

기관 흡인방법에 따른 외과계 중환자실의 환경오염 수준에 미치는 영향

김 기 숙

분당제생병원 감염관리실

Impact of Environmental Contamination Level According to the Endotracheal Suction System in Surgical Intensive Care Unit: A Comparison of Open and Closed System

Ki Sook Kim

Infection Control Office, Bundang Jesaeng General Hospital, Seongnam, Korea

Background: This study was conducted to evaluate the level of environment contamination before and after endotracheal suctioning using an open or closed suction system in mechanically ventilated patients.

Methods: The subjects of this study included 60 patients who were mechanically ventilated from December 2016 to May 2017. Before and after application of an open or closed suction system, blood agar plates (BAPs) were placed 50 cm and 100 cm from the suction port and exposed for 30 minutes. The number of colonies in the BAP culture media was measured.

Results: There was a significant difference in the number of colonies on BAPs exposed before and after applying the open suction system at distances of 50 cm (1st; $P=0.002$, 2nd; $P\leq 0.001$) and 100 cm (1st; $P=0.040$, 2nd; $P\leq 0.001$) on both the first day and second day. There was a significant difference in the number of colonies on BAPs exposed before and after applying the closed suction system at the distance of 100 cm ($P=0.009$) on the first day and at the distance of 50 cm ($P=0.043$) on the second day. When the open suction system was applied, it was confirmed that the number of colonies was higher after than before suction.

Conclusion: The closed suction system is more effective in reducing environmental contamination in hospitals.

Keywords: Environmental contamination, Suction

Introduction

1. 연구 배경

인공호흡기를 적용하기 위해 기관 내 삽관

(endotracheal intubation)을 하게 되면 기도의 섬모 운동과 기침반사의 장애로 분비물의 이동을 약화시켜 자연적인 분비물 배출이 힘들어지게 되므로 기도를 청결히 하고 폐포환기를 증가시키기 위해서 기관 흡인(endotracheal suction)이 필수적이다[1].

기관 흡인은 중환자실의 주요 간호행위로 효과적 기침과 가래제거능력이 저하된 환자에게 기관 내 분비물을 제거하여 기도의 개방을 유지하려는 목적으로 행하여진다[2].

기관 흡인은 감염의 전파의 심각한 문제가 있

Received: July 3, 2017

Revised: July 27, 2017

Accepted: August 11, 2017

Correspondence to: Ki Sook Kim, Infection Control Office, Bundang Jesaeng General Hospital, 20 Seohyeon-ro, 180beon-gil, Bundang-gu, Seongnam 13590, Korea

Tel: 031-779-6520, Fax: 031-779-0617

E-mail: rioriorio@naver.com

으며, 개방형(open-system)과 폐쇄형(closed-system)의 두 가지 방법을 사용한다. 개방형 흡인은 흡인을 위해 환자와 인공호흡기의 연결관을 분리한 후 흡인하는 전통적 방법이며, 폐쇄형 흡인은 환자의 기관 내 삽관 튜브와 인공호흡기의 연결을 유지한 채 흡인하는 방법으로 비교적 새로운 방법이다[3,4].

폐쇄형 흡인의 장점은 저산소증 감소, 편안감 증가, 불안 감소, 감염 통제 등의 장점이 있고, 단점으로는 흡인 효과의 감소, 자가 오염 등이 있다[5]. 인공호흡기를 분리하고 흡인을 하는 개방형 흡인은 폐쇄형 흡인에 비해 분비물을 더 많이 제거할 수 있는 반면[6], 분비물이 주변 환경으로 퍼져 환자와 환경오염의 노출을 야기시킬 수 있다. 또한 폐쇄형 흡인의 경우는 흡인하는 동안 의료진과 다른 환자들에게 감염의 전파위험과 환경오염을 감소시킴으로써[7] 환경오염을 제한하고 인공호흡기 관련 폐렴발생 위험을 줄이는 것으로 알려져 있다[8].

병원체는 환경으로 배출되면, 흔히 알고 있는 것보다 훨씬 오래 살아남는 속성이 있다[9]. 메티실린 내성 황색 포도알균(methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, MRSA)과 반코마이신 내성 장알균(vancomycin-resistant enterococci, VRE), *Clostridium difficile*, 다약제 내성 그람 음성균(multidrug-resistant gram negative bacteria, MDR-GNB), norovirus 등은 병원 내 환경 어디에서라도 서식할 수 있기 때문에 병원 내 환경의 청결 강화는 매우 중요하다[10].

중환자실에서 발생하는 의료관련 감염은 환자가 가지고 있던 정상 균 무리에 의한 것이 40-60%, 의료인의 손에 의한 교차 감염이 20-40% 정도로 대부분을 차지한다[11]. 따라서 지금까지는 요로감염, 폐렴, 수술부위감염과 혈관카테터 관련 혈류감염 등이 주요 의료관련감염의 감시 내용이었다. 그러나 병원균에 오염된 병원환경이 감염전파와 연관이 있다는 보고가 많으며, 병원 환경의 오염도가 높을수록 의료종사자의 가운과 장갑의 다제내성균의 오염이 많고[12], 심지어 병원감염과 관련이 많은 VRE, *Acinetobacter* spp.의 공기전파도 알려져 있다[13].

박테리아, 진균, 바이러스는 의료관련 시설에

서 감염의 원인이 된다. 물, 공기, 환경표면은 미생물의 병원소 역할을 하고 *Legionella* spp.와 *Pseudomonas aeruginosa*는 종종 의료기관의 물에서 발견되고 인플루엔자나 그 외 다른 바이러스는 공기로도 전파된다[14]. 그러므로 병원환경 관리의 의료관련감염을 줄이는데 효과적이라고 할 수 있고, 지금까지는 미흡했던 병원환경 부분에 대해서도 좀 더 관심이 필요하다고 생각한다.

국외의 경우 흡인유형에 따른 임상효과를 파악하기 위하여 심혈관계 및 호흡기계와 관련된 생리학적 지표와 인공호흡기 관련 폐렴, 균집락화와 교차 감염 등 감염관련 지표에 대한 다양한 연구가 시행되었으며, 폐쇄형 흡인이 호흡기의 미생물 집락의 위험을 유의하게 증가시키지 않았고 개방형 흡인과 비교하여 병원성 폐렴 발생률의 명백한 차이가 없었으며 환경오염을 줄일 수 있다는 연구결과로[15,16] 폐쇄형 흡인의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 그러나 개방형 흡인 방법에 비해 폐쇄형 흡인방법의 효과가 우수한 것으로 확인된 생리학적 지표와는 다르게 감염 관련 지표 등에 있어서는 아직까지도 논란의 여지가 있다[17].

그러므로 지금까지는 기관 흡인방법으로 인한 병원환경 오염 수준에 대한 국내연구가 매우 부족하여 임상적용의 근거자료가 거의 없는 실정이다. 어떤 기관 흡인방법이 병원환경 오염방지에 더 적절한지 그 효과를 확인할 필요가 있다.

병원환경의 오염 수준을 측정하는 방법은 공기채집과 배지가 있는 접시를 사용하는 두 가지 방법이 있고 감염으로부터 환경의 오염을 평가하는데 사용할 수 있다. 공기채집 방법은 액체나 고체배지가 있는 배지에 미생물 입자를 모을 수 있는 미생물 공기채집기를 사용하고 공기의 CFU (colony forming units)/m³로 나타낸다. 배지가 있는 접시를 사용하는 방법은 Petri 접시를 이용하여 미생물 입자를 모으기 위해 주어진 시간 동안 공기 중에 배지를 노출시킨다. 결과는 CFU/plate/time 또는 CFU/m²/hour로 나타낸다[18].

이에 본 연구는 기관 흡인방법에 따른 병원환경의 오염 수준을 확인하고, 오염 수준이 적은 방법으로 적용할 근거를 제시하기 위함이다.

2. 연구 목적

본 연구는 인공호흡기 사용 환자에게 개방형 또는 폐쇄형 기관 흡인방법을 적용하고 적용방법에 따른 병원환경의 오염 수준을 분석하여 임상적용에 필요한 기초자료를 제시하는데 있다.

Materials and Methods

1. 연구 설계

본 연구는 외과계 중환자실에 입실하여 인공호흡기를 적용하고 개방형 흡인방법을 적용한 환자를 실험군으로 하고 폐쇄형 흡인방법을 적용한 환자를 대조군으로 하여 기관 흡인을 적용한 시점의 전과 후에 BAP 배지의 집락수로 환경오염 수준을 평가하는 실험연구이다.

2. 연구 대상

본 연구는 2016년 12월부터 2017년 5월까지 G시 소재 B종합병원의 외과계 중환자실에 입실하여 인공호흡기를 적용하고 입실 전 호흡기 감염이 없는 환자를 대상으로 하였으며 대상자 선정은 G*Power 3.1 프로그램을 이용하여 Student's *t*-test 분석에 필요한 적정수의 표본크기를 계산하였다. 효과크기(d)=0.8, 유의수준(α)=0.05, 검정력($1-\beta$)=0.80로 산출한 결과 총 52명이 필요한 것으로 나타났으나 탈락률을 고려하여 총 60명으로 연구대상을 정하였고 실험군과 대조군을 각각 30명을 배정하였다.

3. 자료수집 방법

본 연구는 B 종합병원의 연구윤리위원회의 승인(IRB 승인번호: RN16-03)을 받았고, 부서의 합의를 얻어 시행하였다. 연구 중재에 참여한 간호사들에게 연구의 목적과 방법에 대해 설명하고 협조를 구했다. 연구는 중환자실 간호 관리자 1명, 중환자실 경력 3년 이상의 간호사 3명으로 구성하였다. 인공호흡기 적용 순서에 따라 실험군과 대조군을 교대로 배정하였고 입실 시 대상자들의 동질성 검증을 위해 성별, 나이, 진료과, 증상 유무 등을 조사하였다. 시간의 경과에 따른 병원환경의 오염 수준이 증가하는지를 확인하기

위해 인공호흡기를 적용한 1일째와 2일째에도 각각 같은 흡인방법을 시행하였다. 실험군은 인공호흡기를 분리하고 흡인카테터를 기관 내관에 삽입하여 100-120 mmHg의 음압으로 15초 이내 무균적으로 1회 기관 흡인을 시행하였고, 대조군은 기관 내 삽관 튜브와 인공호흡기의 회로와 같이 연결된 Ballard사에서 1994년에 제작한 in-line 카테터를 이용하여 폐쇄형 흡인방법으로 1회 기관 흡인을 하였다. 각각 기관 흡인 적용 전과 후 시점에 BAP 배지를 suction port로부터 각각 50 cm, 100 cm 떨어진 위치에 놓아두고 30분 동안 노출시켰다. 각각 30분 동안 노출시킨 BAP 배지를 37°C 48시간 동안 배양 후 집락수로 비교 분석하였다.

4. 분석방법

대상자들의 일반적 특성과 증상들은 빈도와 백분율로 분석하였고, 두 집단의 동질성검증은 χ^2 로 분석하였다. 개방형과 폐쇄형 흡인방법의 효과 검증은 Student's *t*-test를 사용하였다. 수집된 자료는 Statistical Package for Social Science 18.0 for window를 이용하였으며 통계적 유의성은 유의수준 5%하에서 판단하였다.

Results

1. 대상자의 일반적 특성 및 동질성 검증

연구대상자의 일반적 특성을 분석한 결과 실험군은 남자 22명(73.3%), 여자 8명(26.7%)이었고, 대조군은 남자 19명(63.3%), 여자 11명(36.7%)이었다. 연구대상자 총 60명 중 두 군 모두에서 신경외과 환자가 각각 18명(60.0%), 16명(53.3%)으로 가장 많았다.

두 군의 동질성 검증은 성별, 나이, 진료과, 증상 유무 등에서 두 군간에 통계적으로 유의한 차이가 없어 두 군간 동질한 것으로 나타났다(Table 1).

2. 두 흡인방법으로 인한 시간경과에 따른 병원환경 오염 수준

개방형 또는 폐쇄형 흡인방법을 1일째와 2일째에 같은 방법으로 적용하고, 기관 흡인을 적용하기 전과 후의 집락수를 합한 총 개수(CFU/m²/h)

Table 1. Homogeneity test for general characteristic of participants (N=60)

Characteristics	Categories	System N (%)		χ^2	P
		Open	Close		
Gender	Male	22 (73.3)	19 (63.3)	0.693	0.405
	Female	8 (26.7)	11 (36.7)		
Age (year)	≥29	1 (3.3)	1 (3.3)	0.421	0.999
	30-39	1 (3.3)	1 (3.3)		
	40-49	7 (23.3)	6 (20.0)		
	50-59	5 (16.7)	5 (16.7)		
	60-69	8 (26.7)	7 (23.3)		
	70-79	6 (20.0)	7 (23.3)		
	80≤	2 (6.7)	3 (10.0)		
Department	NS	18 (60.0)	16 (53.3)	0.429	0.934
	GS	4 (13.3)	5 (16.7)		
	CS	6 (20.0)	6 (20.0)		
	Others	2 (6.7)	3 (10.0)		
BT>38°C, <36°C	Yes	9 (30.0)	7 (23.3)	0.341	0.559
	No	21 (70.0)	23 (76.7)		
WBC≥12,000 ≤4,000	Yes	17 (56.7)	16 (53.3)	0.067	0.795
	No	13 (43.3)	14 (46.7)		
PaO ₂ /FiO ₂ ≤240	Yes	8 (26.7)	7 (23.3)	0.089	0.766
	No	22 (73.3)	23 (76.7)		
Chest X-ray	Normal	7 (23.3)	5 (16.7)	0.417	0.519
	Abnormal	23 (76.7)	25 (83.3)		
Sputum					
Microorganism	Yes	3 (10.0)	2 (6.7)	0.218	0.640
Identification	No	27 (90.0)	28 (93.3)		

Table 2. Differences in the total bacterial count from BAP according to the day of the two suction system (N=60)

Day	M±SD (CFU/m ² /h)		t	P
	Open	Closed		
1st	57.23±122.32	1.22±3.67	3.546	0.001
2nd	82.80±158.45	1.28±3.96	3.984	<0.001

는 다음과 같다(Table 2). 1일째에 개방형 또는 폐쇄형 흡인방법으로 인한 총 집락수 개수는 각각 57.23±122.32, 1.22±3.67로 두 군간 유의한 차이가 있었다($t=3.546$, $P=0.001$). 2일째에 개방형 또는 폐쇄형 흡인방법으로 인한 총 집락수 개수는 각각 82.80±158.45, 1.28±3.96으로 두 군간 유의한 차이가 있었다($t=3.984$, $P\leq 0.001$). 개방형 흡인방법 적용 시에는 1일째보다는 2일째에 집락수가 다량 증가하였고, 폐쇄형 흡인방법 적용 시에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

3. 두 흡인방법으로 인한 거리에 따른 병원 환경 오염 수준

개방형 또는 폐쇄형 흡인방법을 적용한 전과 후 시점에 suction port로부터 거리 50 cm과 100 cm에 각각 놓아둔 BAP배지의 전과 후의 집락수를 합한 총 개수(CFU/m²/h)는 다음과 같다(Table 3). Suction port로부터 거리 50 cm에서 개방형 또는 폐쇄형 흡인방법으로 인한 총 집락수 개수는 각각 33.64±68.12, 0.53±1.87로 두 군간 유의한 차이가 있었다($t=5.322$, $P\leq 0.001$). Suction port로부터 거리 100 cm에서 개방형 또는 폐쇄형 흡인방법으로 인한 총 집락수 개수는 각각 36.38±78.85,

Table 3. Differences in the total bacterial count from BAP according to the distance of the two suction system (N=60)

Distance	M±SD (CFU/m ² /h)		t	P
	Open	Closed		
50 cm	33.64±68.12	0.53±1.87	5.322	<0.001
100 cm	36.38±78.85	0.72±2.59	4.951	<0.001

Table 4. Total bacterial count measured by BAP before and after tracheal suction (N=60)

Day	System	Sequence	M±SD (CFU/m ² /h)			
			50 cm	P	100 cm	P
1st	Open	Before	2.00±2.62	0.002	13.37±54.40	0.040
		After	46.60±72.28		52.50±85.74	
	Closed	Before	0.07±0.36	0.054	0.03±0.18	0.009
		After	1.13±2.88		1.20±2.26	
2nd	Open	Before	2.00±7.36	<0.001	1.10±2.46	<0.001
		After	83.97±94.29		78.53±106.09	
	Closed	Before	0.03±0.18	0.043	0.03±0.18	0.067
		After	0.90±2.23		1.60±4.50	

0.72±2.59로 두 군간 유의한 차이가 있었다($t=4.951$, $P\leq 0.001$).

4. 두 흡인방법의 전과 후 시점에 따른 병원환경 오염 수준

개방형 또는 폐쇄형 흡인방법을 적용하기 전과 후 시점에 따른 비교를 기관 흡인방법 적용 1일째와 2일째 그리고 suction port로부터 떨어진 거리로 분석한 집락수 (CFU/m²/h)는 다음과 같다 (Table 4). 1일째에 실험군은 기관 흡인 전과 후 시점에 suction port로부터 거리 50 cm ($P=0.002$), 100 cm ($P=0.040$)에서 각각 유의한 차이가 있었다. 대조군은 suction port로부터 거리 100 cm에서 기관 흡인 전과 후의 유의한 차이가 있었지만 ($P=0.009$), 50 cm에서는 유의한 차이가 없었다 ($P=0.054$). 2일째에 실험군은 기관 흡인 전과 후 시점에 suction port로부터 거리 50 cm ($P\leq 0.001$), 100 cm ($P\leq 0.001$)에서 각각 유의한 차이가 있었다. 대조군은 suction port로부터 거리 50 cm에서는 유의한 차이가 있었지만($P=0.043$), 100 cm에서는 유의한 차이가 없었다($P=0.067$).

Discussion

본 연구는 외과계 중환자실에 입실하여 인공 호흡기를 적용한 환자를 대상으로 개방형 또는 폐쇄형 흡인방법을 적용하고 흡인방법에 따른 병원환경 오염 수준을 BAP 배지의 집락수로 확인하기 위한 실험연구이다.

Cobley 등[8]의 연구에서는 환경오염의 가능성이 높은 중환자실에서 폐쇄형 흡인방법이 환경오염을 예방하고 이로 인해 인공호흡기 관련 폐렴발생의 위험을 감소시킨다고 하였으나 이런 장점이 증명되지 못했다고 하였다. 이에 본 연구는 두 흡인방법에 따른 병원환경 오염 수준을 파악하여 분석하였다.

본 연구에서는 두 흡인방법으로 인한 시간의 경과에 따른 집락수는 1일째 보다는 2일째가 더 많았다. 이는 시간이 경과함에 따라 병원환경 오염 수준이 증가할 수 있음을 보여준 결과로 생각한다. 하지만 Cobley 등[8]의 연구에서는 1일째의 집락수가 2일째 보다 많은 반대의 결과였다. 이 부분에 대해서는 Cobley 등[8]의 연구에서 따로 언급하지는 않았지만, 각 나라마다의 중환자실의 환기 교환 시설의 차이로 생각해 볼 수 있다. 하지만 개방형 흡인방법이 폐쇄형 흡인방법보다

집락수가 더 많은 것은 일치하는 연구결과였고 이는 기관 흡인 과정에서 인공호흡기를 분리하는 유무에 따른 결과로 생각한다. 또한 개방형 흡인방법은 환자의 기도를 오염시키거나 환자의 분비물이 공기 중으로 분무될 위험이 있어 직원의 감염 노출은 물론 주변환경 오염으로 인한 교차 감염의 위험도가 증가한다는 연구[19]의 내용을 증명한 결과로 생각한다.

개방형 흡인방법으로 거리에 따른 집락수는 Cobby 등[8]의 연구에서는 suction port로부터 거리 50 cm가 100 cm보다 집락수가 많았지만, 본 연구에서는 거리 100 cm가 50 cm보다 집락수가 더 많았다. 이는 suction port로부터 100 cm 떨어진 곳까지 병원환경 오염이 가능하다는 것을 보여준 결과이며 개방형 흡인방법을 사용했을 경우에는 폐쇄형 흡인방법보다 교차 감염의 가능성이 크다는 것을 보여준 결과로 생각한다. 또한 이는 Maggiore 등[20]의 연구에서도 개방형 흡인방법은 분비물이 주변 환경으로 퍼져 직원을 감염에 노출시킬 수 있다는 연구의 내용을 뒷받침할 수 있는 결과로 생각한다.

Creamer 등[21]의 연구에서도 MRSA 양성 환자가 있는 공간의 실내 공기에서 MRSA가 분리되었고 MRSA가 공기 중에 퍼져 다른 장소로의 전파가 가능하다는 연구처럼 개방형 흡인방법은 폐쇄형 흡인방법 보다 주변환경으로의 병원체 전파 가능성이 훨씬 높다고 생각한다.

두 흡인방법 중 폐쇄형 흡인방법을 적용한 1일째와 2일째에 각각 suction port로부터 거리 50 cm, 100 cm에서 기관 흡인 전과 후의 유의한 차이가 없었다. 이는 폐쇄형 흡인은 보호관에 싸여 있는 흡인관을 이용하므로 흡인 동안에도 인공호흡기를 지속적으로 연결할 수 있는 장점이 있어 생긴 결과로 생각한다.

본 연구의 결과를 종합해 보면 폐쇄형 흡인방법은 개방형 흡인방법 보다 병원환경의 오염 수준에 미치는 영향이 적음을 확인하였다. 임상에서는 두 흡인방법을 모두 사용 중이나 본 연구결과를 근거로 병원환경 오염측면에서 폐쇄형 흡인방법으로 기관 흡인을 적용 할 것을 제안 할 수 있을 것이다. 이상의 연구결과를 기반으로 추후 대상자를 확대한 반복연구를 제안한다.

Summary

배경: 본 연구는 인공호흡기를 적용한 환자에게 개방형 또는 폐쇄형 기관 흡인방법을 적용하기 전과 후의 병원환경 오염 수준을 평가하기 위하여 시행되었다.

방법: 2016년 12월부터 2017년 5월까지 인공호흡기를 적용한 60명을 대상으로 하였다. 개방형 또는 폐쇄형 흡인방법을 적용하기 전과 후 시점에 BAP 배지를 suction port로부터 거리 50 cm과 100 cm에 놓아두고 30분 동안 노출시켰다. BAP배지의 집락수를 측정하였다.

결과: 개방형 흡인방법을 적용한 1일째와 2일째 모두 suction port로부터 거리 50 cm, 100 cm에서 기관 흡인 전과 후의 유의한 차이가 있었다. 폐쇄형 흡인방법을 적용한 1일째에는 suction port로부터 거리 100 cm에서만 기관 흡인 전과 후의 유의한 차이가 있었고, 2일째에는 suction port로부터 거리 50 cm에서만 기관흡인 전과 후의 유의한 차이가 있었다. 개방형 흡인방법 적용 시에는 기관 흡인 전보다는 후에 집락수가 훨씬 많음을 확인하였다.

결론: 기관 흡인방법 중 폐쇄형 흡인방법이 병원환경의 오염전파를 감소시키는데 보다 효과적임을 확인하였다.

References

1. Lough MD, Doershuk CF, Stern RC. Pediatric respiratory therapy. 3rd ed, Chicago; Year Book Medical Publishers, 1985:148-91.
2. Simmons CL. How frequently should endotracheal suctioning be undertaken? Am J Crit Care 1997;6:4-6.
3. AARC clinical practice guideline. Endotracheal suctioning of mechanically ventilated adults and children with artificial airways. American Association for Respiratory Care. Respir Care 1993; 38:500-4.
4. Paul-Allen J, Ostrow CL. Survey of nursing practices with closed-system suctioning. Am J Crit Care 2000;9:9-17.

5. DePew CL, Noll ML. Inline closed-system suctioning: a research analysis. *Dimens Crit Care Nurs* 1994;13:73-83.
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;104:39-47.
7. Edita H, Jana N, Katarina B. Closed versus open suction system of the airways in the prevention of infection in ventilated patients. *Cent Eur J Nurs Midw* 2014;5:63-71.
8. Cobley M, Atkins M, Jones PL. Environmental contamination during tracheal suction. A comparison of disposable conventional catheters with a multiple-use closed system device. *Anaesthesia* 1991;46:957-61.
9. Dancer SJ. Controlling hospital-acquired infection: focus on the role of the environment and new technologies for decontamination. *Clin Microbiol Rev* 2014;27:665-90.
10. Yoo JH. The recent trend and perspective of infection control in the republic of Korea. *Korean J Nosocomial Infect Control* 2016;21:1-8.
11. Weinstein RA. Epidemiology and control of nosocomial infections in adult intensive care units. *Am J Med* 1991;91:179S-84S.
12. Morgan DJ, Rogawski E, Thom KA, Johnson JK, Perencevich EN, Shardell M, et al. Transfer of multidrug-resistant bacteria to healthcare workers' gloves and gowns after patient contact increases with environmental contamination. *Crit Care Med* 2012;40:1045-51.
13. Muzslay M, Moore G, Turton JF, Wilson AP. Dissemination of antibiotic-resistant enterococci within the ward environment: the role of air-borne bacteria and the risk posed by unrecognized carriers. *Am J Infect Control* 2013;41:57-60.
14. Schulster L, Chinn RY. Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). *MMWR Recomm Rep* 2003;52:1-42.
15. 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.
16. Topeli A, Harmanci A, Cetinkaya Y, Akdeniz S, Unal S. 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.
17. Lorente L, Lecuona M, Jiménez A, Mora ML, Sierra A. Tracheal suction by closed system without daily change versus open system. *Intensive Care Med* 2006;32:538-44.
18. Pasquarella C, Pitzurra O, Savino A. The index of microbial air contamination. *J Hosp Infect* 2000;46:241-56.
19. Blackwood B. The practice and perception of intensive care staff using the closed suctioning system. *J Adv Nurs* 1998;28:1020-9.
20. Maggiore SM, Iacobone E, Zito G, Conti C, Antonelli M, Proietti R. Closed versus open suctioning techniques. *Minerva Anesthesiol* 2002;68:360-4.
21. Creamer E, Shore AC, Deasy EC, Galvin S, Dolan A, Walley N, et al. Air and surface contamination patterns of meticillin-resistant *Staphylococcus aureus* on eight acute hospital wards. *J Hosp Infect* 2014;86:201-8.