

بارامترات تهوية غرف العمليات ونماذج تدفقاتها المختلفة

الدكتور المهندس محمد فراس الحناوي*

الملخص

نظراً إلى الأهمية البالغة التي يجب أن تولى بها غرف العمليات الجراحية من حيث التصميم (وعلى الأخص بارامترات نظام التهوية والتكييف) فقد أُجريت عدة دراسات وبحوث ووضعت الكودات العالمية بغية إعطاء البارامترات المثلى لمواجهة هذه المهمة. المئات من المشافي في سورية وكذلك حول العالم ما تزال تعاني من تجرثم الجراح في أثناء العمليات الجراحية. يقوم هذا البحث على إعادة تجميع وتوثيق وبحث أفضل المعلومات التي تساعد الباحث والمصمم لإنجاز مهمتهم، ولاسيما أنّ هذه المعلومات غير متوافرة في مرجع واحد معاً.

ناقش البحث المتطلبات المثالية لتكييف هواء غرف العمليات من حيث الحرارة، والرطوبة النسبية، والفترة اللازمة، وعدد مرات تبديل الهواء اللازمة، والضغوط الواجب المحافظة عليها، والسرعة الوجيهة المنصوح بها. وكذلك أضاف دراسة بحثية مستفيضة للنظام الصفائحي وميزاته عن الأنظمة التقليدية. ناهيك عن وضع أنظمة التعقيم المساندة باستخدام الأشعة فوق البنفسجية داخل الدكاتات وفي الغرف. توصل البحث أن هناك أفكاراً جديدة منها تزويد الهواء من الأرض وطرده على مستوٍ علوي، أو دفع الهواء من الجدار وطرده من فتحات على الجدار نفسه ربما تكون الحل للمعوقات جميعها.

الكلمات المفتاحية: تهوية غرفة العمليات، السقف ذو التدفق الصفائحي

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة الطبية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

مقدمة وأهداف البحث:

تؤدي عقامة غرف الجراحة (غرف العمليات) دوراً كبيراً في حماية المرضى الخاضعين للعمليات الجراحية من تلوث الجروح بالميكروبات والتي بدورها قد تهدد حياتهم وتزيد من مدة المكوث في المشافي مدة عشرة أيام، فضلاً عن فاتورة باهظة الثمن نتيجة استخدام الصادات الحيوية لعلاجهم (تزيد على ألفي دولار أمريكي) [1].

كما أنّ الكثير من مشافي الجمهورية العربية السورية تزرع تحت نقشي انتشار جرثومة جروح المرضى داخل غرف العمليات مما يؤدي إلى تكاليف عالية لمعالجتهم أو وفيات لأولئك المرضى مع الأخذ بالحسبان نجاح العمل الجراحي الذي من أجله خضع المريض للجراحة ودخول المشفى. لذلك كان لا بد من وضع ورقة عمل تلتفت نظر المصممين والباحثين السوريين إلى ضرورة أخذ الحيطة لتحسين عقامة تلك الغرف وأحد هذه الإجراءات هي معالجة هواء غرفة العمليات بالمعالجة المناسبة، ومن ثم متابعة تلك المعالجة بألية تزويد لذلك الهواء.

هدف هذا البحث إلى مراجعة بارامترات ومتطلبات غرف العمليات وفق أحدث ما توصلت إليه البحوث، وكذلك طرائق وأشكال تزويد هواء غرف العمليات وأفضل نظام تزويد وفق أحدث المقالات العالمية والمقارنة بينها. والخلوص إلى أفضل التوصيات لمصممي غرف العمليات وأنظمة تكييفها.

قامت بحوث مختلفة في مجال تهوية وتكييف غرف هواء غرف العمليات نظراً إلى كون غرف العمليات باهظة الثمن من حيث التكاليف كما أنّها تؤمن 33% من دخل المشفى [2]. تعدّ غرف العمليات مكاناً نظيفاً. يشار إلى مستوى تنظيف الهواء من الجزيئات المولدة فيه، وذلك بالإشارة إلى أرقام التصنيف المخصصة من خلال عدد الجزيئات المسموح بها لكل متر مكعب. تبعاً للمنظمة العالمية للمعايير (ISO) فإن

تصنيف نظافة الهواء له تسعة معايير [3]. وقد نص المعيار على الطلب لتكون غرف العمليات على الأقل من التصنيف 7 (ما يعادل 10000 تبعاً للمعيار الأمريكي)، أي المحيط الذي يحوي أقل من 352000 جزيئة بمقاس 0.5 ميكرو متر كقطر بمتري مكعب من الهواء، في حين التصنيف 8 يشير إلى أنّ المحيط الذي يحوي أقل من 3520000 جزيئة بمقاس 0.5 ميكرو متر كقطر بمتري مكعب من الهواء [4,5].

علماً بأن المرجع الأساسي لمهندسي التدفئة والتكييف (ASHRAE) [6] قد حدد متطلبات البارامترات المناسبة لمعالجة هواء غرف العمليات، لكن تعددت المراجع العلمية التي اختلفت فيما بينها لذا نعرض أهمها في كل بارامتر.

العوامل (البارامترات) المؤثرة في تهوية غرف العمليات وعقامتها:**a. درجة الحرارة:**

حددت درجة الحرارة من 24-20 مئوية لكن هناك بعض التغييرات التي يسمح بها المعيار ففي غرفة عمليات القلب المفتوح حيث يفضل أن تكون درجة الحرارة 17 درجة مئوية، لكن في غرف عمليات الأطفال يفضل استخدام حرارة مرتفعة نظراً إلى أنّ جسم الطفل لا يتحمل على الرغم من أنّ مثل هذه الحرارة قد تكون غير مريحة للطايقم، فقد قامت دراسات فصلت درجات الحرارة المفضلة لكل مجموعة، ففي حين يفضل المخدرون حرارة بين 23-24 درجة مئوية أمّا الممرضات فيفضلن 22-24.5 درجة مئوية أمّا الجراحون فيفضلون 19-18 درجة في حين يفضل للمريض بين 24-26 درجة [7]. علماً بأن هناك عدة عوامل تؤدي دوراً في البث الحراري مثل لباس العمليات، كذلك فإن إضاءة العمليات تضيف 6-7 درجات مئوية فوق طاولة العمليات و12-10 درجة مئوية على ارتفاع 1.1م من الأرض عند منطقة الطاولة [8].

b. الرطوبة النسبية:

أظهرت الدراسات أن 99.9% من جميع البكتيريا الموجودة في المشفى تزال بواسطة الفلاتر ذات الفعالية 90-95%، وذلك بسبب أن البكتيريا توجد كوحادات تشكل مستعمرات، ومن ثم تكون أكبر من 1 ميكرومتر [9] في حين الفيروسات تكون أصعب لكونها أصغر من ذلك.

تؤدي الرطوبة النسبية دوراً مهماً وضرورياً في العقامة والراحة، وكذلك تدخل في نجاح وعواقب العمليات الجراحية. فغرفة عمليات جافة تؤدي إلى تخثر الجرح. حددت المراجع الرطوبة النسبية المنصوح بها وهي بين 30-60%، ويفضل أن تزود الرطوبة النسبية من خلال مرطبة تعطي بخاراً جافاً [6].

d. عدد مرات تبديل الهواء:

أغلب المعايير العالمية قد نصت على تغيير هواء 20 مرة بالساعة للحصول على 50-150 مستعمرة [10,11]. كما اشترطت المعايير 100% هواءً جديداً. يجب أن لا يختلط الهواء الخارجي الجديد مع المطرود. كما أن نموذج توزيع الهواء وعدد مرات تبديل الهواء [12] يؤدي دوراً كبيراً في العقامة، فعلى سبيل المثال عندما ينحني الجراح باتجاه المريض فإن تيار الهواء الذي يمر عبره يؤدي إلى زيادة فرصة تلوث الجرح 27 مرة [13].

c. فلاتر الهواء:

تجهز وحدات معالجة الهواء (Air Handling Unit (AHU) بمجموعة من الفلاتر وتتضمن عدة مجموعات: 1- فلاتر لإزالة الجزيئات السائلة والصلبة 2- فلاتر لإزالة الغازات والأبخرة 3- فلاتر لإزالة البكتيريا. إن التحكم بتركيز الملوثات الميكروبية في غرف العمليات عادة ما يتم من خلال فلاتر لجزيئات الهواء عالية الفعالية، والتشعيع بواسطة الأشعة فوق البنفسجية (UVGI). وإجراءات عقامة عالية [7].

e. الضغوط داخل غرف العمليات:

فضلاً عن تطبيق ضغط موجب بحيث تكون الغرفة ذات ضغط موجب أعلى من الأماكن المجاورة لها. لضمان عدم تسرب أي من الهواء غير المعالج المجاور لها حيث يفضل الانضغاط 2.5 باسكال [8] عن ضغوط الأماكن المجاورة. كما يفضل الباب المنزلق ولكن في حال الأبواب المتأرجحة أن تكون فتحتها إلى داخل الغرف.

عادة ما تستخدم فلاتر بثلاث مراحل داخل وحدات معالجة الهواء لغرف العمليات:

أ- فلتر أولي هو المبدئي B2 يتوضع مباشرة بعد دخول الهواء إلى وحدة معالجة الهواء بفعالية 30-50% ويمكنه اصطلياد الجزيئات الصلبة الأكبر من 0.3 ميكرو متر.

ب- فلتر مرحلة ثانية C هو فلتر قليل الثخانة (فعالية 95%) يمكنه اصطلياد الجزيئات أقل من 0.3 ميكرو متر، وتتوضع عند مخرج الهواء لوحدة المعالجة وكذلك يمكن أن تخدم لحجز نقاط الماء والجسيمات الميكروبية التي تأتي من ملف التبريد.

f. توفير الطاقة في ساعات العمل وعدم العمل:

عادة ما يجب أن يبقى نظام التكييف عاملاً حتى في أوقات الليل، أو عدم إجراء عمليات للإبقاء على أجواء عقيمة، وكذلك الضغوط مما يمنع اختلاط الأجواء المحيطة مع أجواء غرف العمليات لذلك يجب الأخذ بالحسبان من خلال تعديل سرعة المراوح من خلال نظام تحسس لتغيرات انخفاض الضغط للفلاتر. أي عندما لا تكون غرفة العمليات تعمل يعدل معدل

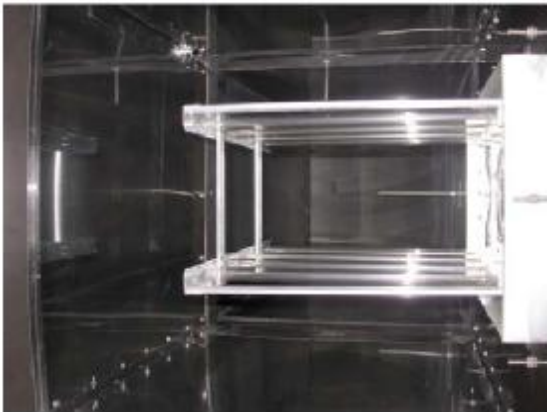
ت- فلتر مرحلة ثالثة S (فعالية 99.97%) وتتوضع بالقرب من غرف العمليات، وذلك لتنظيف الهواء من أي جزيئات تسربت من الفلاتر السابقة.

حراري بين الهواء المطرود والهواء الجديد الداخل إلى وحدة معالجة الهواء. وفي هذه الحالة لا يختلط كلاهما بل يتبادلان عن طريق سطح مشترك. كما يساعد هذا النظام في زيادة ضغط الهواء الداخل [18].

III- استعادة الطاقة (Energy recovery): نظام التكييف المعتمد على التجفيف. خاصة في المناطق التي فيها المتطلبات عالية مع وجود رطوبة عالية على مدار السنة وتغيرات حرارية صغيرة للهواء. فضلاً عن معدلات تهوية عالية التي تخفف من فعالية إزالة الرطوبة النسبية لوحدات تكييف الهواء التقليدية.

g. الأنظمة المساندة في تعقيم الهواء:

توجهت أغلب البحوث العالمية الجديدة التي تتبنى إعادة استخدام الأشعة فوق البنفسجية نموذج C بطول موجة 254 نانو متراً. وذلك في عدة أماكن أهمها خلف الفلتر البكتيري داخل مجاري الهواء الشكل (1)، ومن ثم استخدامه في غرف العمليات على كلا المنسوبين العالي للغرفة في أثناء العمل الجراحي وعلى المستوى المنخفض بعد انتهاء العمل الجراحي وفي أثناء الاستراحة لتطهير باقي أجزاء الغرفة ذات المستوي المنخفض .



الشكل (1) يبين استخدام لمبات الأشعة فوق البنفسجية نموذج C بطول موجة 254 نانو متراً داخل مجاري الهواء.

تغذية الهواء إلى 30% من الحمولة الكلية أي بتركيب نظام تحكم لحالات اللاعمل التي تخفف معدل تغيير الهواء الكلي ومن ثم استهلاك الطاقة [14].

في ألمانيا فإنه من الطبيعي أن يتم تخفيض حجم الهواء المدور بنسبة 15-50% في حالات عدم استخدام غرف العمليات، بينما تنص التعليمات في النمسا على إمكانية إطفاء التكييف في أثناء عدم استخدام غرف العمليات [15]. ففي الولايات المتحدة وحسب توصيات منظمة مراكز التحكم والوقاية من الأمراض CDC

(Centers for Disease Control and Prevention) فإنه يمكن إطفاء نظام التكييف للمكاتب ومناطق الإدارة بشرط أن لا تؤثر بشكل معاكس في فروع الضغط. لذلك وكما أمكن تجنب إطفاء نظام التكييف. دلت الدراسات على أن خلال مدة إطفاء التكييف فإنه لا يسبب ذلك تعداداً عالياً غير مقبول أو تلوثاً بكتيرياً [15]. كما أن الزمن اللازم لإزالة الملوثات يعتمد على عدد مرات تغيير الهواء بالساعة [16]، فعلى سبيل المثال في حال 10 مرات تغيير الهواء بالساعة فإن الزمن اللازم 28 دقيقة (99%) و 41 دقيقة (99.9%) ومن أجل 50 مرة تغيير الهواء بالساعة ينخفض الوقت إلى 14 دقيقة (99%) و 21 دقيقة (99.9%).

من كل ما ذكر سابقاً نلاحظ أن تشغيل نظام تكييف غرف العمليات يؤدي إلى نفقات عالية مما اضطر المؤسسات العالمية إلى دراسة بعض الإجراءات التي توفر في تلك الطاقة المصروفة من خلال:

I- نظام حجم الهواء المتغير (Variable Air Volume): إن مثل هذا النظام سيقوم بتخفيض معدلات تغيير الهواء في أثناء حالات توقف غرف العمليات عن العمل [17].

II- استعادة الحرارة المحسوسة (Sensible Heat Recovery): استعادة الحرارة من خلال مبادل

وحدات فتحات تزويد هواء الدفع وفتحات السحب بالأبعاد نفسها 0.61 م عرض و0.36 م ارتفاع.

أظهرت الدراسات أن تغيير مكان فتحات تزويد الهواء باتجاه الخط المتوسط لطاولة العمليات قد أثر من خلال تحسين نموذج توزيع الحرارة، ومن ثم الملوثات (التي انخفضت) إن الحالة الأولية أظهرت مجال درجة حرارة بحدود 24 مئوية بقيمة 25.5 مئوية عند الخط المتوسط لضوء العمليات باتجاه المريض وتعداد ملوثات بحدود 70 ملغ/كغ هواء يزيد إلى 160 ملغ/كغ هواء على نقطة العمود (خط الوسط للمريض). بينما أدى زحل الفتحة إلى خط الوسط على الحائط إلى انخفاض درجة الحرارة إلى حدود 22.5 مئوية ما عدا عدة نقاط كانت فوق تلك الدرجة، وذلك نظراً إلى الحمل الحراري الناتج عن ضوء العمليات.

كما انخفضت نسبة الملوثات إلى 55 ملغ / كغ هواء فوق طاولة العمليات مع بقاء بعض النقاط على الخط المتوسط لضوء العمليات بتعداد 150 ملغ / كغ هواء. أكد البحث عدم أهمية موقع فتحات السحب.

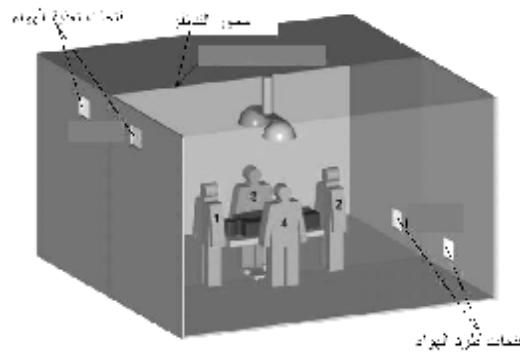
باستخدام برنامج MINITAB قامت مجموعة من العلماء [20] باستخدام خلية اختبار بمقاس كامل والتي صُمِّمَتْ خصيصاً للقياسات التفصيلية لتدفقات الهواء في الحالات المختلطة: تتألف المنشأة من خليتين متماثلتين الخلية 1 والخلية 2 والتي تقيس كل واحدة منهما 3.1X3.1X2.5 متراً مكعباً الشكل (4) فُصِّلَتِ الخلية 1 بواسطة حائط زجاجي عن الحجرة المناخية، والتي يمكن لنظام معالجة الهواء الخاص بها أن ينتج حرارة بين -10 درجات مئوية و+30 درجة حرارة مئوية. تم إبقاء العازل الحراري بدرجة حرارة موحدة عند 20 درجة مئوية ليمثل الفراغات المجاورة. تبين أنه عندما يكون نظام تزويد الهواء موجوداً في القسم العلوي من الغرفة بينما يكون قسم سحب الهواء متوضعاً في الجدار المقابل بأن مثل هذا النظام يكون فيه تركيز الملوثات أقل ما يمكن. ويمكن

أنظمة تزويد الهواء وسحبه: في غرف العمليات:

i- نظام تزويد الهواء التقليدي:

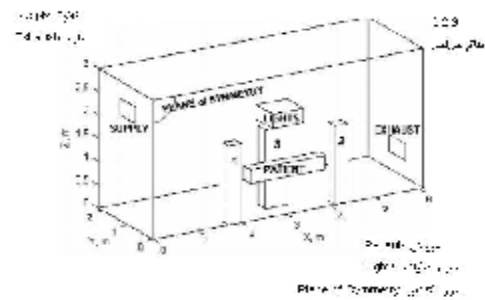
اعتمد هذا النظام تزويد الهواء المعالج النظيف من خلال فتحات على الجدران من أعلى الغرفة، ومن ثم سحب الهواء المراد طرده من فتحات في أسفل الغرفة على الجدار المقابل.

اختبر النظام التقليدي بتزويد الهواء لغرفة عمليات بأبعاد 6.1 م طول و4.3 م عرض 3 م ارتفاع ذات ترتيب الفرش، كما هو مبين بالشكل (2) [19].



الشكل (2) يبين غرفة عمليات بأبعاد 6.1 م طول و4.3 م عرض، و3 م ارتفاع ذات ترتيب الفرش كما هو مبين

من خلال نمذجة الموديل لنصف الغرفة على أساس التناظر ذات الأبعاد 6.1 م طول و2.15 م عرض، و3 م ارتفاع الشكل رقم (3).



الشكل رقم (3) - يبين النموذج الرياضي لنصف الغرفة ذات

الأبعاد 6.1 م طول و2.15 م عرض، و3 م ارتفاع

وبمساعدة برنامج ديناميك السوائل الحسابي (CFD) مع افتراض أن ضوء العمليات هو أعلى الغرفة وأن عدد المشاركين في العمل الجراحي 3 أشخاص. حيث

ضبط تدفق هواء التهوية بحدود 100 م³/سا للحصول على سرعة هواء بحدود 2.5 م/ثا عند مدخل هواء الغرفة وذلك لتمثيل الحالة الحقيقية . اعتمدت السرعات الحقيقية أكثر من اعتماد معدلات تغيير الهواء، لأنه على الرغم من إن كلا البارامترين لهما أثر في نماذج تدفق الهواء، لكنه وجد أنه عند معدلات تغيير هواء مرتفعة لم يكن هناك أثر على فعالية نظام التهوية.

جهاز داخل الخلية بطاولة خشبية بأبعاد 2x0.47x0.14 متراً مكعباً مدعومة بأنبوب 1.7x0.7x1.4 متراً مكعباً وكلاهما طليا باللون الأبيض. أما تمثيل الأشخاص فقد استخدم دمي سوداء بأبعاد 1.7x0.3x0.2 متراً مكعباً، في حين استخدم ضوء عمليات نوعاً منخفض الحرارة متوضعا على ارتفاع 1.12 م فوق مركز الطاولة. مثلت الملوثات بواسطة تيار من غاز يمكن رؤية أثره يخرج من فم الدمية عند ارتفاع 1.52 م . معدل تدفق غاز الأثر نحو 15 مل/د وهو سولفار هيكسوفلورايد (SF₆)، والسبب في استخدامه كونه يمكن تقفي أثره عند معدلات تراكيز منخفضة ولا يتفاعل كيميائياً مع الهواء. كما أنه أثقل من الهواء ومن ثم فإنه يتصرف بطرائق مشابهة لأكثر ملوثات الهواء الشائعة.

وباستخدام نظام تزويد الهواء القطري (الجانبى) هبطت الملوثات وتلقى الكمية الممكنة الخارجة عن الفريق الطبي. لذا فإنه يمكن أن يكون الحل المناسب بكون توضع فتحات تزويد الهواء بأسفل الغرفة والسحب بالقرب من السقف، في هذه الحالة فإن الملوثات سوف تخرج دون أن تسقط على المريض.

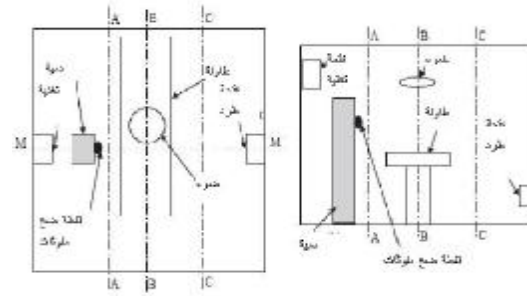
ii - نظام تزويد الهواء الصفائحي (Laminar Flow Ceiling):

علماً بأن أغلب البحوث الأخيرة قد توجهت إلى تركيبة استخدام نظام تزويد الهواء الصفائحي (Laminar Flow) لكن بقي النموذج الذي سيعتمد في هذا الموضوع هو

لفتحة تزويد الهواء أن تكون فوق المريض مباشرة أي مركزية أو في إحدى الجهات الجانبية.

من أجل القيام بتجربة حقيقية تم اعتماد هذا النموذج في مشفى اونيل ديو بليون - فرنسا حيث جُهزتْ غرف العمليات بالنموذج الجانبى (فتحتي تزويد هواء في السقف لكن ليست مباشرة فوق طاولة العمليات في حين توضع فتحات السحب في الجزء السفلي من الحائط).

تراوحت سرعات تزويد الهواء من 2.15 إلى 3.9 م/ثا . كانت سرعات الهواء قريبة من طاولة العمليات منخفضة جداً لتقيس 0.1 م/ثا، وتغيرت درجة الحرارة تبعاً للجراح ونوع العملية الجراحية. لكن أكثر القيم شيوعاً كان بحدود 19-20 درجة مئوية.

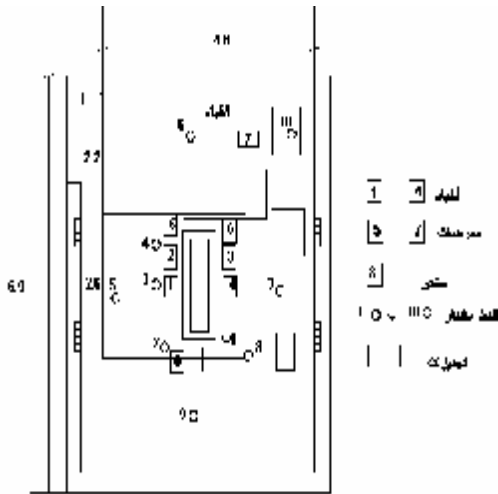


الشكل رقم (4) يوضح على اليسار مسقطاً أفقياً للغرفة، أما على اليمين فيوضح مقطوعاً عرضياً عند الخط MM لفريق [21] Woloszyn, M.

صُممت كل من طاولة العمليات ونظام الإنارة خصيصاً لغرف العمليات الذي يركز الضوء على بقعة صغيرة (100000 لوكس على مساحة 100 سم²) ودرجة حرارة لونية 3000 كيلفن لكن بانبعث حراري محدود في المنطقة المنارة. عادة يتوضع الضوء بين فتحات دفع الهواء والمريض. وكذلك فإن الطاقم الطبي الذين يشكلون عوائق متحركة بين فتحات دفع الهواء والمريض وهم مصدر الملوثات فقد كان من الصعب تمثيل أشكالهم وحركاتهم بشكل دقيق، لكن كان بالإمكان أخذ باقي البارامترات بالحسبان. وقد تم توضع فتحات سحب الهواء بحيث تشكل توزيعاً جانبياً (قطرياً) للهواء.

وضعت عدد من المستنبتات الجرثومية في المواقع المنوه عنها بالأشكال. المستنبت (المزرعة الجرثومية) 1 والمستنبت 2 وضعت في منطقة تغطية تغذية الهواء على ارتفاع 1 م في حين وضعت الأخرى على الأرض بمكان حقل الاختبار نفسه.

كان عدد طاقم العمل في الغرفة B ثمانية، في حين كان تسعة في الغرفة A. كانت مدة وضع تلك المستنبتات 30 دقيقة للحصول على أعداد ترسبات المستعمرات الجرثومية، ومن ثم استبدل كل واحد بآخر مدة 30 دقيقة أخرى. حضنت المستنبتات الجرثومية بدرجة 32.1 مئوية مدة 48 ساعة (الذي اعتمد عليها من خلال معايير وكالة الفضاء الأمريكية NASA). ثم قام الباحثون بتعداد المستعمرات بواسطة الميكروسكوبات (CFU Colony Forming Unit). أثرت حركة الطاقم في الغرفة B مما أدى إلى تعداد مستعمرات وصلت إلى معدل 36 و 28.5 CFU للنقاط 1 و 2 على التوالي. في حين في الغرفة A أظهرت نتيجة الصفر لكل من تلك المواقع.



الشكل رقم (6) يوضح تشكيلة الغرفة مصممة حسب المعيار ISO Class 6

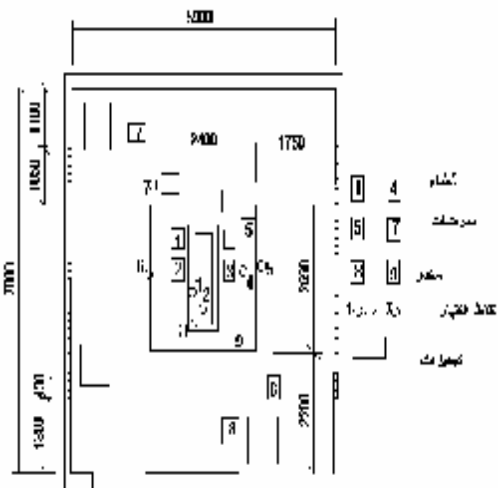
صُمِّمَت الاستراتيجيات B و C حيث كانت تقضي الاستراتيجية B بتخفيض عرض فلتر هواء الدفع بمقدار 200 مم وزيادة سرعة هواء الدفع بمقدار

السؤال الأهم لتخفيف تراكم الأحياء الدقيقة في موقع العمل الجراحي.

بمقارنة التعداد البكتيري بين غرف العمليات ذات التصنيف HI3 مزودة بسقف ذي تدفق صفائحي وفلاتر بكتيرية مع غرف معالجة جراحية وتشخيص شعاعي مزودة بفلاتر مرحلة ثانية تصنيف F7 أو F9 .

أظهرت النتائج على منسوب ارتفاع العمل الجراحي أن الجزيئات الدقيقة وفوق الدقيقة المجاورة لمنطقة العمل الجراحي وعلى مستوى طاولة الأدوات الجراحية كانت أقل بعشرين مرة في غرف العمليات التدفق الصفائحي عن مثيلتها لغرف المعالجة والتشخيص دون أنظمة تهوية ذات نظافة فائقة. كما أظهرت الدراسة أن نوع العمل الجراحي وعدد المشاركين وكمية المحادثة لم يكن لهم أثر يمكن ذكره في العقامة [21].

قامت مجموعة Rui .Z. [22] باختبار غرفتي عمليات بنيتا حديثاً ومجهزتين بتدفق صفائحي حسب المعيار ISO Class 5 (الغرفة A) الشكل رقم (5) (سرعة الهواء 0.43 م/ثا وعدد مرات تبديل الهواء 85 مرة بالساعة) والأخرى (الغرفة B) الشكل رقم (6) حسب المعيار (ISO Class 6) (سرعة الهواء 0.2 م/ثا وعدد مرات تبديل الهواء 38 مرة بالساعة) كغرف عمليات.



الشكل رقم (5) يوضح تشكيلة الغرفة مصممة حسب المعيار ISO Class 5

كانت مقاسات الغرفة التي تمت عليها الدراسة $3.66\text{m} \times 6.1\text{m} \times 6.1\text{m}$ ارتفاع، كان عدد أعضاء الطاقم الطبي 4، ومريضاً واحداً، خلف طاولة واحد، جهاز تخدير واحد، شاشتي مراقبة، جهازاً غير عامل، ضوئي عمليات. زود الهواء من خلال فتحتين كل منهما تنتج $0.35 \text{ م}^3/\text{ثا}$ وبمعدل تغيير للهواء 18.75 مرة/ في الساعة بأبعاد $0.36 \times 0.6 \text{ م}$ ، ودرجة حرارة الهواء الخارج من فتحات الدفع 19.71 درجة مئوية في حين درجة الهواء المطرود 22.21 درجة مئوية. اعتمدت 4 فتحات طرد كل منها تسحب $0.17 \text{ م}^3/\text{ثا}$ وبأبعاد للفتحات $0.36 \times 0.61 \text{ متر}$ لكل واحدة. أمّا مصادر الحرارة فقد افترضت بأنها ثابتة وليست متقطعة، وقد كان الحمل الحراري الكلي التبريدي 2166 واط. بيّنت الدراسة أن الممارسة في زيادة عدد مرات تبديل الهواء إلى مستويات عالية قد أدى إلى إزالة للجزيئات عبر التكيف (التهوية)، لكن لم يكن يعني بالضرورة انخفاضاً بالجزيئات التي تضرب السطوح ذات الاهتمام.

-إنّ النسب المئوية التي تضرب موقع الجراحة من المواقع الرئيسية أو مواقع الممرضات هي منخفضة أقل من 1% وذلك بسبب أعمدة الهواء الحرارية التي تسود نسبياً موقع الجراحة. وتكون هذه النسبة مأخوذة بالحسبان عندما تتحرر الجزيئات بالقرب من موقع الجراحة.

-إنّ عدد مرات تبديل الهواء لم تكن ذات أهمية في تحليل موقع الجراحة، كما هو تصميم نظام التهوية. حيث كانت عدد الجزيئات التي تضرب موقع الجراحة أقل عندما تكون 20 مرة بالساعة عنها في التي تستخدم 150 مرة بالساعة.

-في النظام الذي يستخدم التدفق الصفائحي، فإنه من المفيد استخدام فتحات سحب كمزيج من العلوية والسفلية عن تلك التي تستخدم إما علوية أو سفلية.

متناسب معه، فقد انخفض تعداد المستعمرات الجرثومية بمعدل 9 CFU (13%) مقارنة بالتصميم الأساسي للغرفة A.

أمّا الاستراتيجية C فقد تم زيادة مساحة الفلتر البكتيري بمقدار 200 مم وخفضت السرعة تبعاً لذلك، لذا انخفضت تعداد المستعمرات الجرثومية بمعدل 18-26% مقارنة بالأساسي.

أعيد نمذجة الحالة بزيادة سرعات الهواء مع مساحة فتحات هواء التزويد نفسه، وقد أظهرت النتائج زيادة في تعداد المستعمرات الجرثومية إذا زادت السرعة فوق حد معين.

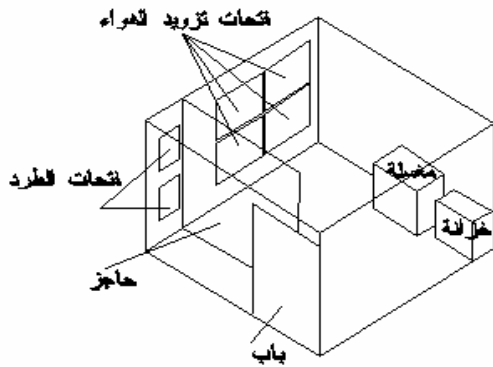
ولمتابعة الجزيئات بغرض مقارنة خطر الملوثات في غرف العمليات الجراحية وموقع العمل الجراحي وخلف الطاولة لعدة أنظمة تهوية فقد استخدم محاكاة لطرائق تدفق الهواء. أخذت بالحسبان الدراسة فتحات تهوية مستحدثة وشائعة منها التقليدية، وشفائحية، وغير مرذدة، وأنواع فتحات التهوية القابلة للإزاحة. فضلاً عن اعتماد معدلات تغيير الهواء من 150-15 مرة في الساعة [23].

تم الاتفاق على توزيع غرف العمليات وفرشها مع مجموعة أطباء ومهندسين على أساس أنها غرف حديثة التصميم. كما اعتمدت الجزيئات ذات المقاس 10 ميكرون. حررت الجزيئات من 3 مواقع في الغرفة والتي تمثل الأماكن المحتملة لتوليد الملوثات، وتوبعت حتى تبيّن هل ستهبط على موقع العمل الجراحي أو خلف الطاولة.

أظهرت النتائج أن أفضل نموذج لتزويد الهواء هو الصفائحي، كما أنّ السرعة الوجهية (Face Velocity) كانت بين 0.15-0.18 م/ثا هي كافية لمصفوفة فتحات تزويد الهواء الصفائحية، طبعاً شرط أن يكون مقاس فتحة الهواء مناسباً للغرفة.

إلى المريض شاقولياً مثل ضوء العمليات ربما تولد دوامة وتراكماً للجزيئات [25]، فضلاً عن كون درجة حرارة سطوح الإنسان هي عادة أعلى من تلك التي تعود للهواء المجاور والأعمدة المشكّلة من تدفق الهواء التي تتراقص نتيجة الفرق بين درجات حرارة سطح الإنسان والبيئة. ويتدفق هوائي إلى الأعلى يمكنه وبسهولة زعزعة نموذج تدفق الهواء ذي الحركة الهابطة المتشكل عن نظام التهوية ويحمل جزيئات معدية للجرح؛ مما يؤدي إلى تلوث موقع الجرح في غرفة العمليات.

لتجنب مثل هذه السيئات لنموذج تدفق الهواء التقليدي المطبق على غرفة العمليات فإن البديل هو نموذج تدفق هوائي أفقي. فقد اختبرت فعالية الهواء أحادي الاتجاه الأفقي للتحكم بالجزيئات المتولدة في الهواء الملوث من خلال فحص في الموقع ونمذجة الطريقة بواسطة برنامج ديناميك السوائل الحسابي (CFD) لغرفة عمليات بأبعاد 300 سم طولاً و 296 سم عرضاً و 240 سم ارتفاعاً.



الشكل رقم (7) - يوضح شكل الغرفة لنموذج اعتماد أحد جدران غرفة العمليات هو مصدر هواء الدفع (FFU) والسحب (Return Grille) شرط وجود حاجز (Partition) لمنع فسر دائرة الهواء .

ركبت كل من فتحات تزويد الهواء (ذات المساحة الكلية 169 سم x 169 سم) وسحب الهواء (بفتحتين كل منهما بأبعاد 40.3 سم x 70 سم) على الحائط نفسه

على كل حال فإن استخدام فتحات طرد علوية أو سفلية وحدها لم تكن ذو فارق واضح عندما لا يكون هناك خيار .

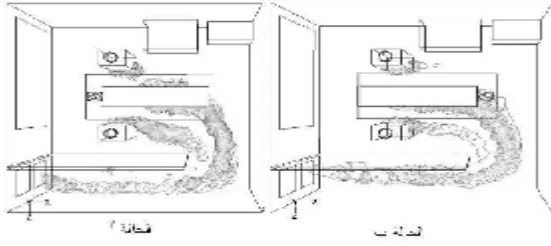
-إن السرعة الوجيهة الموصى بها في نظام التدفق الصفائحي هي بحدود 0.15-0.18 م/ثا.

بمحاكاة تدفق الهواء ومتابعة حركة الجزيئات لمعرفة تأثير تضاريس غرفة العمليات على الأخص تغيرات ارتفاع سقف غرفة العمليات [24]. حيث غير ارتفاع سقف غرفة العمليات من 2.74 إلى 3.66 م بخطوة 0.3 م. وكذلك تغيير عدد مرات تبديل الهواء في كل ارتفاع من 20-30 مرة في الساعة.

وجد أنه من المثير معرفة نسبة الجزيئات الملوثة التي تسقط على الموقع الجراحي تتخفف بانخفاض ارتفاع السقف عند عدد مرات تبديل الهواء 20 مرة في الساعة. هذه الحقيقة تثمن حقيقة أن التيار الهوائي الخارج من السقف المجهز بالنموذج الصفائحي هو فعال في كنس الجزيئات بعيداً عن موقع الجراحة، لكن هذا مرتبط بإبقاء عدد مرات تبديل الهواء ثابتة. أي إن عدد مرات تبديل هواء بين 20-25 مرة بالساعة وسرعة هواء ووجيهة بحدود 0.13-0.18 م/ثا هي كافية ، كما أن المساحة المطلوب أن تغطيها هذه المصفوفة من فتحات الهواء هي طاولة العمليات فضلاً عن هامش للعاملين حولها من كل الجوانب.

iii - النموذج الجديد من طريقة تزويد الهواء:

لوحظ أن الحركة الهابطة لتزويد الهواء التي تتأثر بمجموعة من العوامل منها إضاءة العمليات وأعمدة الهواء الناشئة حول الجرح فيها بعض السيئات التي لا يمكن حذفها، وذلك تبعاً لنموذج التدفق وحيد الاتجاه الشاقولي إذ تعدّ العوائق الداخلية العوامل الأساسية التي تؤثر في نماذج التدفقات الهوائية ومن ثمّ تعاكس فعل الهواء النظيف في عزل الجزيئات المعدية. وكذلك كل التركيبات التي توجد على طريق الوصول



الشكل رقم (9) - يوضح : الحالة أ تحرك الملوثات ورأس المريض مباشرة خلف فتحة دفع الهواء ، الحالة ب تغيير وضعية رأس المريض بحيث تكون مع التيار.

النتائج ومناقشتها:

أ- إذا كان لا بد من الاستخدام التقليدي في تزويد غرف العمليات بالهواء المكيف (وذلك محاولة لتخفيف العبء المالي من جراء ارتفاع سعر النموذج الصفائحي) فإن على المصمم محاولة توزيع فتحات تزويد الهواء باتجاه الخط المتوسط لطاولة العمليات (طبعاً بعد الأخذ بالحسبان التناظر للفتحات) [19, 20].

ب- لم يكن هناك أي تأثير لتوضع أمكنة فتحات طرد الهواء على الحائط المقابل أسفل الحائط لفتحات السحب أي تغيير على أداء النظام السابق ذكره [19, 20].

ت- نظام التدفق الصفائحي من السقف منتصف الغرفة هو الحل الأهم حيث يؤدي إلى تقليل عدد الجزيئات الدقيقة والمجهرية في منطقة العمل الجراحي بمقدار 20 مرة، مقارنة بالنظام التقليدي [21, 23].

ث- لم تظهر الدراسات أثراً لعدد المشاركين ونوع العمل الجراحي وكمية المحادثة في أعداد الجزيئات الدقيقة [21]، لكن حركة الطاقم أثرت في توزيع المستعمرات في أرجاء الغرفة [22].

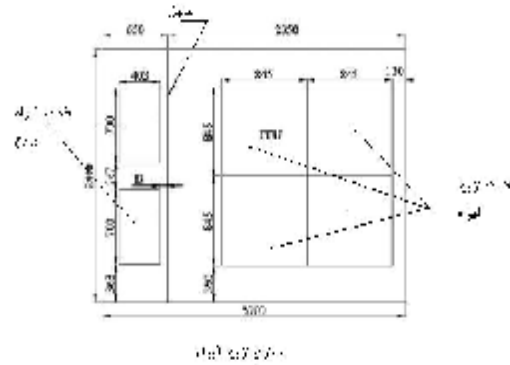
ج- إن زيادة مساحة الفلتر مع انخفاض سرعة تدفق الهواء قد أدى إلى انخفاض المستعمرات الجرثومية.

لغرفة العمليات الشكلان رقم (7) و (8)، وقد وضع حاجز بين منطقة تزويد الهواء وفتحات سحب الهواء لمنع قصر دارة تدفق الهواء. مما أدى إلى إجبار دارة الهواء للحركة من فتحة الدفع إلى فتحة السحب مع المحافظة على ضغط موجب.

تم استخدام فلتر بكتيري (HEPA) بفعالية 99.99%، وضعت طاولة العمليات في منتصف الغرفة، ثم افترض وجود جراح أو جراحين موجودين على جانبي طاولة العمليات من الخلف كما ركب ضوءاً عمليات بسقف الغرفة.

ضبط معدل تحرير الجزيئات إلى 600 جزيئة/د للجراحين و 400 جزيئة/د للمريض.

كان متوسط سرعة الهواء 0.32 م/ثا بانحراف معياري 0.05، لذلك فقد ضبطت السرعة بشكل يضمن لها أن تكون موحدة 0.32 م/ثا لتكون الحالة الحدية. تبين أنه لإبقاء تركيز منخفض للجزيئات في المنطقة الحرجة يجب أن تكون المنطقة الحرجة باتجاه تيار الهواء نفسه الخارج من المنبع الشكل رقم (9).



الشكل رقم (8) - يوضح أبعاد الحائط ومصدر دفع الهواء (FFU) والحاجز (Partition)

وفتحات سحب الهواء (return grille).

العربية السورية، وعدم كفاية المعلومات التي توفرها المراجع المهنية المتوافرة لدعم الباحث والمصمم لمعرفة أفضل الحلول ووضعها قيد التنفيذ. مما سبق يمكن الخلوص إلى أن بارامترات التصميم المثالية لتكييف غرف العمليات هي:

1- درجة الحرارة من 20-24 درجة مئوية.

2- الرطوبة النسبية: الرطوبة النسبية المنصوح بها هي بين 30-60% من خلال مرطبة تعطي بخاراً جافاً.

3- استخدام فلتر الهواء: تجهز وحدات معالجة الهواء (Air Handling Unit AHU) بفلتر بثلاث مراحل: أ- فلتر أولي هو المبدئي B2 يوضع مباشرة بعد دخول الهواء ب- فلتر مرحلة ثانية C وتوضع عند مخرج الهواء من وحدة المعالجة ج- فلتر مرحلة ثالثة S (فعالية 99.97%) وتوضع بالقرب من غرف العمليات.

4- عدد مرات تبديل الهواء: 20-25 مرة بالساعة هو أفضل رقم دلت عليه البحوث.

5- زيادة الضغوط داخل غرف العمليات: أقل زيادة ضغط 2.5 باسكال عن الأجواء المحيطة.

6- توفير الطاقة في ساعات العمل وعدم العمل: يمكن إيقاف نظام التكييف للمكاتب ومناطق الإدارة بشرط أن لا تؤثر بشكل معاكس في فروع الضغط. لذلك وكلما أمكن تجنب إيقاف نظام التكييف.

7- اتخاذ الإجراءات التي توفر في تلك الطاقة المصروفة من خلال:

نظام حجم الهواء المتغير (Variable Air Volume) - نظام استعادة الحرارة المحسوسة

(Sensible Heat Recovery) - نظام استعادة الطاقة (Energy recovery).

ح- زيادة سرعة تدفق الهواء يزيد من المستعمرات الجرثومية.

خ- بيّنت البحوث أن عدد مرات تبديل الهواء بحدود 20 مرة بالساعة ذات فعالية في تخفيض عدد الجزيئات التي تضرب موقع الجراحة، ومن ثمّ فإنّ الزيادة التي تصل لـ 150 مرة بالساعة قد أدت لتزايد عدد الجزيئات التي تضرب موقع الجراحة [23].

د- يُفضّل استخدام فتحات الطرد العلوية والسفلية عند تزويد الهواء بالنموذج الصفائحي، ولو أن عدم الإمكانية في تحقيق ذلك لم يظهر فرقاً واضحاً في الأداء [23].

ذ- السرعة الوجهية الموصى بها هي بحدود 0.15-0.18 م/ثا [23, 24].

ر- إنّ رفع سقف غرفة العمليات عن ارتفاع 274 سم وعدد مرات تبديل هواء 20 مرة بالساعة قد أدى إلى زيادة عدد الجزيئات الملوثة الساقطة على موقع الجرح [24].

ز- إن الفكرة الجديدة في تصميم غرفة عمليات مجهزة بنظام دفع هواء صفائحي لكن جداري وتركيب فتحات السحب على الطرف الآخر للجدار مع تركيب حاجز بين السحب والدفع لمنع قصر دارة الهواء قد أعطى نتائج مبدئية مرضية في مشاكل الدوامات الناتجة عن الأحمال الحرارية التي تولدها أجهزة إضاءة العمليات، وكذلك الأشخاص، وتعاكسها مع تلك التي تطلقها حرارة جرح المريض وحسن الأداء وخفض المستعمرات الجرثومية [25].

الخلاصة:

كما ورد في المقدمة فإن أهمية هذا البحث تنطلق من المعاناة التي تعاني منها غالبية مشافي الجمهورية

الإمكانية في تحقيق ذلك لم يظهر فرقاً واضحاً في الأداء.

1-يفضل استخدام الأبواب المنزلقة لأنها تمنع خلق دوامة مضطربة داخل غرفة العمليات في أثناء الفتح، كما تولده الأبواب المتأرجحة، وفي حال اضطر المصمم لها أن تكون فتحتها إلى داخل الغرف [8] وذلك لتسهيل دخول الجراحين إلى الغرف دون مسك قبضات الأبواب، وعدم اصطدامهم بالأبواب علماً أن عكس فتح الباب إلى الخارج هو أفضل لحركة الهواء.

ننصح العمل على القيام باختبارات مستفيضة للنموذج المقترح الجديد في تصميم غرفة عمليات مجهزة بنظام دفع هواء صفائحي وتركيب فتحات السحب على الطرف الآخر للجدار مع تركيب حاجز بين السحب والدفع لمنع قصر دائرة الهواء.

8-استخدام الأنظمة المساندة في تعقيم الهواء -ما أمكن- مثل استخدام الأشعة فوق البنفسجية نموذج C بطول موجة 254 نانو متراً.

9- إن استخدام أنظمة تزويد الهواء الصفائحية من السقف هي الحل الأمثل لغرفة عمليات آمنة ما أمكن على أن يراعى في مقياس مساحة تزويد الهواء الكمية المطلوبة، وكذلك تغطية طاولة العمليات وزيادة على كل جانب 40 سم، أي إذا كان مقياس سرير العمليات 200x90 سم فإن مقياس منطقة السقف التي ستزود المنطقة بالتدفق الصفائحي هي 170x280 سم.

10-السرعة الوجيهة الموصى بها هي بحدود 0.15-0.18 م /ثا.

11-ارتفاع السقف المستعار لا يزيد على 274 سم.

12-يُفضّل استخدام فتحات الطرد العلوية والسفلية عند تزويد الهواء بالنموذج الصفائحي ، ولو أن عدم

- المراجع:**
- [10] Dharan, S. Pittet, D. Environmental controls in operating theatres, *Journal of Hospital Infection* 51 (2002) 79–84.
- [11] Hoffman PN, Williams J, Stacey A, Bennett AM, Ridgway GL, Dobson C, Fraser I, Humphreys H. "Microbiological commissioning and monitoring of operating theatre suites", *Journal of Hospital Infection* 52 (2002) 1–28.
- [12] Ninomura, P. Rousseau, C. Bartley, J. Design and construction of hospital and health care facilities, *ASHRAE Journal* 48 (6) (2006) 33–37.
- [13] Persson, M. van der Linden, J. "Wound ventilation with carbon dioxide: a simple method to prevent direct airborne contamination during cardiac surgery?" *Journal of Hospital Infection* 56 (2004) 131–136.
- [14F] Woods, J.E. Reynolds, G.L. Montag, G.M. Braymen, D.T. Rasmussen, R.W. "Ventilation requirements in hospital operating rooms". Part I. Control of airborne particles, *ASHRAE Transactions* 92 (2A) (1986) 396–426.
- [15] Scherrer, M. "Hygiene and room climate in the operating room", *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies* 12 (2003) 293–299.
- [16] Schulster, L. Chinn, R.Y.W. Guidelines for environmental infection control in health-care facilities: recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee, *Morbidity and Mortality Weekly Report MMWR* 52 (2003) 48, No. RR-10.
- [17] Tinsley, W.E. Hospital saves energy with VAV system and DDC control, *ASHRAE Journal* 33 (3) (1991) 22–24.
- [18] Noie-Baghban, S.H. Majideian, G.R. "Waste heat recovery using heat pipe heat exchanger (HPHE) for surgery rooms in hospitals", *Applied Thermal Engineering* 20 (14) (2000) 1271–1282.
- [19] Ho, S. Rosario, L. Rahman, M. Three-dimensional analysis for hospital operating room thermal comfort and
- [1] Rui, Z. Guangbei, T. Jihong, L. Study on biological contaminant control strategies under different ventilation models in hospital operating room. *Building and Environment* 43 (2008) 793–803.
- [2] Macario, A. Vitez, T.S. Dunn, B. McDonald, T. Where are the costs in perioperative care? Analysis of hospital costs and charges for inpatient surgical care, *Anesthesiology* 83 (1995) 1138–1144.
- [3] ISO 14644-1. Cleanrooms and associated controlled environments. Part 1. Classification of air cleanliness, International Organization for Standardization Technical Committee 209, 1999.
- [4] Dharan, S. Pittet, D. Environmental controls in operating theatres, *Journal of Hospital Infection* 51 (2002) 79–84.
- [5] Belew, B. Fundamentals of particle counting, *Clean Rooms* 20 (3) (2006) 15–20.
- [6] ASHRAE Standard 170P, Ventilation of Health Care Facilities, American Society for Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, GA, 2006.
- [7] Balaras, C. Dascalaki, E. Gaglia, A. "HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms". *Energy and Buildings* 39 (2007) 454–470.
- [8] Mora, R. English, M.J.M. Athienitis, A.K. Assessment of thermal comfort during surgical operations, *ASHRAE Transactions* 107 (1) (2001) 52–62.
- [9] Health care facilities, in: *HVAC Applications Handbook*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, GA, 2003 (Chapter 7).

- contaminant removal. *Applied Thermal Engineering* 29 (2009) 2080–2092.
- [20] Woloszyn, M. Virgone, J. Melen, S. Diagonal air-distribution system for operating rooms: experiment and modeling *Building and Environment* 39 (2004) 1171 – 1178.
- [21] Hansen, D. Krabs, C. Daniel Benner, D. Brauksiepe, A. Popp, W. "Laminar air flow provides high air quality in the operating field even during real operating conditions, but personal protection seems to be necessary in operations with tissue combustion". *Int. J. Hyg. Environ.-Health* 208 (2005) 455–460
- [22] Rui, Z. Guangbei, T. Jihong, L. Study on biological contaminant control strategies under different ventilation models in hospital operating room. *Building and Environment* 43 (2008) 793–803.
- [23] Memarzadeh, F. Manning, A. "Comparison of Operating Room Ventilation Systems in the Protection of the Surgical Site." *ASHRAE Transactions* 2002, Volume 108, Part 2. 2002
- [24] Memarzadeh, F. Zheng, J. "Effect of Operation Room Geometry and Ventilation System Parameter Variations on the Protection of the Surgical Site." *IAQ 2004: Critical Operations: Supporting the Healing Environment through IAQ Performance Standards.*
- [25] Junjie, L. Haidong, W. Wenyong, W. "Numerical simulation on a horizontal airflow for airborne particles control in hospital operating room" *Building and Environment* 44 (2009) 2284–2289.