Paramedical Sciences and Military Health
Volume 16, Number 4, 2022

Original Article

The Role of Airborne Bacteria-Carrying Particles in Contamination of Sterile Surfaces in the Operating Room and Coping Strategies: A Review Study

Mohammadreza Zarei[1,2], Melika Shahbazi[2], Mahdi Ghorbani[3], Saeed Babajani-Vafsi[4]*

[1] *Department of Surgical Technology, Faculty of Paramedical Sciences, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[2] *Department of Surgical Technology, Faculty of Nursing and Midwifery, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, Iran*
[3] *Department of Laboratory Sciences, Faculty of Paramedicine, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[4] *Department of Surgical Technology, Faculty of Paramedicine, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

Abstract

Introduction: Surgical site infection (SSI) is the most significant postoperative complication. The sources of microorganisms that cause SSIs in healthcare facilities are multifactorial in origin and they may be endogenous (e.g. patient's own normal skin flora) or exogenous (e.g. airborne bacteria-carrying particles [ABCPs]). The skin flora of patients is the direct source of contamination in only 2% of cases and remaining 98% of cases connected to ABCPs. Therefore, the current study tried to provide useful information for surgical team about the role of ABCPs in contamination of sterile surfaces in the operating room (OR); moreover, this study provided strategies to deal with it.

Methods and Materials: The present research was a descriptive study performed by review method. Data were collected by searching various databases including Science Direct, PubMed, Scopus, and Google scholar search engine.

Results: Surgical wound contamination (SWC) and SSI prevention depends on minimization of ABCPs. Hence, maintaining clear air in the OR by using the efficient ventilation systems, limiting traffic and opening doors and using of non-woven fabric instead of cotton fabric can maintain low ABCPs in the OR environment and they reduce the chances of infections by ABCPs transmission.

Discussion and Conclusion: Everyone on the surgical team is responsible for establishing and maintaining a sterile field by using sterile techniques to prevent SWC and SSI. The results of this review suggests that OR staff should be educated about routes of sterile field contamination by ABCPs to be able to prevent risk of SWC and incidence of SSI.

Keywords: Surgical Site Infection, Airborne Particles, Bacterial Contamination, Operating Room, Operating Room Nursing

*(Corresponding Author) Saeed Babajani-Vafsi, Department of Operational Room Technology, Faculty of Paramedical Sciences, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: saeedbabajani@ajaums.ac.ir

مقاله تحقیقاتی

مجله علوم پیراپزشکی و بهداشت نظامی
سال شانزدهم، شماره چهارم، ۱۴۰۰

نقش ذرات هوابرد ناقل باکتری در آلودگی سطوح استریل حاضر در اتاق عمل و راهکارهای مقابله با آن: مطالعه مروری

محمدرضا زارعی[۱،۲]، ملیکا شهبازی[۲]، مهدی قربانی[۳]، سعید باباجانی وفسی[۴*]

[۱] گروه تکنولوژی اتاق عمل، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ارتش، تهران، ایران
[۲] گروه تکنولوژی اتاق عمل، دانشکده پرستاری و مامایی، دانشگاه علوم پزشکی کاشان، کاشان، ایران
[۳] گروه علوم آزمایشگاهی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ارتش، تهران، ایران
[۴] گروه تکنولوژی اتاق عمل، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ارتش، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: عفونت موضع جراحی (SSI) مهم‌ترین عارضه بعد از عمل است. منابع میکروارگانیسم‌هایی که باعث بروز SSI در مراکز بهداشتی می‌شوند، از نظر منشأ چند عاملی هستند و ممکن است اندوژنوس (مثل فلور نرمال پوست بیمار) یا اگزوژنوس (مانند ذرات هوابرد ناقل باکتری [ABCPs]) باشند. پوست بیمار یک منبع اندوژنوس برای آلودگی و بروز عفونت محل جراحی محسوب می‌شود ولی تنها ۲ درصد از منابع آلودگی مستقیم را شامل می‌شود و ۹۸ درصد مابقی مربوط به ABCPs است. از این رو، مطالعه حاضر سعی دارد اطلاعات مفیدی در مورد نقش ABCPs در آلودگی سطوح استریل اتاق عمل (OR) و راهکارهای مقابله با آن، در اختیار تیم جراحی قرار دهد.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی بود که به روش مروری انجام شد. داده‌ها با جستجو در پایگاه‌های داده نظیر Science Direct، PubMed، Scopus و موتور جستجوی Google scholar جمع‌آوری شد.

یافته‌ها: پیشگیری از آلودگی زخم جراحی (SWC) و SSI به کاهش ABCPs در پایین‌ترین حد ممکن بستگی دارد. از این رو، حفظ هوای شفاف در OR با استفاده از سیستم‌های تهویه کارآمد، محدود کردن رفت و آمد و باز کردن درب‌ها و استفاده از پارچه‌های بافته نشده به جای پارچه نخی می‌تواند ABCPs را در محیط OR پایین نگه دارد و احتمال عفونت‌های ناشی از انتقال ABCPs را کاهش دهد.

بحث و نتیجه‌گیری: همه اعضای تیم جراحی مسئول ایجاد و نگهداری فیلد استریل با استفاده از تکنیک‌های استریل برای جلوگیری از SWC و SSI هستند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که کارکنان OR باید در مورد مسیرهای آلودگی فیلد استریل با ABCPs آموزش ببینند تا بتوانند از خطر SWC و بروز SSI جلوگیری کنند.

کلمات کلیدی: عفونت محل جراحی، ذرات هوابرد، آلودگی باکتریایی، اتاق عمل، پرستار اتاق عمل

مقدمه

امروزه عفونت‌های محل جراحی هزینه‌های زیادی را به سیستم‌های بهداشتی-درمانی تحمیل می‌کنند. بنابراین، یافتن روش‌هایی که بتواند بروز این عفونت‌ها را کاهش دهد هم برای ایمنی بیماران و هم برای صرفه جویی در هزینه‌های بیمارستان‌ها، بسیار اهمیت دارد (۱). بروز این عفونت‌ها ممکن است ناشی از فلور اندوژنوس (Endogenous Flora) (مثل باکتری‌هایی که در اجزا ضمیمه‌ای پوست مانند: غدد چربی، غدد عرق و فولیکول‌های مو، مقیم حضور دارند)

* (نویسنده مسئول) سعید باباجانی وفسی، گروه تکنولوژی اتاق عمل، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ارتش، تهران، ایران.
آدرس الکترونیکی: saeedbabajani@ajaums.ac.ir

یا فلور اگزوژنوس (Exogenous Flora) (باکتری‌هایی که خاستگاه آن تیم جراحی، ذرات منتشر شده از خود بیمار و یا ناشی از ذرات هوابرد ناقل باکتری (Airborne bacteria-carrying particles [ABCPs]) است) باشند (۲).

این موضوع پذیرفته شده است که محیط‌های جراحی عاری از میکروب‌های هوابرد نمی‌شوند و مطالعات نشان دادند ۸۰ تا ۹۰ درصد از باکتری‌های بیماری‌زای یافت شده در زخم‌های جراحی مرتبط با ذرات هوابرد در اتاق عمل هستند (۳، ۴). ذرات هوابرد شامل: الیاف پارچه‌ای، گرد و خاک، ذرات پوستی (Skin Scales) و آئروسل‌های تنفسی می‌باشند که ممکن است حامل یا ناقل باکتری‌های زنده (مثل استافیلوکوک اورئوس) باشند. ABCPs ممکن است روی سطوح استریل نظیر زخم جراحی یا ابزار جراحی فرود آیند و به طور مستقیم و غیر مستقیم منجر به آلودگی و عفونت موضع جراحی شوند (۲).

از آنجایی که ایمنی بیمار یک مسئله مهم برای مراقبین بهداشتی-درمانی محسوب می‌شود، آن‌ها باید ریسک فاکتورهای ایجاد کننده عفونت را شناسایی و کنترل کنند. بنابراین به‌کارگیری تکنیک‌های آسپتیک و استریل یکی از اصول ایمنی مهم برای بیمار به شمار می‌رود که خطر انتقال میکروب‌ها به بدن بیمار را کاهش می‌دهد. برپایی و حفظ یک محیط استریل برای انجام عمل جراحی یا دیگر اقدامات تهاجمی می‌تواند از ایجاد آلودگی میکروبی و پی در پی از بروز عفونت جلوگیری کند، آلودگی که می‌تواند پیش درآمدی برای بروز عفونت محل جراحی باشد. بنابراین افزایش آگاهی و درک در خصوص اصول تکنیک آسپتیک و استریل برای مراقبین بهداشتی-درمانی بسیار مهم می‌باشد (۱)؛ لذا در مقاله حاضر سعی شده است که اطلاعات مفیدی برای کارکنان اتاق عمل و تیم جراحی در خصوص نقش باکتری‌های هوابرد در آلودگی سطوح استریل حاضر در اتاق عمل و راهکارهای مقابله با آن فراهم شود.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر به روش مروری انجام شده است. در ابتدا از میان ۳۰۹ مقاله گردآوری شده در زمینه‌ی باکتری‌های هوابرد، ۱۳۰ مقاله انتخاب گردید. گردآوری داده‌ها با جست و جو در پایگاه‌های اینترنتی اسکاپوس (Scopus)، پابمد (PubMed)، ساینس دایرکت (Science Direct) و موتور جستجوگر گوگل اسکالِر (Google Scholar) و با استفاده از کلمات کلیدی، عفونت محل جراحی (Surgical Site Infection)، ذرات هوابرد (Airborne Particles)، آلودگی باکتریایی (Bacterial Contamination)، اتاق عمل (Operating Room) و پرستاران اتاق عمل (Operating Room Nursing) در سال ۱۴۰۰ انجام شد.

یافته‌ها

عفونت‌های بیمارستانی و عفونت‌های موضع جراحی

عفونت‌های بیمارستانی یا عفونت‌های مرتبط با مراقبت بهداشتی (Healthcare Associated Infections) یک مشکل جهانی در بیمارستان‌های دنیا می‌باشند (۵). این عفونت‌ها مشکلات قابل توجهی را برای بیماران و مراکز بهداشتی-درمانی به‌وجود آورده و باعث بروز عوارض و مشکلات جدی شده‌اند (۶). هر لحظه، بیش از ۱/۴ میلیون نفر در دنیا از عوارض ناشی از عفونت‌های بیمارستانی رنج می‌برند (۷). عفونت‌های بیمارستانی به طور عمده از طریق میکروارگانیسم‌هایی موجود در فلور اندوژنوس بدن خود بیمار یا فلور اگزوژنوس رخ می‌دهند (۸). عفونت‌های مرتبط با مراقبت بهداشتی، عفونت‌های اجتناب‌پذیری هستند که سالانه روی ۱۰۰,۰۰۰,۰۰۰ بیمار در سراسر دنیا تاثیر می‌گذارد (۹) که هزینه درمان این عفونت‌ها بالغ بر ۱۷ تا ۲۹ میلیارد دلار می‌باشد (۱۰). مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری آمریکا بروز عفونت ناشی از مراقبت بهداشتی در ایالات متحده آمریکا سالانه تقریبا ۱/۷ میلیون نفر برآورد کرده است که از این میان ۹۹/۰۰۰ نفر آن‌ها به کام مرگ کشیده می‌شوند (۱۱، ۱۲). بررسی انجام شده توسط سازمان جهانی بهداشت در خصوص شیوع عفونت‌های بیمارستانی ۱۴ کشور در سال ۲۰۰۷ نشان داد به‌طور میانگین ۸/۷ درصد بیماران بستری در بیمارستان مبتلا به عفونت بیمارستانی بودند. بروز عفونت در کشور ایران، براساس مطالعات انجام شده در تعدادی از بیمارستان‌ها، بین ۱۰ تا ۱۵ درصد برآورد شده است (۱۳).

بیش از چند دهه گذشته، این عفونت‌ها به تدریج در غالب یک موضوع خیلی مهم ظاهر شدند؛ زیرا آن‌ها باعث افزایش هزینه‌های بیمارستانی، مدت زمان بستری، بروز عوارض ناشی از بستری و در نهایت منجر به بیماری و مرگ می‌شوند (۱۴، ۱۵) و از طرفی ابتلا

به چنین عفونت‌هایی باعث دور ماندن بیماران از کار و خانواده می‌شود (۱۶). از میان تمام عفونت‌های مرتبط با مراقبت بهداشتی، چهار نوع عفونت مسئول بیش از ۸۰ درصد از کل عفونت‌های بیمارستانی می‌باشند. این عفونت‌ها شامل: عفونت مسیر ادراری (Urinary Tract Infections)، عفونت محل جراحی (Surgical Site Infection)، عفونت جریان خون (Bloodstream Infections) و پنمونی مرتبط با دستگاه ونتیلاتور (Ventilator Associated Pneumonia) می‌باشند (۱۷). امروزه عفونت موضع جراحی شایع‌ترین و هزینه برترین عفونت‌های مرتبط با مراقبت بهداشتی می‌باشد (۲۱-۱۸). عفونت‌های موضع جراحی مرتبط با مراقبت بهداشتی یک عارضه جدی پس از عمل جراحی می‌باشد که نقش مهمی را در افزایش هزینه‌ها، بروز بیماری و مرگ بازی می‌کند (۲۲) و منجر به درد، بیماری، طولانی شدن دوره بستری، ناتوانی و افزایش هزینه‌ها می‌شوند (۲۳). تاکنون برنامه نظارت ملی و بهترین دستورالعمل‌های اجرایی جهت کاهش وقوع عفونت موضع جراحی کمک کننده بوده است ولی با این وجود، شیوع این عفونت همچنان به عنوان یک مشکل جدی به قوت خود باقی مانده است (۲۲). عفونت موضع جراحی، عفونتی است که در طول ۳۰ روز بعد از عمل جراحی یا در طول یک سال در مواردی که ایمپلنت استفاده می‌شود، رخ می‌دهد (۲۴). با این حال اغلب این عفونت‌ها، ۱۴-۵ روز بعد از عمل جراحی رخ می‌دهند (۲۲) و براساس سطوح بافتی که درگیر می‌کنند به سه نوع عفونت سطحی (Superficial Infection)، عمقی (Deep Infection) و داخل ارگانی (Organ Infection) طبقه‌بندی می‌شوند (۲۵). سالانه تقریبا ۳۵ میلیون جراحی در ایالات متحده آمریکا انجام می‌شود که از این تعداد، ۳۰۰/۰۰۰ مورد آن دچار عفونت موضع جراحی می‌شوند (۲۶). مراکز کنترل و پیشگیری از بیماری، شیوع عفونت محل جراحی ۲۲ درصد از کل عفونت‌های مرتبط با مراقبت بهداشتی برآورد کرد (۲۷). عفونت موضع جراحی طول مدت بستری بیماران را در بیمارستان تقریبا ۷ تا ۱۰ روز افزایش می‌دهد و هزینه لازم برای درمان هر عفونت موضع جراحی بین ۳۰۰۰ تا ۲۹/۰۰۰ دلار برآورد شده است که این هزینه بسته به اقدامی که برای درمان آن‌ها انجام می‌شود و بسته نوع عامل بیماری‌زایی (پاتوژن) که از بیماران جدا می‌شود، متفاوت است (۲۶). اغلب عفونت‌های موضع جراحی در زمان جراحی حاصل می‌شود تا زمان پس از جراحی (۲۸) و این درست در زمانی است که غشا موکوسی یا پوست برش داده می‌شود و بافت‌های نمایان شده، در معرض خطر آلوده شدن با فلورهای اندوژنوس اگزوژنوس هستند (۲۹).

آلودگی زخم جراحی

پوست بیمار به عنوان سدی محافظتی در برابر نفوذ میکروارگانیسم‌ها، عمل می‌کند؛ اما ایجاد برش جراحی، یکپارچگی پوست بیمار را برهم زده و به صورت اجتناب ناپذیر یک مسیری را برای ورود منابع آلودگی ایجاد می‌کند (۳۰). اگرچه عوامل زیادی در ایجاد آلودگی زخم جراحی و بروز عفونت موضع جراحی نقش بازی می‌کنند؛ اما بار (تعداد) پاتوژن‌های وارد شده به زخم حین جراحی یکی از شایع‌ترین ریسک فاکتورهای پذیرفته شده باقی می‌ماند (۲۱). در واقع بروز عفونت ارتباط مهمی با تعداد باکتری‌هایی که زخم جراحی را آلوده می‌کنند دارد و مطالعات در این زمینه نشان داده‌اند تعداد میکروارگانیسم‌های لازم که ممکن است سبب بروز عفونت محل جراحی شوند، ۱۰۵ در هر گرم از بافت است که در اصطلاح آن را عدد جادویی گویند. این مقدار اغلب به عنوان آستانه بروز عفونت زخم جراحی تعیین شده است (۲۴). بنابراین، هر چه میزان میکروب‌های آلوده کننده زخم جراحی بیشتر باشند خطر عفونت زخم جراحی بالاتر می‌رود (۲۱).

با وجود این‌که تعداد ورود باکتری به زخم یک پیش نیاز برای عفونت موضع می‌باشد، ممکن است بار میکروبی جهت ایجاد عفونت موضع جراحی خیلی پایین‌تر از مقدار مذکور باشد، به ویژه زمانی که در زخم جراحی جسم خارجی (مثل ایمپلنت، وسایل جراحی جا مانده و غیره) وجود داشته (۲۱) و یا عامل آلوده کننده ویرولانس (قدرت بیماریزایی) بالایی داشته باشد (۳۱). استافیلوکوک اورئوس (۲۳ درصد)، استافیلوکوک‌های گرم منفی (۱۷ درصد)، انتروکوکسی (۷ درصد)، سودوموناس آئروژینوزا (۵ درصد)، اشرشیا کلی (۵ درصد)، استرپتوکوک‌ها (۳ درصد)، سوش‌های پروتئوس (۳ درصد)، کلبسیلا پنمونی (۳ درصد) و سوش‌های سراشیا (۳ درصد) (۳۲) شایع‌ترین پاتوژن‌های ایجاد کننده عفونت محل جراحی هستند که به مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری آمریکا گزارش شده‌اند (۲۱). میکروارگانیسم‌های شایع موجود در اتاق‌های عمل شامل: استافیلوکوک‌ها، اشرشیا کلی،

استرپتوکوک‌ها و سودوموناس (۳۳) هستند. چندین عامل خطرزا وجود دارد که شرایط را برای بروز عفونت محل جراحی مساعدتر می‌کنند. این عوامل شامل موارد زیر هستند (۲۲، ۳۴، ۳۵) که عبارتند از:

۱) عوامل مربوط به بیمار:

- سن بالا
- بیماری دیابت (هایپرگلیسمی قبل، حین و بعد از عمل جراحی)
- وضعیت سوء تغذیه (مثل پایین بودن آلبومین سرم)
- استعمال دخانیات
- چاقی
- داشتن تاریخچه عفونت پوستی یا بیماری پوستی در محل عمل جراحی (مثل پسوریازیس)
- سرکوب سیستم ایمنی یا درمان با کورتیکواستروئید،
- التهاب مزمن و هیپرکلسترولِمی
- عفونت‌های نواحی دور از محل جراحی (گلو درد و غیره)،
- مدت زمان بستری قبل از عمل جراحی
- میزان مواجه با ارگانیسم‌های مقام به آنتی بیوتیک
- درجه ترومای بافتی
- سابقه جراحی

۲) عوامل مربوط به پروسیجر:

- اسکراب جراحی نامناسب دست‌ها
- مدت زمان عمل جراحی و مدت بستری قبل از عمل جراحی
- آنتی بیوتیک پروفیلاکسی ناکافی و تجویز داروهای آلوده
- ضدعفونی و استریلیزاسیون ناکافی ابزار جراحی
- محیط اتاق عمل و تهویه ناکافی
- تکنیک جراحی نامناسب (آسیب بافتی، هموستاز ناکافی و غیره) و جراحی اورژانسی
- هیپوکسی قبل، حین و بعد از عمل جراحی
- پایبندی به اقدامات ابتدایی کنترل عفونت قبل از عمل جراحی
- آماده‌سازی ناکافی یا نامناسب پوست (شیو و ضدعفونی کردن)
- هیپوترمی
- ابزار فلزی یا اجسام جا مانده در بدن بیمار
- استفاده بیش از حد از دستگاه الکتروسرجیکال
- تعداد دفعات رفت و آمد افراد به اتاق جراحی در حین انجام عمل جراحی

نوع زخم جراحی از دیگر عوامل مربوط به پروسیجر جراحی است که می‌تواند روی بروز عفونت محل جراحی تاثیر بگذارد. بیماران با وضعیت پیچیده پزشکی و آن‌هایی که تحت پروسیجر جراحی هستند که در آن حفره‌های غیر استریل بدن مثل روده، معده، مسیرهای ادراری و تناسلی و غیره باز می‌شوند بیشتر مستعد ابتلا به عفونت محل جراحی هستند (۲۹).

طبقه‌بندی زخم جراحی اولین بار توسط دانشگاه آکادمی ملی آمریکا در سال ۱۹۶۴ برای توصیف درجه آلودگی میکروبیال مشهود در زمان انجام عمل جراحی، معرفی شد (۳۶، ۳۷). زخم‌های جراحی براساس مقدار آلودگی برش جراحی به زخم‌های تمیز، تمیز-آلوده، آلوده و کثیف طبقه‌بندی می‌شوند که به طبقه‌بندی Altemeier معروف می‌باشد (۲۴).

۱) **زخم‌های تمیز (Clean Wound)**: در پروسیجرهای جراحی تمیز بافت‌هایی از قبیل: پوست، زیرجلد، اسکلتی- عضلانی باز می‌شوند و وقوع عفونت موضع جراحی در این طبقه خیلی پایین است. پروسیجرهایی که در این طبقه قرار می‌گیرند شامل: جراحی‌های سینه، فتق، پروسیجرهای جراحی تعویض مفصل می‌باشد.

۲) **زخم تمیز- آلوده (Clean-contaminated wound)**: پروسیجرهایی که در آن‌ها احشا توخالی (Hollow Viscus) بدن تحت کنترل باز می‌شوند. این احشا توخالی شامل مسیر تنفسی، ادراری- تناسلی و گوارشی می‌باشد.

۳) **زخم آلوده (Contaminated Wound)**: در پروسیجرهای آلوده، باکتری‌ها وارد می‌شوند به بافت‌های استریل یا حفره‌های بدن ولی مدت حضور آن‌ها به اندازه‌ای نیست که سبب بروز عفونت شوند. پروسیجرهایی که در این طبقه قرار می‌گیرند شامل: تروماهای نفوذ کننده به شکم، شکستگی باز اندام‌های انتهایی و باز کردن روده.

۴) **زخم کثیف (Dirty Wound)**: زخم‌های باز شده‌ای که بیش از ۶ ساعت از زمان ایجاد آن می‌گذرد و میزان وقوع آلودگی و عفونت محل جراحی در این نوع زخم‌ها بالا می‌باشد مثل شکستگی‌های تروماتیک باز.

میزان عفونت برای زخم‌های تمیز ۱ تا ۵ درصد، برای زخم‌های تمیز- آلوده ۳ تا ۱۱ درصد، برای زخم‌های آلوده ۱۰ تا ۱۷ درصد و بیش از ۲۷ درصد برای زخم‌های کثیف یا عفونی برآورد شده است (۳۷). باز شدن حفره‌های غیر استریل بدن یک ریسک فاکتور برای آلودگی و بروز عفونت محل جراحی می‌باشد (۲۲). به طوری که خطر بروز عفونت موضع جراحی در بیمارانی که تحت عمل‌های جراحی تمیز (مثل توراکس و ارتوپدی و غیره) ۲ تا ۵ درصد و جراحی‌هایی که روی حفره شکمی انجام می‌شود و در آن مسیر گوارشی باز می‌شود بیش از ۲۰ درصد می‌باشد (۳۸). بروز عفونت در جراحی تمیز اغلب توسط میکروارگانیسم‌های پوست رخ می‌دهند (۳۹).

۳) عوامل مربوط به بیمارستان:

- فضای فیزیکی نامناسب در بیمارستان
- زیاد بودن حجم بیماران مراجعه‌کننده
- وضعیت آموزشی نامناسب بیمارستان

نقش باکتری‌های هوابرد در آلودگی سطوح استریل در اتاق عمل:

ذرات هوابرد در همه‌جا حضور دارند (۴۰). تحقیقات نشان داده ذرات هوابرد می‌توانند حامل باکتری‌های گِرم منفی (مثل استافیلوکوک‌ها)، کپک‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها و اجزای حشرات باشند (۴۱). میکروارگانیسم‌های موجود در ذرات هوابرد می‌توانند از هر سطح زنده (مثل پوست دست‌ها، گردن، صورت و پوست نواحی دیگر بدن و غشاهای مخاطی پرسنل و بیماران) (۴۰) یا سطح غیر زنده‌ای (نظیر سرامیک، استیل، شیشه، پلی اتیلن، ابزار جراحی، مواد مصرفی، مبلمان اتاق عمل یا محلول‌های شست و شو زنده بمانند و رشد کنند) (۴۰، ۴۱) نشات بگیرند.

ABCPs ممکن است روی سطوح استریل نظیر زخم جراحی یا ابزار جراحی فرود آیند و شرایط را برای بروز عفونت موضع جراحی مهیا کنند (۲). هر انسان روزانه حدود ۱۰ میلیون ذره از خود آزاد می‌کند و به طور تقریبی ۵ تا ۱۰ درصد از این ذرات حامل باکتری هستند. در طی یک عمل جراحی، پرسنلی که به تخت جراحی نزدیکتر هستند بیشتر احتمال دارد که زخم جراحی را آلوده کنند (۴۲). Rui و همکاران یک ریزش ۲۰۰ کلنی در دقیقه برای بالا تنه هر فرد و ۴۰۰ کلنی در دقیقه برای پایین تنه را برآورد کردند (۴۰). در مطالعه Sadrizadeh و همکاران، تعداد ذرات حامل میکروارگانیسم‌ها آزاد شده توسط پرسنل جراحی ۴ کلنی در ثانیه برآورد شد (۴۳). همه ما و اعضای تیم جراحی در هر دقیقه هزاران قطعه یا فلس‌های پوستی میکروسکوپی را به هوا رها می‌کنیم که بخش قابل توجهی از آن‌ها قادرند باکتری‌ها را حمل کنند (۴۴). فلس‌های پوستی (بیماران و پرسنل) با سرعت حدود ۷۰۰۰ ذره در دقیقه از بدن به محیط ریخته می‌شوند که ممکن است حامل استافیلوکوکوس اورئوس (مسئول اغلب عفونت محل جراحی است) باشند (۴۵).

به طور کلی توافق شده است که عوامل بیماری‌زای هوابرد که اغلب در نواحی‌های جراحی یافت می‌شوند در درجه اول استافیلوکوکوس اورئوس آزاد شده از پوست کارکنان جراحی (بخشی از فلور مقیم و گذرا پوست را تشکیل می‌دهد) هستند و فقط تعداد کمی از آن می‌تواند عفونت شدیدی را در محل جراحی ایجاد کند (۴۶). استافیلوکوکوس اورئوس مسئول ۴۰ تا ۷۰ درصد موارد عفونت‌های محل جراحی می‌باشد (۳) و پس از آن استافیلوکوک‌های کواگولاز منفی و باکتری‌های گرم منفی نقش قابل توجهی دارند. این باکتری‌ها مقاومت قابل توجهی در برابر شرایط محیطی از خود نشان می‌دهند (آن‌ها قادر هستند در ذرات هوابرد زنده بمانند) و در نتیجه با خطر انتقال بالا، همراه هستند (۴۷). استافیلوکوکوس اورئوس مقاوم به متی‌سیلین (MRSA) که در شیوع عفونت‌های بیمارستانی نقش دارد، می‌تواند با کمک ذرات هوابرد منتقل شود (۴۸) و بسته به دما و رطوبت اتاق می‌تواند روزها تا هفته‌ها روی سطح خشک زنده بمانند (۴۹، ۵۰).

Pittet و Dharan گزارش دادند که بیش از ۵۰ درصد از کل عفونت‌های بعد از اعمال جراحی عمومی ناشی از فلور طبیعی پوست بیماران و پرسنل مراقبت‌های بهداشتی است (۵۱). بنابراین، ذرات پوستی افراد می‌توانند خطر آلودگی باکتریایی را افزایش دهند. در طول پروسیجرهای جراحی، ذرات هوابردی که روی سطوح غیر استریل اتاق عمل (مانند دیوارها، کف و پوست پرسنل) مستقر می‌شوند به راحتی توسط جریان‌های هوایی متلاطم تولید شده توسط باز و بست شدن درب و ترافیک پرسنل، در هوای اتاق عمل پخش شود. این ذرات مملو از باکتری می‌توانند بر روی ابزارهای جراحی

فرود آیند یا به طور مستقیم وارد زخم‌های جراحی شوند و باعث آلودگی و عفونت محل جراحی شوند (۵۲).

برای چندین دهه، پزشکان آگاه بودند که علت اصلی عفونت محل جراحی در عمل‌های تمیز، باکتری‌های هوابردی بودند که در اطراف فیلد جراحی و اتاق عمل چرخش داشتند (۵۳) و حدود ۳۵ سال پیش، Lidwell و همکاران پی‌بردند که بروز عفونت محل جراحی در تعویض‌های مفصل با حضور باکتری‌های هوابرد در ارتباط است (۵۴).

در همان زمان، Whyte و همکاران شواهد محکمی را به دست آورند که نشان می‌داد اکثر باکتری‌هایی که از شست و شوی زخم‌های آلوده شده خارج می‌شدند، ناشی از هوای محیط هستند (۵۵). این نتیجه‌گیری بعدها توسط یافته‌های دانشمندان دیگر مبنی بر ارتباط قوی بین تعداد ذرات حامل باکتری در هوا و تعداد واحدهای کلنی در زخم جراحی و ناحیه قرارگیری ابزار، مورد حمایت قرار گرفت (۵۶). اگرچه عفونت‌های محل جراحی از نظر منشا چند عاملی هستند اما تصور می‌شود که عفونت ناشی از میکروارگانیسم‌های هوابرد یکی از منابع اصلی آلوده‌کننده اگزوژنوس باشد (۴۷، ۵۴، ۵۷، ۵۸).

همان‌طور که قبلا هم ذکر شد، میکروارگانیسم‌های هوابرد از طریق دو مسیر احتمالی وارد زخم‌های جراحی می‌شوند. آن‌ها ممکن است به طور مستقیم به داخل زخم جراحی یا به‌طور غیر مستقیم به وسیله‌ی فرود بر روی سطوح بدون محافظ نظیر دستان جراح، ابزار و پوشش‌های جراحی به داخل زخم منتقل شوند (۵۹). بنابراین، آلودگی محل جراحی توسط میکروارگانیسم‌های هوابرد، به عنوان یک عامل اگزوژنوس نقش اساسی در بروز عفونت‌های عمل جراحی ایفا می‌کند (۵۲، ۶۰). باکتری‌های هوابرد و سایر میکروارگانیسم‌های زنده، واحد تشکیل کلنی (Colony Forming Unit)، که از کارکنان جراحی به محیط ریخته می‌شود به عنوان منبع عفونت موضع جراحی معرفی شده‌اند (۵۴، ۶۱).

راهکارهای مقابله با باکتری‌های هوابرد در اتاق عمل

کنترل آلودگی هوا در محیط‌های جراحی برای حفظ سلامتی بیماران و تیم جراحی یک نیاز اساسی می‌باشد (۶۲). تکنولوژیست‌های جراحی برای پیشگیری عفونت‌های محل جراحی در حین عمل، باید شرایط یک محیط بهداشتی مطلوب را حفظ کنند، چون پیشگیری از عفونت بخشی مهمی از مسئولیت‌های پرستاران اتاق عمل می‌باشد (۶۳). تکنیک استریل یکی از مولفه مهم برای پیشگیری از عفونت محل جراحی است و ایجاد یک فیلد استریل به مهارت‌های خاص و درک اصول تکنیک استریل نیاز دارد. برپایی و حفظ یک فیلد استریل و استفاده کردن از تکنیک آسپتیک و استریل مهارت‌هایی هستند که برای جلوگیری از عفونت‌های محل جراحی ضروری است. همه اعضای تیم جراحی مسئول و پاسخ‌گو هستند و باید از روش‌ها و دستورالعمل‌های استاندارد استفاده کنند (۶۴). همان‌طور که روش‌های جراحی به سرعت در حال پیشرفت هستند، پرستاران اتاق عمل نیاز به توسعه و گسترش مداوم شایستگی‌های خاص خود دارند (۶۳). آن‌ها باید اطلاعات خود به روز کنند و آگاه باشند که فیلد استریل ممکن است تحت تاثیر عوامل زیر، عواملی که ممکن است در افزایش آلودگی‌های هوا نقش داشته باشند، تحت تاثیر قرار بگیرد و آن‌ها باید از فیلد استریل در برابر آلوده شدن با این عوامل محافظت کنند (۶۴).

اهمیت کاهش و مدیریت میکروب‌های هوابرد از زمان جوزف لیستر شروع شده و تا به امروز به طور پیوسته مورد توجه مراکز بهداشتی – درمانی بوده است (۶۵). اقدامات لوئیس پاستور، جوزف لیستر و رابرت کُخ در اواخر قرن نوزدهم، نقش عفونت را در پیامدهای جراحی آشکار و سپس پایه و اساس تحول در جراحی فراهم کرد (۶۶). جوزف لیستر دانشمند، جراح انگلیسی و بنیان‌گذار عامل ضدعفونی‌کننده و پیشگام طب پیشگیری بود. در سال ۱۸۶۰ او در بیمارستان سلطنتی گلاسگو مجموعه‌ای از اصول ضدعفونی (Asepsis) عرضه کرد تا در جراحی استفاده شود (۶۷، ۶۸). از زمان جوزف لیستر تا به امروز راهکارهای متعددی برای مقابله با باکتری‌های هوابرد در اتاق عمل ارائه شده است که به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

۱. استفاده از سیستم‌های تهویه با جریان یک طرفه و فشار مثبت:

مطالعات دهه‌ی ۱۹۴۰ نشان داد که وقتی هوا برای اتاق‌های عمل از طریق ورودی در راهروها و سایر مناطق بیمارستان آورده می‌شود، می‌تواند باکتری‌ها را به اتاق عمل وارد کند (۶۵). توجه به کیفیت هوا

در اتاق عمل به طور قابل توجهی نظر جراح بریتانیایی جان چارنلی که برای اولین بار پروسیجرهای جراحی تعویض مفصل را معرفی کرد، جلب کرد. او متوجه شد که میزان بالا و غیرقابل قبول عفونت محل جراحی در اعمال تعویض مفصل، توسط میکروارگانیسم‌های هوابرد ایجاد می‌شود. او در سال ۱۹۵۰ برای اولین بار در طی جراحی تعویض مفصل ران، جریان هوای لامینار آزمایش کرد و همچنین اولین سیستم محفظه هوای پاک (clean–air enclosure system) که به طور اصطلاح چارنلی- هوورث (Charnley–Howorth) نامیده می‌شد را برای مراکز مراقبت بهداشتی ساخت و سیستم با جریان هوای یک جهته (Unidirectional Airflow) را برای واحدهای اتاق عمل معرفی کرد. این سیستم در سایه‌ی افزایش حجم عرضه هوا در مقایسه با سیستم جریان آشفته هوا (Turbulent Airflow System) منجر به کاهش قابل توجه غلظت میکروارگانیسم‌های موجود در هوا می‌شد (۶۹).

چارنلی ۵,۸۰۰ مورد عمل جراحی را مورد ارزیابی قرار داد و متوجه شد که آلودگی حین عمل جراحی تهدید بزرگ برای موفقیت در اعمال تعویض مفصلی است و همچین نشان داد که میزان بروز عفونت محل جراحی به طور چشمگیری از ۷ به ۰/۵ درصد کاهش می‌یابد، زمانی که از سیستم‌های جریان یک جهته هوا با تعداد تعویض هوا در ساعت استفاده می‌شود و پرسنل جراحی از لباس خاصی استفاده می‌کنند که کل بدنشان را می‌پوشاند. با گذشت چهار دوره از فعالیت چارنلی، تعداد دفعات تعویض هوا تا ۳۰۰ مرتبه در ساعت افزایش یافت و به موازات آن، میزان آلودگی هوا میکروبی و میزان وقوع عفونت محل جراحی کاهش یافت (۷۰). آزمایش‌های Goddard نشان داد که افزایش تعداد دفعات تعویض هوا در داخل اتاق عمل می‌تواند تعداد باکتری‌ها را کاهش دهد. او نشان داد زمانی که تعداد تعویض هوا از ۲۰ بار در ساعت به ۲۵ بار در ساعت تغییر کند، واحد تشکیل کلنی (CFU) باکتریایی از ۳/۸ به ۲/۵ کلنی کاهش می‌یابد (۷۱). بنابراین افزایش میزان تهویه در اتاق‌های عمل به طور الزام هوای تمیزتری ایجاد نمی‌کند، اما اغلب هزینه‌های جراحی را افزایش می‌دهد (۷۲).

فشار هوای اتاق عمل که توسط سیستم تهویه ایجاد می‌شود باید نسبت به راهروها و سایر بخش‌های مجاور آن، بیشتر باشد و همیشه در این میزان حفظ شود. وجود این فشار مثبت از ایجاد جریان هوا از مناطق با وضعیت استریل پایین‌تر به مناطقی که وضعیت استریل بیشتری دارند، جلوگیری می‌کند (۷۳). فشار هوای اتاق عمل باید حداقل ۱۵ پاسکال نسبت به نواحی مجاور باشد (۴۷).

۲. کاهش تعداد افراد حاضر در اتاق عمل و کاهش دفعات باز و بست شدن درب‌های اتاق عمل

چندین مطالعه اخیر Andersson و همکاران (۷۴)، Link (۶۴)، Mathijssen و همکاران (۷۵)، Smith و همکاران (۷۶) و Sadrizadeh و همکاران (۴۳) نشان داده‌اند که جریان هوا در اتاق عمل‌های تمیز، تحت تأثیر تعداد افراد حاضر در اتاق و باز و بست شدن درب اتاق عمل است و آلودگی‌های هوابرد و نرخ میکروبی در محیط جراحی به طور مستقیم با تعداد افراد، میزان حرکات آن‌ها و تعداد باز و بست شدن درب‌های اتاق عمل در ارتباط است. کیفیت هوا به میزان باکتری‌های منتشرشده از افراد به داخل هوای اتاق عمل بستگی دارد (۷۷).

توافق شده است که تعداد افراد در اتاق عمل باید حداکثر ۵ یا ۶ نفر باشد تا اطمینان حاصل شود که تعداد باکتری‌های هوابرد از مرز ۱۰ واحد تشکیل کلنی در هر متر مکعب (CFU/m^3) هوا تجاوز نمی‌کند (۴۳)؛ زیرا سطوح بالای CFU/m^3 با عفونت‌های محل جراحی ارتباط دارد (۵۴، ۵۵، ۷۸). از طرف دیگر، Gosden و همکاران دریافتند که آلودگی هوابرد واحد اتاق عمل به طور تقریبی و به طور انحصاری به تعداد افراد حاضر در اتاق عمل و فعالیت آن‌ها بستگی دارد (۷۹).

میزان باز و بست شدن درب اتاق عمل از ۱۳ تا ۴۰ مرتبه در ساعت برای پروسیجرهای تعویض مفصل گزارش شده است. مطالعه Andersson و همکاران نشان داد که ۷ درصد از موارد بازشدن درب اتاق عمل مربوط به وقایع غیر منتظره در جراحی، ۲۶ درصد از موارد به دلیل نیاز به مواد مصرفی بود (که گویای عدم برنامه‌ریزی و آماده سازی موثر قبل از عمل بود) و ۲۷ درصد موارد نیز ورود افرادی بود که هیچ نقشی در عمل جراحی نداشتند (۷۴). همچنین مطالعه Stauning و همکاران نشان داد که میزان باز و بست شدن درب اتاق عمل به طور معمول ۵۰ مرتبه در ساعت رخ می‌دهد که بخش زیادی از آن به دلایل غیر ضروری بوده است و او که نشان داد کاهش دفعات باز شدن درب‌ها می‌تواند بدون تأثیر منفی بر

عملکرد جراحی، کاهش یابد (۸۰).

باز و بست شدن مکرر درب‌های اتاق عمل ممکن است این اثرات مطلوب این فشار مثبت ایجاد شده توسط سیستم تهویه را تحت تاثیر قرار دهد. برای محدود کردن تلاطم در هنگام باز شدن درب‌های اتاق عمل، افزایش کافی و پایدار فشار هوا (حداقل ۱۵ پاسکال) در اتاق عمل نسبت به نواحی مجاور، لازم است. پرستاران اتاق عمل باید با نصب کردن علائم هشداری در خارج از هر درب اتاق عمل، به محدود کردن ورود و خروج به اتاق کمک کنند. درب‌های اتاق عمل یا سایر اتاق‌هایی که در آن پروسیجرهای تهاجمی انجام می‌شود باید تا حد ممکن بسته نگه داشته شوند، مگر در هنگام ورود و خروج بیماران، پرسنل مورد نیاز و تجهیزات لازم (۴۷).

Campbell و همکاران گزارش دادند که کاهش تردد پرسنل اتاق عمل منجر به کاهش میزان بروز عفونت محل جراحی می‌شود (۸۱).

ذرات هوابرد به راحتی توسط جریان‌های متلاطم هوایی ایجاد شده توسط تردد پرسنل، پراکنده می‌شوند (۷۴، ۷۶)، در نتیجه این ذرات به عنوان حامل یا ناقل باکتری عمل می‌کنند (۴۳، ۸۲).

ذرات هوابردی که روی سطوح غیر استریل اتاق عمل مستقر می‌شوند به راحتی توسط تردد پرسنل در هوای اتاق عمل پخش شوند و استافیلوکوکوس اورئوس می‌تواند به راحتی به این ذرات بچسبد (۸۳). یافته‌های Sunagawa و همکاران حاکی از آن است که برای کاهش شیوع آلودگی باکتریایی و خطر بروز به عفونت‌های محل جراحی، پرسنل اتاق عمل باید در صورت امکان، در کنار مناطق استریل با آرامش راه بروند (۵۲) چون که فعالیت زیاد در طول آماده‌سازی بیماران قبل از جراحی منجر به پراکندگی بیش از حد ذرات هوابرد می‌شود (۸۴).

۳. استفاده از پوشش‌های مناسب در اتاق عمل

عوامل دیگری که انتظار می‌رود در سطح CFU/m^3 تأثیر داشته باشند جنس لباس پرسنل است (۵۱، ۸۵). مطالعه Noguchi و همکاران نشان داد که فعالیت‌های قبل از جراحی مانند باز کردن چین‌های گان‌های جراحی و درپ‌های جراحی، خارج کردن دستکش‌ها از بسته‌بندی، استفاده یا برش دادن استاکینت‌های پارچه‌ای، ذرات هوابرد زیادی تولید می‌کند (۸۳). آن‌ها نشان دادند که پرسنل جراحی باید از اقدامات غیرضروری که باعث تولید بیش از حد ذرات هوابرد در نزدیکی یک فیلد استریل می‌شود، خودداری کنند (۸۳).

تصور می‌شود درپ‌ها و گان‌های جراحی دو منبع اصلی برای حضور ذرات الیاف پارچه‌ای در هوا هستند (۸۶). از این رو، به جای الیاف پارچه‌ای که یکی از اصلی‌ترین منابع ایجاد ذرات هوابرد در اتاق عمل محسوب می‌شود بهتر است از الیاف بافته نشده یا غیر پارچه‌ای استفاده شود (۸۳). در سال ۱۹۹۰ وایت و همکاران نشان دادند که لباس‌های جراحی ساخته شده از جنس پلی‌استر از نظر کاهش باکتری‌های هوابرد در اتاق عمل از لباس بافته شده‌ی پنبه‌ای بهتر است. کتان می‌تواند پرزهای زیادی ایجاد کند و پارچه‌های کتانی بافته شده دارای شکاف‌های متقاطع با سایزهای ۷ تا ۵۰ میکرون هستند که می‌توانند ذرات هوابرد یا قطعات پوستی مملو از باکتری ایجاد شده توسط پرسنل جراحی، را از خود عبور دهد (۸۷).

بحث و نتیجه‌گیری

طبق بررسی‌های انجام شده، منبع آلودگی‌ها و عفونت‌های محل جراحی ممکن است میکروارگانیسم‌های اندوژنوس یا اگزوژنوس باشند. پوست بیمار یک منبع اندوژنوس برای آلودگی و بروز عفونت محل جراحی محسوب می‌شود ولی تنها ۲ درصد از منابع آلودگی مستقیم را شامل می‌شود و ۹۸ درصد مابقی مربوط به ذرات هوابرد حامل باکتری است. ۳۰ درصد از موارد آلودگی زخم جراحی با ذرات هوابرد حامل باکتری، به دلیل فرود مستقیم آن‌ها به داخل زخم و ۷۰ درصد مابقی به دلیل فرود آن‌ها بر روی ابزار جراحی و دستان جراح و سپس انتقال آن‌ها به صورت غیرمستقیم، رخ می‌دهد. بنابراین، آلودگی محل جراحی به طور کلّی در ارتباط با ذرات هوابرد حامل باکتری است، با توجه به نقش غالب ذرات هوابرد در آلودگی زخم جراحی، لازم است که کیفیت هوا اتاق عمل به دقت مورد توجه قرار گیرد. از این رو، آشنایی تیم جراحی با عواملی که منجر به افزایش ذرات هوابرد در هوای اتاق عمل می‌شوند و همچنین آشنایی با راهکارهای مقابله با ذرات هوابرد، ممکن است توانایی و مهارت اعضای تیم جراحی را در مدیریت ذرات هوابرد و پیشگیری از آلودگی احتمالی موضع جراحی و بروز عفونت، تا حد قابل توجهی بهبود بخشد.

References

1- Spruce L. Back to Basics: Sterile Technique. AORN Journal. 2017;105(5):478-87.
2- Birgand G, Toupet G, Rukly S, Antoniotti G, Deschamps M-N, Lepelletier D, et al. Air contamination for predicting wound contamination in clean surgery: A large multicenter study. American Journal of Infection Control. 2015;43(5):516-21.
3- Edmiston CE, Seabrook GR, Cambria RA, Brown KR, Lewis BD, Sommers JR, et al. Molecular epidemiology of microbial contamination in the operating room environment: Is there a risk for infection? Surgery. 2005;138(4):573-82.
4- Pasquarella C, Sansebastiano GE, Ferretti S, Saccani E, Fanti M, Moscato U, et al. A mobile laminar airflow unit to reduce air bacterial contamination at surgical area in a conventionally ventilated operating theatre. Journal of Hospital Infection. 2007;66(4):313-9.
5- Askarian M, Mahmoudi H, Assadian O. Incidence of Nosocomial Infections in a Big University Affiliated Hospital in Shiraz, Iran: A Six-month Experience. Int J Prev Med. 2013;4(3):366-72.
6- Melo EMVBd, Leão CdS, Andreto LM, Mello MJGd. Surgical infection in a videolaparoscopic colecistectomy when using peracetic acid for the sterilization of instruments. Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões. 2013;40(3):208-14.
7- Boscart VM, Levchenko AI, Fernie GR. Defining the configuration of a hand hygiene monitoring system. American Journal of Infection Control. 2010;38(7):518-22.
8- CALFEE DP. Prevention and Control of Health Care–Associated Infections. In: Goldman L, Schafer AI, editors. Goldman-Cecil Medicine. 2. 25 ed. United States of America: Elsevier. 2016;59(8):622-8.
9- Allegranzi B, Zayed B, Bischoff P, Kubilay NZ, de Jonge S, de Vries F, et al. New WHO recommendations on intraoperative and postoperative measures for surgical site infection prevention: an evidence-based global perspective. The Lancet Infectious Diseases. 2016;16(12): e288-e303.
10- Darvishpoor K, Rezaei Manesh MR. Prevalence of nosocomial infections and microbial causes in Torbat heydariyeh 9dey educational and clinical hospital in 2012 and 2013. Iranian Journal of Medical Microbiology. 2016;10(1):93-6.
11- Darvishpoor K, heshmati H, Rezaei Manesh MR, Mir hasani M. Prevalence of nosocomial infections and microbial causes in Torbat heydariyeh 9dey educational and clinical hospital in 2012 and 2013. Iran-J-Med-Microbiol. 2016;10(1):93-6.
12- Awak MA. Carbon Dots Light Activated Antibacterial Activities: Correlation with Its Fluorescence Quantum Yields: North Carolina Central University; 2017.
13- Sajadi HS, Mahmoudi M, Cheraghi A. An Evaluation of the Implementation of Nosocomial Infections Surveillance in Hospitals Affiliated with Isfahan University of Medical Sciences in Isfahan, Iran. 2017;13(2):198-203.
14- Hensley BJ, Monson JR. Hospital-acquired infections. Surgery-Oxford International Edition. 2015;33(11):528-33.
15- Arvanitidou M, Katikaridou E, Douboyas J, Tsakris A. Prognostic factors for nosocomial bacteraemia outcome: a prospective study in a Greek teaching hospital. Journal of Hospital Infection. 2005;61(3):219-24.
16- Ercole FF, Franco LMC, Macieira TGR, Wenceslau LCC, Resende HINd, Chianca TCM. Risk of surgical site infection in patients undergoing orthopedic surgery. Revista latino-americana de enfermagem. 2011;19(6):1362-8.
17- Burke JP. Infection control--a problem for patient safety. The New England journal of medicine. 2003;348(7):651.
18- Zimlichman E, Henderson D, Tamir O, Franz C, Song P, Yamin CK, et al. Health care–associated infections: a meta-analysis of costs and financial impact on the US health care system. JAMA internal medicine. 2013;173(22):2039-46.
19- Lewis SS, Moehring RW, Chen LF, Sexton DJ, Anderson DJ. Assessing the relative burden of hospital-acquired infections in a network of community hospitals. Infection Control & Hospital Epidemiology. 2013; 34(11):1229-30.
20- Anderson DJ, Pyatt DG, Weber DJ, Rutala WA. Statewide costs of health care-associated infections: estimates for acute care hospitals in North Carolina. American journal of infection control. 2013;41(9):764-8.
21- Garner BH, Anderson DJ. Surgical site infections: an update. Infectious Disease Clinics. 2016;30(4):909-29.
22- Lyden JR, Dellinger EP. Surgical site infections. Hospital Medicine Clinics. 2016;5(2):319-33.
23- Buang S, Haspani M. Risk factors for neurosurgical site infections after a neurosurgical procedure: a prospective observational study at Hospital Kuala Lumpur. Med J Malaysia. 2012;67(4):393-8.
24- Ho VP, Eachempati SR, Barie PS. Surgical Site Infections. InCommon Problems in Acute Care Surgery 2013 (pp. 139-154). Springer, New York, NY.
25- Vera RM. Management of Surgical Site Infections. In: Moore LJ, Todd SR, editors. Common Problems in Acute Care Surgery. Cham: Springer International Publishing; 2017. p. 139-44.
26- Awad SS. Adherence to Surgical Care Improvement Project Measures and Post-Operative Surgical Site Infections. Surgical Infections. 2012;13(4):234-7.
27- Hidron AI, Edwards JR, Patel J, Horan TC, Sievert DM, Pollock DA, et al. Antimicrobial-resistant pathogens associated with healthcare-associated infections: annual summary of data reported to the National Healthcare Safety Network at the Centers for Disease Control and Prevention, 2006–2007. Infection Control & Hospital Epidemiology. 2008;29(11):996-1011.

28- AST. Surgical Technology for the Surgical Technologist: A Positive Care Approach. 4th ed. United States of America: Stephen Helba; 2014.
29- Mangram AJ, Horan TC, Pearson ML, Silver LC, Jarvis WR, Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. Guideline for prevention of surgical site infection, 1999. Infection Control & Hospital Epidemiology. 1999; 20(4):247-80.
30- Zinn J, Jenkins JB, Swofford V, Harrelson B, McCarter S. Intraoperative patient skin prep agents: is there a difference? AORN journal. 2010;92(6):662-74.
31- HOJJAT M, KARIMYAR JM, Keshaei N, Salehifard A. Assessment of the prevalence of post-operation orthopedic wound infection in the orthopedic ward of Motahari hospital (2009-2010). 2012.
32- Berríos-Torres SI, Sarah HY, Bratzler DW, Ma A, Mu Y, Zhu L, et al. Activity of commonly used antimicrobial prophylaxis regimens against pathogens causing coronary artery bypass graft and arthroplasty surgical site infections in the United States, 2006–2009. Infection Control & Hospital Epidemiology. 2014;35(3):231-9.
33- Phillips N. Berry & Kohn's Operating Room Technique. 12th ed. china: Elsevier Health Sciences; 2013.
34- Anderson DJ, Sexton DJ, Cochran A, Collins KA. Overview of control measures for prevention of surgical site infection in adults. Massachusetts: UpToDate. 2017.
35- Townsend CM, Beauchamp RD, Evers BM, Mattox KL. Sabiston textbook of surgery: the biological basis of modern surgical practice. 20th edition. ed. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders; 2017.
36- Wang-Chan A, Gingert C, Angst E, Hetzer FH. Clinical relevance and effect of surgical wound classification in appendicitis: Retrospective evaluation of wound classification discrepancies between surgeons, Swissnoso-trained infection control nurse, and histology as well as surgical site infection rates by wound class. journal of surgical research. 2017;215:132-9.
37- Ortega G, Rhee DS, Papandria DJ, Yang J, Ibrahim AM, Shore AD, et al. An evaluation of surgical site infections by wound classification system using the ACS-NSQIP. Journal of Surgical Research. 2012;174(1):33-8.
38- Shojania KG, Duncan BW, McDonald K, Wachter R, Markowitz A. Making health care safer: a critical analysis of patient safety practices. Evid Rep Technol Assess (Summ). 2001;43(1):668.
39- Alexander JW, Solomkin JS, Edwards MJ. Updated recommendations for control of surgical site infections. Annals of surgery. 2011;253(6):1082-93.
40- Rundstadler Y, Di majo P. Lutter contre la contamination au bloc opératoire. ITBM-RBM. 2002;23(3):180-5.
41- Doell LD. Perioperative Sterilization and Disinfection: An Infection Prevention Perspective. Perioperative Nursing Clinics. 2010;5(3):355-71.
42- Chow TT, Yang XY. Ventilation performance in operating theatres against airborne infection: review of research activities and practical guidance. Journal of Hospital Infection. 2004;56(2):85-92.
43- Sadrizadeh S, Tammelin A, Ekolind P, Holmberg S. Influence of staff number and internal constellation on surgical site infection in an operating room. Particuology. 2014;13:42-51.
44- Mackintosh CA, Lidwell OM, Towers AG, Marples RR. The dimensions of skin fragments dispersed into the air during activity. Journal of Hygiene. 2009;81(3):471-80.
45- Clark R, Cox R, Lewis H. Deposition and dispersion of particles from the human micro-environment. The Journal of physiology. 1971;216(1):19-20.
46- Anderson DJ, Kaye KS. Staphylococcal Surgical Site Infections. Infectious Disease Clinics of North America. 2009;23(1):53-72.
47- Chauveaux D. Preventing surgical-site infections: Measures other than antibiotics. Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research. 2015;101(1, Supplement): S77-S83.
48- Mortimer EA, Jr., Wolinsky E, Gonzaga AJ, Rammelkamp CH, Jr. Role of airborne transmission in staphylococcal infections. Br Med J. 1966;1(5483):319-22.
49- Oie S, Hosokawa I, Kamiya A. Contamination of room door handles by methicillin-sensitive/methicillin-resistant Staphylococcus aureus. Journal of Hospital Infection. 2002;51(2):140-3.
50- Boyce JM. Environmental contamination makes an important contribution to hospital infection. Journal of Hospital Infection. 2007;65:50-4.
51- Dharan S, Pittet D. Environmental controls in operating theatres. Journal of Hospital Infection. 2002;51(2):79-84.
52- Sunagawa S, Koseki H, Noguchi C, Yonekura A, Matsumura U, Watanabe K, et al. Airborne particle dispersion around the feet of surgical staff while walking in and out of a bio-clean operating theatre. Journal of Hospital Infection. 2020;106(2):318-24.
53- Persson M. Airborne contamination and surgical site infection: Could a thirty-year-old idea help solve the problem? Medical Hypotheses. 2019; 132:109351.
54- Lidwell OM, Lowbury EJL, Whyte W, Blowers R, Stanley SJ, Lowe D. Airborne contamination of wounds in joint replacement operations: the relationship to sepsis rates. Journal of Hospital Infection. 1983;4(2):111-31.
55- Whyte W, Hodgson R, Tinkler J. The importance of airborne bacterial contamination of wounds. Journal of Hospital Infection. 1982;3(2):123-35.
56- Friberg B, Friberg S, Burman LG. Correlation between surface and air counts of particles carrying aerobic bacteria in operating rooms with turbulent ventilation: an experimental study. Journal of Hospital Infection. 1999;42(1):61-8.
57- Parvizi J, Barnes S, Shohat N, Edmiston CE. Environment

of care: Is it time to reassess microbial contamination of the operating room air as a risk factor for surgical site infection in total joint arthroplasty? American Journal of Infection Control. 2017;45(11):1267-72.

58- Cook TM, Piatt CJ, Barnes S, Edmiston CE. The Impact of Supplemental Intraoperative Air Decontamination on the Outcome of Total Joint Arthroplasty: A Pilot Analysis. The Journal of Arthroplasty. 2019;34(3):549-53.

59- Pasquarella C, Agodi A, Auxilia F, Lytsy B, Mura I, Parneix P, et al. Air quality in the operating theatre: a perspective. Aerobiologia. 2020;36(1):113-7.

60- Alsved M, Civilis A, Ekolind P, Tammelin A, Andersson AE, Jakobsson J, et al. Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow. Journal of Hospital Infection. 2018;98(2):181-90.

61- Ritter MA. Operating Room Environment. Clinical Orthopaedics and Related Research®. 1999;369:103-9.

62- Romano F, Milani S, Gustén J, Joppolo CM. Surgical smoke and airborne microbial contamination in operating theatres: influence of ventilation and surgical phases. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(15):5395.

63- Qvistgaard M, Lovebo J, Almerud-Österberg S. Intraoperative prevention of Surgical Site Infections as experienced by operating room nurses. International Journal of Qualitative Studies on Health and Well-being. 2019;14(1):1632109.

64- Link T. Guideline Implementation: Sterile Technique. AORN Journal. 2019;110(4):415-25.

65- Technologists A. Surgical technology for the surgical technologist: a positive care approach. Cengage Learning. 2012.

66- Barry CL. Surgical Wound Infections. Physician Assistant Clinics. 2021;6(2):295-307.

67- Pitt D, Aubin J-M. Joseph Lister: father of modern surgery. Canadian Journal of Surgery. 2012;55(5): E8.

68- Lister JB, Cameron HC. The Collected Papers of Joseph Baron Lister: The antiseptic system. Surgery. Addresses. Index: Clarendon Press; 1909.

69- Charnley J. A clean-air operating enclosure. BJS (British Journal of Surgery). 1964;51(3):202-5.

70- Charnley J. Postoperative infection after total hip replacement with special reference to air contamination in the operating room. Clin Orthop. 1972;87:167-87.

71- Goddard K. Design of air handling systems. Technical Proceedings of an Institute on Control of Infections in Hospitals. Ann Arbor (MI): University of Michigan. 1965:158-62.

72- Gormley T, Markel TA, Jones H, Greeley D, Ostojic J, Clarke JH, et al. Cost-benefit analysis of different air change rates in an operating room environment. American Journal of Infection Control. 2017;45(12):1318-23.

73- Spagnolo A, Ottria G, Amicizia D, Perdelli F, Cristina ML. Operating theatre quality and prevention of surgical site infections. Journal of preventive medicine and hygiene. 2013;54(3):131.

74- Andersson AE, Bergh I, Karlsson J, Eriksson BI, Nilsson K. Traffic flow in the operating room: An explorative and descriptive study on air quality during orthopedic trauma implant surgery. American Journal of Infection Control. 2012;40(8):750-5.

75- Mathijssen NMC, Hannink G, Sturm PDJ, Pilot P, Bloem RM, Buma P, et al. The Effect of Door Openings on Numbers of Colony Forming Units in the Operating Room during Hip Revision Surgery. Surgical Infections. 2016;17(5):535-40.

76- Smith EB, Raphael IJ, Maltenfort MG, Honsawek S, Dolan K, Younkins EA. The Effect of Laminar Air Flow and Door Openings on Operating Room Contamination. The Journal of Arthroplasty. 2013;28(9):1482-5.

77- Tammelin A, Ljungqvist B, Reinmüller B. Single-use surgical clothing system for reduction of airborne bacteria in the operating room. Journal of Hospital Infection. 2013;84(3):245-7.

78- Lidwell OM, Elson RA, Lowbury EJL, Whyte W, Blowers R, Stanley SJ, et al. Ultraclean air and antibiotics for prevention of postoperative infection: A multicenter study of 8, 052 joint replacement operations. Acta Orthopaedica Scandinavica. 1987;58(1):4-13.

79- Gosden PE, MacGowan AP, Bannister GC. Importance of air quality and related factors in the prevention of infection in orthopaedic implant surgery. Journal of Hospital Infection. 1998;39(3):173-80.

80- Stauning MT, Bediako-Bowan A, Andersen LP, Opintan JA, Labi AK, Kurtzhals JAL, et al. Traffic flow and microbial air contamination in operating rooms at a major teaching hospital in Ghana. Journal of Hospital Infection. 2018;99(3):263-70.

81- Campbell DA, Henderson WG, Englesbe MJ, Hall BL, O'Reilly M, Bratzler D, et al. Surgical Site Infection Prevention: The Importance of Operative Duration and Blood Transfusion—Results of the First American College of Surgeons–National Surgical Quality Improvement Program Best Practices Initiative. Journal of the American College of Surgeons. 2008;207(6):810-20.

82- McHugh SM, Hill ADK, Humphreys H. Laminar airflow and the prevention of surgical site infection. More harm than good? The Surgeon. 2015;13(1):52-8.

83- Noguchi C, Koseki H, Horiuchi H, Yonekura A, Tomita M, Higuchi T, et al. Factors contributing to airborne particle dispersal in the operating room. BMC Surgery. 2017;17(1):78.

84- Knobben BAS, van Horn JR, van der Mei HC, Busscher HJ. Evaluation of measures to decrease intra-operative bacterial contamination in orthopaedic implant surgery. Journal of Hospital Infection. 2006;62(2):174-80.

85- Kasina P, Tammelin A, Blomfeldt A-M, Ljungqvist B,

Reinmüller B, Ottosson C. Comparison of three distinct clean air suits to decrease the bacterial load in the operating room: an observational study. Patient Safety in Surgery. 2016;10(1):1.

86- Blomgren G, Hoborn J, Nystrom B. Reduction of contamination at total hip replacement by special working clothes. The Journal of Bone and Joint Surgery British volume. 1990;72-B (6):985-7.

87- Whyte W, Hamblen DL, Kelly IG, Hambraeus A, Laurell G. An investigation of occlusive polyester surgical clothing. Journal of Hospital Infection. 1990;15(4):363-74.