감소하여 10분 후에는 78.14 ± 16.37 이었다. 폐쇄형 흡인술의 경우에도 흡인 전 80.33 ± 15.88 에서 흡인 1분 후 84.00 ± 16.03 으로 증가한 후 점차 감소하여 10분 후에는 80.52 ± 16.57 이었다. 심박동수에 대한 흡인 유형과 시간의 상호작용 효과는 통계적으로 유의하였고($F=3.39, p=.026$), 시간의 주효과($F=2.74, p=.053$)와 흡인 유형의 주효과는 통계적으로 유의하지 않았다($F=2.58, p=.124$). 각 시점별로 두 방법 간 대응별 다중비교를 한 결과, 심박동수는 흡인 전 시점에 개방형 흡인($M=77.53, SE=3.36$)에서 폐쇄형 흡인($M=80.33, SE=3.47$)보다 유의하게 더 낮았지만($F=6.15, p=.022$) 이후부터는 유의한 차이가 없었다. 추가적으로, 흡인 전 측정값을 기준으로 흡인 후 각 시점별로 심박동수 변화량을 개방형과 폐쇄형 흡인 간에 비교한 결과, 흡인 1분 후 시점($t=2.43, p=.025$)에는 개방형 흡인에서 변화량이 유의하게 더 컸으나, 그 외에는 유의한 차이가 없었다($t=0.48\sim1.80, p>.05$ for all).

논 의

본 연구는 개방형 또는 폐쇄형 흡인이 인공호흡기 치료를 받는 성인 중환자의 폐기능과 저산소혈증에 미치는 영향을 비교하고자 시도되었다. 먼저, 인공호흡기 치료를 받는 성인 중환자에서 동적 폐유순도는 개방형과 폐쇄형 기도 내 흡인 모두에서 흡인 전후 간 유의한 변화가 없었으며, 두 흡인방법 간에도 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 성인 환자에서 동적 폐유순도는 폐쇄형 흡인 후에는 큰 변화가 없었으나 개방형 흡인 후에는 감소하였다는 선행 연구[17,18]와 차이를 보였다. 이러한 차이의 원인으로는 주로 호기말 양압이 높은 환자를 대상으로 한 선행 연구와 달리, 본 연구에서는 대상자를 호기말 양압이 $8\text{cmH}_2\text{O}$ 미만인 자로 국한하였기때문으로 추측된다. 이와 같이 호기말 양압이 높을 경우에는 흡인 유형과 관계없이 기관 내 흡인 자체로 인해 폐포 허탈

이 발생하여 동적 폐유순도를 감소시켰을 가능성을 고려해 볼 수 있겠으며, 이에 대해서는 추후 연구를 통해 확인해 보는 것이 필요 하겠다.

둘째, 일회호흡량에 대해서는 흡인방법과 시간의 상호작용 효과는 없었지만, 흡인방법의 주효과는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타나, 인공호흡기 적용 대상자가 폐쇄형 흡인을 받을 경우, 일회호흡량은 개방형 흡인에 비하여 흡인 전 기준시점부터 흡인을 시행 받은 후까지 지속적으로 유의하게 낮았다는 점을 알 수 있었다. 또한, 시간의 주효과도 유의하지 않아, 흡인 전후 일회호흡량의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 구체적인 변화 양상을 보면, 개방형 흡인에서는 흡인 전 450mL에 비해 흡인 후 10분까지 큰 변화가 없었으나, 폐쇄형 흡인에서는 흡인 전 411mL에 비해 흡인 2분 후 396mL로 약간 감소하였다가 이후부터 점차 회복하는 것으로 나타났다. 이는 압력조절 인공호흡기를 사용하는 환자의 일회호흡량은 폐쇄형 흡인 이후 2분 동안 감소하였다가 5분 후에 회복되었다는 선행 연구와 일부 유사하였다[27]. 그러나 일회호흡량은 개방형 흡인 이후 30분이 경과한 시점에도 27% 가량 감소되어 회복되지 않았다는 선행 연구[15]와는 차이를 보였는데, 이러한 차이의 원인으로서는 선행 연구와 달리 본 연구에서는 폐 보호 전략의 일환으로 압력조절 인공호흡기의 흡기압을 8mL/kg 이하로 낮게 설정하였기 때문에 일회호흡량이 더 빨리 회복된 것으로 추측된다.

셋째, 개방형 흡인술과 폐쇄형 흡인술 이후 기도저항의 차이를 분석한 결과, 흡인방법과 시간의 상호작용 효과는 없었지만 흡인방법의 주효과는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타나, 일회호흡량과 유사한 패턴을 보였다. 또한, 시간의 주효과도 유의하지 않아, 흡인 전후 기도저항의 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 인공호흡기 적용대상자가 폐쇄형 흡인을 시행 받을 경우, 개방형 흡인을 받을 때보다 흡인 전 기준시점부터 기도저항이 더 높았고, 높았던 기도저항은 흡인 후에도 지속적으로 높게 유지되었다는 점을 제시하는 것이다.

이러한 본 연구 결과는 일반적으로 흡인 후 기대 결과인 일회호흡량의 증가와 기도저항의 감소[8]와 차이를 보였으며, 급성 폐손상을 받은 성인 환자에서 개방형, 폐쇄형 흡인 후 기도저항이 오히려 증가하였던 결과와도 차이를 보였다[18]. 본 연구에서 흡인 이후 기도저항이 감소되지 않았던 점은 1회의 기관 내 흡인으로 제거되는 분비물의 양이 많지 않았기 때문으로 생각되며, 기도저항이 증가하지 않았던 점은 선행 연구[18]보다 더 낮은 흡인압력을 이용하여 더 짧은 시간 동안 흡인을 시행하였기 때문에 흡인으로 인한 기관지축이 유발되지 않았기 때문으로 추측된다. 따라서, 흡인 가이드라인에서 제시하는 바와 같이 10-15초간 150mmHg 이하의 압력으로 흡인을 적용할 경우 개방형과 폐쇄형 흡인 모두에서 흡인으로 인한

기도저항의 증가를 예방할 수 있을 것으로 보이며, 기관 내 분비물이 많지 않을 경우 기관 내 흡인은 기도저항 감소에 큰 도움이 되지 않을 것으로 보인다.

특히, 본 연구에서 대상자의 일회호흡량과 기도저항이 흡인 시행 전 기준 시점부터 두 흡인방법 간에 유의한 차이가 있었던 점에 주목해 볼 필요가 있다. 폐쇄형 흡인은 개방형 흡인에 비해 흡인 시행 이전에 이미 일회호흡량은 39 mL 가량 낮았고, 기도저항은 6.6cmH₂O/L/sec 가량 높았다. 이는 본 연구자들도 연구를 시작하기 전에는 예상하지 못하였고, 선행 연구에서도 찾아볼 수 없는 결과였다. 본 연구에서는 교차실험설계를 이용하여 동일한 대상자가 시간차를 두고 두 가지 흡인법을 모두 받은 후 그 결과값을 서로 비교하였고, 통계분석을 통해 처치의 이월효과가 없음을 확인하였기 때문에 이러한 차이는 두 흡인법 간의 차이로 인해 발생한 것으로 파악된다. 그 원인은 명확하지는 않으나, 아마도 카테터 세척용액이 기도로 흡인되거나 카테터가 기관내관 안쪽으로 들어가는 것을 예방하기 위한 목적으로 최근에 개발된 폐쇄형 카테터의 잠금장치(Isolation valve) [28]로 인해서 공기 흐름에 대한 기도저항이 증가하고 상대적으로 일회호흡량이 함께 감소되었을 가능성을 추측해 볼 수 있겠다. 본 연구에서 사용된 폐쇄형 흡인 카테터는 2009년도에 Vitaltec 회사에서 개발되어 기존에 사용하던 폐쇄형 흡인 카테터 보다 세척 시 안전하게 사용 되도록 보완된 것으로 [28], 대부분의 중환자실에서 흔히 사용하고 있는 모델로 파악되었다. 따라서, 폐쇄형 카테터의 영향에 대해 추가 연구를 통해 충분한 검증이 필요하겠다.

넷째, 산소포화도는 흡인방법과 시간의 상호작용 효과가 유의한 것으로 나타나, 개방형 흡인과 폐쇄형 흡인 간에 흡인 전후 시간에 따른 산소포화도에 차이가 있으며, 그 변화량은 폐쇄형 흡인에서 더 큰 것으로 확인되었다. 산소포화도는 폐쇄형 흡인에서는 흡인 전 97.4%에서 흡인 1분 후 99.5%, 이후 97% 이상을 유지하였고, 개방형 흡인에서도 흡인 전 97.9%에서 흡인 1분 후 98.8%, 이후 계속 97% 이상을 유지하는 것으로 나타났다. 비록 폐쇄형 흡인이 개방형 흡인에 비해 흡인 전 시점과 흡인 1분 후 시점에 산소포화도가 유의하게 높았지만, 개방형 흡인 이후에도 산소포화도는 정상수치인 97% 이상을 유지하였기 때문에 임상적으로는 유의미한 차이가 없을 것으로 보인다.

이 결과는 개방형 흡인과 폐쇄형 흡인 이후 산소포화도를 비교하였을 때 과산소화 전처치를 시행한 후 개방형 흡인을 시행하였을 때 산소포화도가 안정적이었던 선행 연구 [12]를 지지하였으나, 개방형 흡인은 폐쇄형 흡인에 비해 산소포화도의 변화가 더 심했고 [10], 개방형 흡인술 5분 후에도 산소포화도가 회복되지 못하였다는 선행 연구 [11]와는 차이를 보였다. 이러한 차이는 선행 연구에서 흡인 이전에 과산소화와 과팽창을 제공하지 않거나 [12] 인공호흡기

의 100% 산소제공 기능을 이용하지 않고 앰부 백을 이용하여 과산소화 처치를 하였기 때문에 일회호흡량이나 흡입 산소 농도를 일관되게 제공하기 어려웠기 때문에 발생한 것으로 보인다 [29].

다섯째, 흡인 전후 심박동수에 대한 흡인법과 시간의 상호작용 효과가 유의하게 나타나 흡인 전후 시간에 따른 심박동수에 차이가 있으며, 그 변화량은 개방형 흡인에서 더 크다는 점을 알 수 있었다. 개방형과 폐쇄형 흡인 모두에서 심박동수는 흡인 1분 후에 4-6 회/분 정도 급격히 상승하였다가 2분 후부터 차츰 감소하는 경향을 보였다. 이는 개방형, 폐쇄형 흡인술 모두에서 흡인 직후 심박동수가 높게 상승하였다가 3분 후부터는 기준선으로 회복되었고 [29], 두 흡인술 모두에서 흡인 후 심박동수가 증가하였지만 개방형 흡인에서 그 차이가 더 컸던 선행 연구 [11]와 유사하였다. 이와 같이 개방형 흡인에서 심박동수가 더 많이 증가하였던 점은 개방형 흡인 시 인공호흡기의 분리 동안 기관내관의 조작과 함께 흡인 카테터가 기도를 자극했을 가능성 또는 산소포화도 감소에 대한 신체적 보상 반응으로 추측해 볼 수 있겠다. 그러나 두 흡인술 간 심박동수의 차이는 각 시점 별로 최대 3회/분 이내인 것으로 확인되어, 심박동수에 대한 두 흡인술의 차이는 임상적으로 크지 않을 것으로 보인다.

흡인 전 시점의 심박동수도 폐쇄형 흡인(평균 80회/분)에서 개방형 흡인(평균 77회/분)보다 유의하게 높았다. 폐쇄형 흡인의 경우 흡인 카테터가 인공호흡기 연결관에 지속적으로 삽입된 채로 유지하게 되는데, 삽입된 카테터의 무게로 인하여 환자들이 불편감을 경험하고 이로 인해 심박동수가 증가하였을 가능성을 추측해 볼 수 있겠다.

본 연구의 제한점으로는 대상자 선정에 있어 호기말 양압(PEEP)이 8cmH₂O 이상인 환자를 제외하였다는 점을 들 수 있다. 인공호흡기 환자의 기도 내 흡인 가이드라인에 따르면, 높은 호기말 양압과 흡입산소농도를 적용받는 환자에서는 인공호흡기를 분리할 때 폐포 허탈의 가능성 때문에 주의하도록 권고하고 있다 [8]. 비록 본 연구에서는 윤리적으로 대상자 보호를 위하여 호기말 양압이 8cmH₂O 이상인 환자를 제외하였지만, 앞으로 다양한 호기말 양압을 적용받는 환자들을 대상으로 반복 연구를 조심스럽게 수행하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 결과 변수를 측정함에 있어서, 흡인을 시행하는 도중에는 결과 변수 값을 측정할 수 없었다는 점을 들 수 있다. 본 연구에서는 인공호흡기 모니터에 나타나는 값으로 결과 변수를 측정하였기 때문에 개방형 흡인에서 환자로부터 인공호흡기를 분리하는 동안 동적 폐유순도, 일회호흡량, 기도저항을 측정할 수 없었고, 모니터 값이 안정되게 제시되는 흡인 후 1분 시점부터 측정하였다. 추후 다양한 생리학적 지표와 측정방법을 이용하여 흡인 도중에 발생하는 부작용을 확인하는 것이 필요하겠다.

결론

본 연구는 개방형 흡인술과 폐쇄형 흡인술이 인공호흡기 치료를 받는 성인 중환자의 폐기능(동적 폐유순도, 일회호흡량, 기도저항)과 저산소혈증(산소포화도, 심박동수)에 미치는 영향을 비교하였다. 연구 결과, 흡인 후 폐기능의 변화, 즉 동적폐유순도, 일회호흡량, 기도저항의 변화에 미치는 영향은 개방형과 폐쇄형 흡인 간에 유의한 차이가 없었고, 저산소혈증, 즉 산소포화도, 심박동수에 미치는 영향은 개방형과 폐쇄형 흡인 간에 유의한 차이가 있었지만 임상적으로 유의미한 큰 차이는 없었다. 그러나 흡인 전인 기준시점에 폐쇄형 흡인은 개방형 흡인보다 유의하게 낮은 일회호흡량과 산소포화도, 높은 기도저항과 심박동수를 나타내었다.

따라서, 압력조절 인공호흡기 치료를 받는 성인 환자에서 고농도의 산소나 높은 호기말 양압을 적용받지 않을 경우에는 개방형 흡인이 폐쇄형 흡인에 비해 저산소혈증의 부작용이 크지 않고 폐기능 측면에서는 오히려 양호한 결과를 보여주었기 때문에, 이러한 합병증 측면에서 해당조건을 가진 대상자에게는 개방형 흡인을 시행할 것을 조심스럽게 권장할 수 있겠다. 기존 흡인 가이드라인에서는 인공호흡기를 분리하지 않고 흡인을 시행하는 것이 바람직하다는 권고안을 제시하고 있으므로[8] 추후 충분한 반복 연구와 검증을 통해서 실무 가이드라인을 수정하거나 갱신하는 것이 필요할 것으로 보인다.

본 연구를 기반으로 추후 연구를 제안한다. 폐쇄형 흡인술은 용적조절 인공호흡기에서 더 많은 잠재적 부작용을 나타낼 가능성을 배제할 수 없으므로[12], 용적조절 인공호흡기 대상자에서 개방형과 폐쇄형 흡인술이 폐기능과 저산소혈증에 미치는 영향에 대한 추가 연구를 제안한다. 또한, 흡인 전 시점에 폐쇄형과 개방형 흡인 간에 일회호흡량, 기도저항, 산소포화도, 심박동수의 차이가 발생한 원인을 찾아내고, 특히 폐쇄형 흡인 카테터의 영향을 확인하는 것이 필요하겠다.

REFERENCES

1. Ahn YM. Concept analysis of endotracheal suctioning (ETS). *Journal of Korean Academy of Nursing*. 2005;35(2):292-302.
2. Rolls K, Smith K, Jones P, Tuipulotu M, Butcher R, Kent B, et al. Suctioning an adult with a tracheal tube. Sydney, AU: NSW Health State-wide Guidelines for Intensive Care; 2007.
3. Seo MS. A comparison of the open versus closed-system of suctioning in oxygen: In oxygen saturation, vital signs and nursing time [master's thesis]. Seoul: Chung-Ang University; 2006.
4. Clochesy JM, Breu C, Cardin S, Whittaker AA, Rudy EB. *Critical care nursing*. 2nd ed. Philadelphia, PA: W. B. Saunders Company; 1996.

5. Lee ES, Kim SH, Kim JS. Effects of a closed endotracheal suction system on oxygen saturation, ventilator-associated pneumonia, and nursing efficacy. *Journal of Korean Academy of Nursing*. 2004;34(7):1315-1325.
6. Lasocki S, Lu Q, Sartorius A, Fouillat D, Remerand F, Rouby JJ. Open and closed-circuit endotracheal suctioning in acute lung injury: Efficiency and effects on gas exchange. *Anesthesiology*. 2006;104(1):39-47.
7. Heinze H, Sedemund-Adib B, Heringlake M, Gosch UW, Eichler W. Functional residual capacity changes after different endotracheal suctioning methods. *Anesthesia and Analgesia*. 2008;107(3):941-944. <http://dx.doi.org/10.1213/ane.0b013e3181804a5d>
8. American Association for Respiratory Care. AARC clinical practice guidelines. Endotracheal suctioning of mechanically ventilated patients with artificial airways 2010. *Respiratory Care*. 2010;55(6):758-764.
9. Stenqvist O, Lindgren S, Kárason S, Söndergaard S, Lundin S. Warning! Suctioning. A lung model evaluation of closed suctioning systems. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 2001;45(2):167-172.
10. Cereda M, Villa F, Colombo E, Greco G, Nacoti M, Pesenti A. Closed system endotracheal suctioning maintains lung volume during volume-controlled mechanical ventilation. *Intensive Care Medicine*. 2001; 27(4):648-654.
11. Cho YA. Effect on oxygen saturation, heart rate, mean arterial pressure as type of endotracheal suctioning system to patients are ventilated in intensive care unit [master's thesis]. Seoul: Yonsei University; 2007.
12. Fernández MD, Piacentini E, Blanch L, Fernández R. 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 Medicine*. 2004;30(12):2210-2215. <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-004-2458-3>
13. Kim MS, Ahn YM, Park IO, Choi SJ, Yoo MY. The effects of open endotracheal suctioning (ETS) and close ETS on oxygen saturation and heart rate in premature infants with respiratory distress syndrome. *Journal of Korean Academy of Nursing*. 1998;28(3):529-539.
14. Almgren B, Wickerts CJ, Heinonen E, Högman M. Side effects of endotracheal suction in pressure- and volume-controlled ventilation. *Chest*. 2004;125(3):1077-1080.
15. Morrow B, Futter M, Argent A. Effect of endotracheal suction on lung dynamics in mechanically-ventilated paediatric patients. *The Australian Journal of Physiotherapy*. 2006;52(2):121-126.
16. Kim DS. *Clinical respiratory physiology*. Seoul: Korea Medical Book Publisher; 1997.
17. Maggiore SM, Lellouche F, Pigeot J, Taille S, Deye N, Durmeyer X, et al. Prevention of endotracheal suctioning-induced alveolar derecruitment in acute lung injury. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2003;167(9):1215-1224. <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.200203-195OC>
18. Lindgren S, Almgren B, Högman M, Lethvall S, Houltz E, Lundin S, et al. Effectiveness and side effects of closed and open suctioning: An experimental evaluation. *Intensive Care Medicine*. 2004;30(8):1630-1637. <http://dx.doi.org/10.1007/s00134-003-2153-9>
19. Campbell RS, Davis BR. Pressure-controlled versus volume-controlled ventilation: Does it matter? *Respiratory Care*. 2002;47(4):416-424.
20. Jun JH. New modes of mechanical ventilation. *The Journal of Korean Association for Respiratory Care*. 2010;7(1):43-50.
21. Weil J, Bettstetter H. Indications for the use of closed endotracheal suc-

- tion. Artificial respiration with high positive end-expiratory pressure. *Der Anaesthesist*. 1994;43(6):359-363.
22. Drägerwerk AG & Co. KGaA. Evita 4 edition: Excellent performance and reliability. Lübeck, DE: Author; 2010.
23. Koninklijke Philips Electronics N.V. Intellivue patient monitor MP20: Patient monitoring. Amsterdam, NL: Author; 2003.
24. Marino PL. The ICU book. 3rd ed. Department of Anesthesiology and Pain Medicine Yonsei University College of Medicine, translator. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
25. Wellek S, Blettner M. On the proper use of the crossover design in clinical trials: Part 18 of a series on evaluation of scientific publications. *Deutsches Arzteblatt International*. 2012;109(15):276-281. <http://dx.doi.org/10.3238/arztebl.2012.0276>
26. Tabachnick BG, Fidell LS. Profile analysis of repeated measures. In: Tabachnick BG, editor. *Using multivariate statistics*. New York, NY: Harper Collins Publishers Inc.; 1989. p. 437-505.
27. Seymour CW, Cross BJ, Cooke CR, Gallop RL, Fuchs BD. Physiologic impact of closed-system endotracheal suctioning in spontaneously breathing patients receiving mechanical ventilation. *Respiratory Care*. 2009;54(3):367-374.
28. Vitaltec Corporation. Vital-Cath™ closed suction systems. [Internet] Taichung, Taiwan: Author 2013 [cited 2013 January 3]. Available from: <http://www.vitaltec.com.tw/products.php?ProType=About&ProID=1>.
29. Oh H, Seo W. A meta-analysis of the effects of various interventions in preventing endotracheal suction-induced hypoxemia. *Journal of Clinical Nursing*. 2003;12(6):912-924.