



ELSEVIER

Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com

RECOMMANDATIONS

Recommandations de pratiques professionnelles : optimisation de l'efficacité énergétique des zones à environnement maîtrisé des locaux de blocs opératoires et secteurs interventionnels[☆]

Professional Practice Guidelines: Optimization of energy efficiency in controlled environment zones in operating theaters and interventional sectors

El-Mahdi Hafiani^a, Stéphane Ortu^b, Denis Lopez^b,
Florence Lallemant^{c,d}, Valérie Dumaine^e,
Pierre Cassier^{f,g}, Karem Slim^h, Patrick Pessaux^{i,*},
avec le Collectif d'ÉcoResponsabilité En Santé
(CERES) l'Association française de chirurgie (AFC),
l'Association pour la prévention et l'étude de la
contamination (ASPEC), la Société française
d'hygiène hospitalière (SF2H), la Société française
d'anesthésie et de réanimation (SFAR) et la Société
française de chirurgie orthopédique et
traumatologique (SOFOT),

^a DMU DREAM, département d'anesthésiologie et de médecine intensive, hôpital universitaire Tenon, Sorbonne université, Paris, France

^b Aspec, 64, rue Nationale, 75013 Paris, France

^c Département d'anesthésie et unité de soins intensifs, CHU de Lille, 59000 Lille, France

^d Pôle des urgences, CHU de Lille, 59000 Lille, France

^e Service de chirurgie orthopédique, hôpital Cochin, université Paris-Cité, Assistance publique-Hôpitaux de Paris, Paris, France

^f Institut des agents infectieux, hospices civils de Lyon, Lyon, France

^g Inserm, CNRS, UMR5308, U1111, ENS de Lyon, Centre international de recherche en infectiologie (CIRI), université de Lyon, université Claude-Bernard Lyon 1, Lyon, France

^h Service de chirurgie digestive, CHU de Clermont-Ferrand, Clermont-Ferrand, France

ⁱ Inserm U1110, service de chirurgie viscérale et digestive, Nouvel Hôpital Civil, 1, place de l'Hôpital, 67091 Strasbourg, France

DOI of original article: <https://doi.org/10.1016/j.jviscsurg.2024.08.001>.

[☆] Ne pas utiliser, pour citation, la référence française de cet article, mais celle de l'article original paru dans *Journal of Visceral Surgery*, en utilisant le DOI ci-dessus.

* Auteur correspondant.

E-mail address: patrick.pessaux@chru-strasbourg.fr (P. Pessaux).

<https://doi.org/10.1016/j.jchirv.2024.08.001>

1878-786X/© 2024 Les Auteurs. Publié par Elsevier Masson SAS. Cet article est publié en Open Access sous licence CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

MOTS CLÉS

Recommandation;
Développement
durable;
Bloc opératoire;
Impact
environnemental;
Secteur
interventionnel;
Énergie;
Environnement
maîtrisé

KEYWORDS

Recommendation;
Sustained
development;
Operating theater;
Environmental
impact;
Interventional sector;
Energy;
Controlled
environment

Résumé

Objectif. — Émettre des recommandations pour la réduction de la consommation énergétique des zones à environnement maîtrisé (ZEM) des blocs opératoires et secteurs interventionnels.

Conception. — Un comité de sept experts réunis par CERES et issus de la SFAR, de l'AFC, de la SF2H, de l'ASPEC et de la SOFCOT a été constitué. Une politique de déclaration des liens d'intérêts a été appliquée et respectée durant tout le processus de réalisation du référentiel. De même, celui-ci n'a bénéficié d'aucun financement provenant d'une entreprise commercialisant un produit de santé (médicament ou dispositif médical). Le comité devait respecter et suivre la méthode GRADE® (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation) pour évaluer la qualité des données factuelles sur lesquelles étaient fondées les recommandations.

Méthodes. — Nous avons formulé des recommandations selon la méthodologie GRADE® en identifiant trois champs différents. Chaque question a été formulée selon le format PICO (*Patients, Intervention, Comparaison, Outcome*). L'analyse de la littérature et les recommandations ont été formulées selon la méthodologie GRADE®.

Résultats. — Le travail de synthèse des experts et l'application de la méthode GRADE® ont abouti à 16 recommandations. Pour l'ensemble des questions, la méthode GRADE® ne pouvant pas s'appliquer en totalité, les recommandations ont été formulées sous forme d'avis d'experts.

Conclusion. — À partir d'un accord fort entre experts, nous avons pu formuler 15 recommandations pour réduire la consommation énergétique des ZEM des blocs opératoires et secteurs interventionnels et donc leur impact environnemental.

© 2024 Les Auteurs. Publié par Elsevier Masson SAS. Cet article est publié en Open Access sous licence CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Summary

Objective. — To issue recommendations for reduced energy consumption in controlled environment zones (CEZ) in operating theaters and interventional sectors.

Design. — A committee bringing together seven experts from the SFAR, AFC, SF2H, ASPEC and SOFCOT was convened by CERES. A conflict of interest statement was developed at the beginning of the process and enforced throughout the elaboration of the reference document. The experts received no financing from any company commercializing a healthcare product (medicine or medical device). The committee was called upon to follow and respect the GRADE® (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation) method to evaluate quality of the factual data on which the recommendations were based.

Methods. — We analyzed the relevant literature and formulated the recommendations in accordance with the GRADE® methodology by identifying three different fields. Each question was formulated in accordance with the PICO (Patients, Intervention, Comparison, Outcome) format.

Results. — The experts' attempts at synthesis and application of the GRADE® method led to 16 recommendations. In cases where GRADE® method could not be applied, the recommendations were formulated as expert advice.

Conclusion. — Once strong agreement among the experts had been reached, we formulated 15 recommendations for decreased energy consumption and reduced environmental impact in the controlled environment zones of operating theaters and interventional sectors.

© 2024 The Author(s). Published by Elsevier Masson SAS. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Groupe d'experts (ordre alphabétique)

Pierre Cassier (SF2H, pharmacien hygiéniste), Valérie Dumaine (SOFCOT, chirurgien orthopédiste), Florence Lallemand (SFAR, médecin anesthésiste-réanimateur), Denis Lopez (ASPEC), Stéphane Ortu (ASPEC).

Groupes de lecture

Comité développement durable de l'AFC : Marie Selvy, Jean-Jacques Tuech, Baptiste Borraccino.

Conseil d'administration de la SFAR : Pierre Albaladejo, Jean-Michel Constantin, Marc Léone, Karine Nouette-Gaulain Frédéric Le Saché, Marie-Laure Cittanova, Isabelle Constant, Julien Amour, Hélène Beloeil, Valérie Billard, Marie-Pierre Bonnet, Julien Cabaton, Vincent Collange, Eve-

lyne Combettes, Marion Costecalde, Violaine d'Ans, Laurent Delaunay, Delphine Garrigue, Pierre Kalfon, Olivier Joannes-Boyau, Frédéric Lacroix, Jane Muret, Olivier Rontes, Nadia Smail.

Conseil scientifique de la SF2H : Serge Aho, Raoul Baron, Yolène Carre, Pierre Cassier, Cédric Dananche, Sandra Fournier, Olivia Keita-Perse, Thierry Lavigne, Julie Racaud, Anne-Marie Rogues, Sara Romano-Bertrand, Corinne Tamames.

Conseil d'administration de la SOFCOT : Valérie Dumaine.

Conseil scientifique de l'ASPEC : Michel Thibaudon, Elisabeth Bureste, Magdalène Couty, John Hargreaves, Abdel Khadir.

Conseil d'administration de CERES : Patrick Pessaux, Marie Selvy, El-Mahdi Hafiani, Jean-Jacques Tuech, Karem Slim, Pierre Albaladejo, Delphine Cabelguenne, Valérie Sautou, Marie-Christine Arbogast, Pierre Cassier, Sébastien

Frey, Sandrine Lepetit, Marie-Hélène Pedron-Jeangoudoux, Myrian Oukkal.

Coordinateur du groupe d'experts : El-Mahdi Hafiani (SFAR, médecin anesthésiste-réanimateur), Patrick Pessaux (AFC, chirurgie viscérale et digestif).

Organisateur : Patrick Pessaux (AFC, chirurgien).

Introduction

Dans le monde, les bâtiments de santé représentent 6 % de la consommation totale d'énergie du secteur tertiaire [1]. Ces bâtiments se caractérisent par une occupation importante, une consommation d'énergie élevée et des exigences strictes en matière de qualité de l'air intérieur (QAI). Les systèmes chauffage – ventilation – climatisation (CVC) représentent 40 % de la consommation d'énergie dans les hôpitaux [2]. De plus, les hôpitaux représentent 9 % de toute la consommation thermique et électrique du secteur des services [3].

En l'espace d'un an, et en raison de l'augmentation des prix de l'énergie, les établissements de santé ont été confrontés à une explosion de leurs factures énergétiques multipliées par un facteur de deux à trois.

À l'échelle nationale, le gouvernement français a publié son plan de sobriété énergétique visant à réduire de 10 % les consommations énergétiques dans les deux ans, que ce soit pour l'état, les entreprises, les collectivités, les citoyens, mais aussi les établissements de santé [4].

À l'échelle européenne, selon la directive de l'Union européenne sur la performance énergétique des bâtiments, les locaux dédiés à la santé doivent se conformer aux exigences des bâtiments à énergie quasi nulle, au même titre que les bâtiments résidentiels ou utilitaires d'autres secteurs [5].

Cependant, cette forte consommation d'énergie reste au second plan, donnant la priorité à d'autres problèmes tels que la sécurité, les conditions de QAI et un environnement confortable. Les systèmes CVC dans les bâtiments sont conçus pour maintenir des conditions de confort thermique adéquates et une qualité de l'air appropriée [6]. Ces conditions acquièrent une importance particulière dans les salles opératoires et interventionnelles d'un hôpital. Ils doivent être maintenus dans des limites permettant de minimiser les risques d'infections, en limitant la croissance et la propagation des éléments infectieux (bactéries, virus, champignons filamenteux et levures) et de maximiser le confort des patients et du personnel de santé [7].

Les blocs opératoires et secteurs interventionnels sont des zones à environnement maîtrisé (ZEM) : les sources de contamination environnementale (air et surfaces) sont maîtrisées à l'aide de moyens spécifiés décrits dans la norme NF EN ISO 14698-1 [8]. Ces ZEM sont structurées en 4 classes de risques selon la norme NF S 90-351 (2013) [9].

Ces locaux sont trois à six fois plus énergivores que le reste des secteurs hospitaliers en raison de leurs exigences strictes en matière de CVC, d'éclairage, d'équipement de surveillance des patients et de longues heures d'utilisation [10]. Les systèmes de CVC sont responsables de 52 % des besoins énergétiques des établissements de soins [3]. Dans les ZEM comme le bloc opératoire, les demandes d'énergie de CVC représenteraient 90 à 99 % de la consommation énergétique globale, reflétant encore une fois un niveau d'exigence des qualités environnementales plus élevé que dans les autres zones de soins [11]. Cette consommation d'énergie du bloc opératoire est directement corrélée à la

taille de ce secteur [12]. Les efforts d'économie d'énergie doivent donc se concentrer sur la gestion du système CVC à travers une maîtrise du risque et une continuité de service.

La réduction de l'impact environnemental dans les secteurs de soins est devenue une préoccupation humanitaire et légale afin de lutter contre le réchauffement climatique et ses conséquences sur la planète et la santé des populations. Les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à la consommation énergétique peuvent atteindre 84 % des émissions globales d'un bloc opératoire [12].

Face à ces nouveaux enjeux auxquels doivent répondre les établissements et les professionnels de santé, le Collectif d'ÉcoResponsabilité En Santé (CERES) en collaboration avec l'Agence nationale de la performance (ANAP) se sont associés pour proposer un référentiel sur l'amélioration de l'efficacité énergétique des blocs opératoires et secteurs interventionnels à environnement maîtrisé, afin de réduire les coûts énergétiques et l'impact environnemental de ces secteurs de soins.

Avant de détailler les moyens d'optimisation de performances énergétiques des ZEM, il est indispensable d'intégrer préalablement les notions suivantes :

- contamination de l'air et grands principes du traitement d'air dans les zones à environnement maîtrisé (supplément Annexe 1) ;
- la performance des zones à risques selon le niveau de risque (supplément Annexe 2).

Objectif des recommandations

L'objectif de ces recommandations est de fournir aux intervenants et professionnels des ZEM, des données d'impact environnemental des différentes stratégies de conception et d'usage, afin que cette dimension entre dans les multiples arguments qu'ils prennent en compte quotidiennement pour décider de la meilleure stratégie à appliquer. Cela fournirait un cadre facilitant la prise de décision pour réduire la consommation énergétique et ainsi l'impact environnemental de ces unités de soins.

Ces recommandations n'ont pas pour vocation de traiter de la qualité de l'air au bloc opératoire, largement traitée par la Société française d'hygiène hospitalière (SF2H), qui avait publié en 2015 une réactualisation des premières recommandations d'experts de 2004 sur le sujet [13].

Dans les présentes recommandations, l'opportunité d'augmenter l'efficacité et de réduire les coûts énergétiques dans les locaux à environnement maîtrisé est étudiée, en utilisant une approche qui place l'humain et sa sécurité au centre de l'attention tout en adoptant des stratégies énergétiques plus intelligentes, telles que l'optimisation de l'éclairage et du CVC. Les facteurs les plus importants de la prévention des infections sont classés en quatre groupes, les « quatre P » : agents pathogènes, personnes, pratique et lieu (place).

Le groupe d'experts a produit un nombre minimal de recommandations afin de mettre en exergue les points forts à retenir dans les trois champs prédéfinis : conception architecturale des locaux, conception du système de traitement d'air et sélection des équipements, utilisation des installations.

Le public visé est large, et correspond à tous les professionnels médicaux, paramédicaux et techniques exerçant dans les ZEM :

- médecins, hygiénistes, chirurgiens, anesthésistes ;

- pharmaciens ;
- soignants paramédicaux ;
- ingénieurs hospitaliers, bureaux d'études, architectes, installateurs, fabricants, etc.

Méthodologie

Organisation générale

Ces recommandations sont le résultat du travail d'un groupe d'experts réunis par CERES. Chaque expert a rempli une déclaration de conflits d'intérêts avant de débiter le travail d'analyse. Dans un premier temps, le comité d'organisation a défini les objectifs, la méthodologie, le champ d'application ainsi que les questions à traiter de ces recommandations. Ces éléments ont ensuite été partagés, exposés puis validés par les experts.

Les questions ont été formulées selon un format PICO (*Population – Intervention – Comparaison – Outcome*) chaque fois que possible. La population faisant l'objet de ces recommandations (le « P » du PICO) est pour l'ensemble des recommandations le personnel exerçant au bloc opératoire, et n'est alors pas rappelée dans chaque recommandation.

Champs des recommandations

À l'unanimité, les experts ont décidé de retenir les trois champs suivants pour les présentes recommandations :

- champ 1 – architecture des locaux ;
- champ 2 – conception du système de traitement d'air et sélection des équipements ;
- champ 3 – utilisation des installations et paramètres de fonctionnement

Ces trois champs ont été retenus compte tenu de leur homogénéité.

Une recherche bibliographique extensive jusqu'à janvier 2023 a été réalisée à partir des bases de données MEDLINE et www.clinicaltrials.gov, par au moins deux experts pour chaque champ d'application selon la méthodologie Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA) pour les revues systématiques.

Ont été inclus dans l'analyse : les méta-analyses, essais contrôlés randomisés, essais prospectifs non randomisés, cohortes rétrospectives, séries de cas et *case-reports*, études scientifiques (dans le domaine de la climatologie, chimie, physique) ; conduits chez des patients et soignants ou dans leur environnement ; traitant de l'impact environnemental et de la consommation énergétique des blocs opératoires, secteurs interventionnels ou des locaux à environnement maîtrisé ; publiés en langue anglaise ou française.

L'analyse de la littérature a ensuite été conduite selon la méthodologie GRADE® (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation). Les critères de jugement ont été définis en amont de la façon suivante :

- critères de jugement majeurs : prévention des infections du site opératoire (importance 7) ;
- critères de jugement secondaires : contamination de l'environnement du bloc opératoire (importance 6), impact environnemental (importance 5), la réduction de la consommation d'énergie (importance 5) et caractéristiques d'usage (confort) (importance 4).

Du fait de la très faible quantité d'études répondant avec la puissance nécessaire au critère de jugement majeur

d'importance la plus élevée (i.e., prévention des infections du site opératoire), il a été décidé, en amont de la rédaction des recommandations, d'adopter un format de recommandations pour la pratique professionnelle (RPP). La méthodologie GRADE® a toutefois été appliquée pour l'analyse de la littérature et la rédaction des tableaux récapitulatifs des données de la littérature. Un niveau de preuve a donc été défini pour chacune des références bibliographiques citées en fonction du type de l'étude. Ce niveau de preuve pouvait être réévalué en tenant compte de la qualité méthodologique de l'étude, de la cohérence des résultats entre les différentes études, du caractère direct ou non des preuves, de l'analyse de coût et de l'importance du bénéfice. Les propositions de recommandations ont été présentées et discutées une à une. Le but n'était pas d'aboutir obligatoirement à un avis unique et convergent des experts sur l'ensemble des propositions, mais de dégager les points de concordance et les points de divergence ou d'indécision.

Chaque recommandation a été évaluée par chacun des experts et soumise à une cotation individuelle à l'aide d'une échelle allant de 1 (désaccord complet) à 9 (accord complet). La cotation collective a été validée par les experts selon une méthodologie GRADE® grid. Pour valider une recommandation, au moins 70 % des experts devaient exprimer une opinion allant dans la même direction, tandis que moins de 20 % d'entre eux exprimaient une opinion contraire. En l'absence de validation d'une ou de plusieurs recommandation(s), celle(s)-ci a (ont) été reformulée(s) et, de nouveau, soumise(s) à cotation dans l'objectif d'aboutir à un consensus.

Résultats

Champs des recommandations

Les experts ont consensuellement décidé lors de la première réunion d'organisation de ces RPP, de traiter six questions réparties en trois champs. Les questions suivantes ont été retenues pour le recueil et l'analyse de la littérature :

Champ 1 – architecture des locaux

Question 1 : l'optimisation de l'enveloppe thermique dans les zones à environnement maîtrisé tels que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, offre-t-elle un bénéfice sur la réduction de la consommation énergétique par rapport à des locaux non optimisés ?

Question 2 : l'optimisation de l'étanchéité et l'orientation des châssis vitrés dans les zones à environnement maîtrisé tels que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, offre-t-elle un bénéfice sur la réduction de la consommation énergétique par rapport à des locaux non optimisés sans compromettre la sécurité du patient ?

Question 3 : l'optimisation de l'éclairage au bloc opératoire et secteurs de soins à environnement maîtrisé, offre-t-elle un bénéfice sur la réduction de la consommation énergétique par rapport à des locaux non optimisés ?

Champ 2 – conception du système de traitement d'air et sélection des équipements

Question 4 : l'expression préalable des besoins de classe de risque en fonction de la propreté particulaire et microbiologique dans les zones à environnement maîtrisé tels

que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, offre-t-elle un bénéfice sur la réduction de la consommation énergétique par rapport à des locaux sans expression préalable des besoins de classe de risque ?

Question 5 : l'optimisation du rendement énergétique des équipements dans les zones à environnement maîtrisé tels que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, offre-t-elle un bénéfice sur la réduction de la consommation énergétique ?

Champ 3 – utilisation des installations et paramètres de fonctionnement

Question 6 : la possibilité d'avoir un mode nominal et veille des systèmes de traitement d'air dans le bloc opératoire et secteurs de soins à environnement maîtrisé, offre-t-elle un bénéfice sur la réduction de la consommation énergétique par rapport à des locaux avec systèmes de traitement d'air à fonctionnement permanent sans compromettre la sécurité du patient ?

Synthèse des résultats

Après synthèse du travail des experts et application de la méthode GRADE®, 15 recommandations ont été formalisées. La totalité des recommandations a été soumise au groupe d'experts pour une cotation avec la méthode GRADE® grid. Après deux tours de cotations, un accord fort a été obtenu pour 100 % des recommandations.

CERES incite tous les professionnels médicaux, paramédicaux et techniques exerçant dans les blocs opératoires, plateaux techniques et locaux à environnement maîtrisé, à considérer la dimension environnementale dans les multiples arguments qu'ils prennent en compte pour assurer une qualité de l'air dans ces locaux et une qualité des soins dispensés aux patients. Cependant, dans l'application de ces recommandations, chaque professionnel doit exercer son jugement, prenant en compte son expertise et les spécificités de son établissement, pour déterminer la méthode d'intervention la mieux adaptée.

Recommandation préalable

Les experts suggèrent que la volonté de prendre en compte les économies d'énergie soit clairement exprimée et formalisée pour les zones à environnement maîtrisé tels que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels.

Avis d'expert : accord fort.

Champ 1 – architecture des locaux

Question 1 : l'optimisation de l'enveloppe thermique dans les zones à environnement maîtrisé tels que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, offre-t-elle un bénéfice sur la réduction de la consommation énergétique par rapport à des locaux non optimisés ?

Argumentaire

- La consommation énergétique peut représenter jusqu'à 80 % de l'impact environnemental d'un bloc opératoire ou secteurs de soins à environnement maîtrisé [12]. Les études ont révélé que le principal point d'impact

Recommandation 1

Les experts suggèrent d'optimiser l'enveloppe thermique, pour les zones à environnement maîtrisé tels que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, pour réduire la consommation énergétique et donc l'impact environnemental de ces locaux.

Avis d'expert : accord fort.

environnemental dans ces locaux était la consommation d'électricité [14].

- Il n'y a pas de spécificité dans l'optimisation de l'enveloppe thermique au bloc opératoire et secteurs de soins à environnement maîtrisé. C'est le bâtiment qui accueille ces structures qui doit répondre à la norme « NF Bâtiments tertiaires » associée à la démarche de labélisation des bâtiments HQE, LEED et BREEAM (supplément Annexe 3).
- En plus de l'efficacité liée à assurer l'étanchéité des locaux, d'autres approches tels que la production d'énergie régénérative, l'utilisation d'échangeur de chaleur permettant de récupérer l'énergie thermique nécessaire au chauffage du bâtiment, améliore considérablement l'empreinte environnementale [15].
- D'autres paramètres doivent être pris en compte dans la conception écologique de l'efficacité énergétique des ZEM tels que l'optimisation de l'agencement des locaux, une division éco-conçue du conditionnement de l'air ainsi qu'un juste réglage du fonctionnement avec une reprise secondaire de l'air [16–18].

Question 2 : l'optimisation de l'étanchéité et l'orientation des châssis vitrés dans les zones à environnement maîtrisé tels que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, offre-t-elle un bénéfice sur la réduction de la consommation énergétique par rapport à des locaux non optimisés sans compromettre la sécurité du patient ?

Recommandation 2

Les experts suggèrent d'optimiser l'étanchéité et l'orientation des châssis vitrés, pour les zones à environnement maîtrisé tels que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, pour réduire la consommation énergétique et donc l'impact environnemental de ces locaux.

Avis d'expert : accord fort.

Argumentaire

- Il n'existe de spécificité concernant l'approche bioclimatique des ZEM des blocs opératoires et secteurs interventionnels. Les mêmes principes généraux que pour les bâtiments sont retenus : utilisation de l'énergie solaire passive, brise-soleils, orientation par rapport au soleil et à l'exposition aux vents, vitrer fortement la façade sud et réduire les vitrages sur les façades nord [5].
- Les bienfaits de la lumière naturelle et de la vision du monde extérieur ont été prouvés, notamment sur l'horloge biologique [19], la production de vitamine D, les performances intellectuelles [20,21] et sur le bien-être physique et mental des soignants et des patients [22–25]. Ils doivent être proposés chaque fois que pos-

sible [26]. En revanche, il faudra conserver la possibilité d'occulter ces sources de lumière naturelle afin de procurer l'obscurité nécessaire à certaines chirurgies, notamment endoscopiques.

- Sur le risque infectieux, les châssis vitrés ne sont pas contre-indiqués au bloc opératoire à conditions qu'ils répondent à la norme NF S 90-351 d'avril 2013 [9], relative aux exigences et à la maîtrise de la contamination aéroportée des zones à environnement maîtrisé des établissements de santé. La norme précise : « Là où un châssis vitré est nécessaire, le cadre des vitrages doit être lisse et étanche (tenir compte de la pression du vent pour un vitrage extérieur) et que le châssis soit fixe et affleurant pour maintenir les conditions d'environnement maîtrisé. Pour les unités de réanimation et ceux de surveillance continue, dans le cas de présence de fenêtres, il convient de maîtriser la contamination en maintenant celles-ci fermées. Si l'occlusion et la protection solaire ne peuvent être réalisées par d'autres moyens que les stores ou les volets, il convient de les monter préférentiellement à l'extérieur de la zone propre, ou, le cas échéant, entre les deux éléments du double vitrage en veillant à l'étanchéité des éléments de manœuvre. La maintenance de ces éléments doit se faire de préférence par l'extérieur de la zone à environnement maîtrisé pour limiter les perturbations ».

Question 3 : l'optimisation de l'éclairage au bloc opératoire et secteurs de soins à environnement maîtrisé, offre-t-elle un bénéfice sur la réduction de la consommation énergétique par rapport à des locaux non optimisés ?

Recommandations 3

3.1. Les experts suggèrent d'utiliser un éclairage LED, dans les zones à environnement maîtrisé tels que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, pour réduire la consommation énergétique et donc l'impact environnemental de ces locaux.

3.2. Les experts suggèrent pour les zones à environnement maîtrisé tels que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, d'éteindre l'éclairage lorsque ces locaux sont inoccupés, pour réduire la consommation énergétique et donc l'impact environnemental de ces locaux.

Avis d'expert : accord fort.

Argumentaire

- L'éclairage par lampes halogènes a longtemps été la norme pour les salles d'opération. Les ampoules halogènes sont plus lumineuses que les ampoules à incandescence, cependant, elles émettent plus de chaleur que les ampoules LED et la lumière émise a tendance à avoir une teinte jaune liée à sa température de couleur corréée. L'éclairage par LED est la nouvelle norme pour les lumières chirurgicales dans la salle d'opération moderne. En plus de l'économie d'énergie réalisée grâce aux ampoules LED, celles-ci offrent une durée de vie beaucoup plus longue, une lumière plus blanche et plus lumineuse et produit moins de chaleur [27].
- Enfin, éteindre les lumières en quittant le bloc opératoire est une mesure simple et logique qui permet de réduire

la consommation énergétique et donc l'impact environnemental de ces locaux [28].

Champ 2 – conception du système de traitement d'air et sélection des équipements

Question 4 : la définition préalable des besoins en termes de classe de risque (associant classes de la propreté particulaire et microbiologique) pour les ZEM des blocs opératoires et secteurs interventionnels, offre-t-elle un bénéfice sur la réduction de la consommation énergétique par rapport à des locaux sans expression préalable des besoins de classe de risque ?

Recommandation 4

Les experts suggèrent, pour les zones à environnement maîtrisé tels que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, de définir au préalable les besoins en termes de classe de risque en fonction de la propreté particulaire et microbiologique, pour une juste adaptation du système de traitement d'air. Cette définition préalable des besoins permet de réduire la consommation énergétique et donc l'impact environnemental de ces locaux, sans compromettre la sécurité du patient.

Avis d'expert : accord fort.

Argumentaire

- La Société française d'hygiène hospitalière (SF2H) recommande de faire une analyse a priori des risques pour identifier les causes latentes possibles de non-conformité des contrôles environnementaux mis en œuvre et les mesures correctives envisageables [13]. Les niveaux de conformité et objectifs des zones à risque sont définis dans la norme NFS 90-351. Du point de vue particulaire, elle s'appuie sur la norme ISO 14644-1 et du point de vue microbiologique la norme de référence est l'EN 17141, selon les critères des tableaux 1 à 4 en [supplément Annexe 2](#) [29]. La norme NF S 90-351 propose 4 classes de risque en fonction de l'activité pratiquée au sein de l'établissement de santé, le risque 4 étant le plus élevé et correspondant à l'activité chirurgicale la plus critique. À chaque classe est associée un niveau d'aérobiocontamination et de contamination particulaire. Cependant, une analyse de risque et la prise en compte des recommandations des sociétés savantes peuvent modifier cette classification (par exemple : création d'un niveau de risque supplémentaire permettant l'intégration de la classe de propreté particulaire ISO 6). Par ailleurs, la SF2H rappelle dans l'argumentaire de ses recommandations de 2015 que « il n'y a pas de garantie qu'un niveau maximal de maîtrise de la qualité de l'air diminue le niveau de risque infectieux. La priorité doit être accordée à d'autres facteurs ayant une influence plus importante sur ce risque : antibioprophylaxie, antisepsie de la peau et des muqueuses, etc. ». Ces éléments sont également soulignés par l'actualisation en 2022 des recommandations américaines pour la prévention des infections de site opératoire [30].
- Ainsi, la définition d'une classe de risque 3 à la très grande majorité des ZEM de blocs opératoires et secteurs interventionnels devrait permettre de diminuer l'impact environnemental, réservant une classe de risque supérieure qu'à la chirurgie la plus exposée au risque

infectieux. Cette expression préalable permet de mettre en concordance le juste traitement d'air avec la bonne classe de risque pour le local à environnement maîtrisé. Cela sous-entend une économie énergétique et donc une diminution de l'impact environnemental, étant donné que le traitement d'air le plus énergivore ne sera appliqué que dans les environnements à classe de risque élevée. Cependant, aucune étude n'a évalué l'économie énergétique et donc la diminution de l'impact environnemental liée à une telle mesure d'expression préalable des besoins de classe de risque et donc d'adaptation de l'intensité de traitement d'air.

Question 5 : l'optimisation du rendement énergétique des équipements dans les zones à environnement maîtrisé tels que les locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, offre-t-elle un bénéfice sur la réduction de la consommation énergétique ?

Recommandations 5

5.1. Les experts suggèrent pour les zones à environnement maîtrisé des locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, d'adopter les techniques d'optimisation du rendement des équipements des systèmes CVC.

5.2. Les experts suggèrent pour les zones à environnement maîtrisé des locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, d'utiliser l'énergie de l'air extrait à travers les systèmes de récupération de chaleur pour réduire la consommation énergétique et donc l'impact environnemental de ces locaux, sans compromettre la sécurité du patient.

5.3. Les experts suggèrent pour les zones à environnement maîtrisé des locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, d'adopter des plages de températures plus larges en mode veille pour réduire la consommation énergétique et donc l'impact environnemental de ces locaux, sans compromettre la sécurité du patient.

5.4. Les experts suggèrent pour les zones à environnement maîtrisé des locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, d'utiliser une recirculation de l'air et une régulation de fréquence variable sur le volume d'air pour réduire la consommation énergétique et donc l'impact environnemental de ces locaux, sans compromettre la sécurité du patient.

Avis d'expert : accord fort.

Argumentaire

- Une conception, un fonctionnement et des contrôles appropriés peuvent réduire ces coûts jusqu'à 65 % tout en garantissant un environnement sain et sûr pour l'équipe chirurgicale et le patient [31].
- L'air extérieur peut être refroidi ou réchauffé avec l'air extrait, qui correspond à l'air évacué par le système de ventilation [32–37]. En utilisant l'énergie de l'air extrait, les équipements de récupération de chaleur peuvent réduire jusqu'à 44 % les coûts d'exploitation énergétiques des ZEM [36–38].
- En régime nominal, la plage de température de fonctionnement normale doit être située entre 19°C et 26°C [9]. Le point de consigne est défini par l'équipe médico-chirurgicale en fonction des besoins liés à la chirurgie.

En mode veille avec régime réduit, une option pour réduire la consommation énergétique est d'accepter des plages de température plus large (entre 15 et 30°C) pendant les heures inoccupées, cette option est autorisée par la réglementation française NF S90-351 [9]. Alsved et al. rapportent qu'un flux d'air à température contrôlée peut fournir des niveaux élevés de propreté de l'air, confortable pour les conditions de travail et avec une consommation d'énergie réduite [39]. Toutefois, Bolton et al. ont rapporté que l'impact environnemental de la régulation des températures dépendait tout de même de la géolocalisation des salles [40].

- L'utilisation de la recirculation de l'air est soutenue par la plupart des normes actuelles dans la conception des systèmes CVC pour les salles d'opération [41]. La demande énergétique d'une salle d'opération conventionnelle peut être réduite de 55 % si l'apport d'air est réduit à 50 % de l'ACH (*air change rate*) total [37].
- La technologie de conversion de fréquence est utilisée dans les unités d'air et les unités de cycle de purification pour effectuer une régulation de fréquence variable sur le volume d'air sous différents modes de fonctionnement. La réduction du taux de brassage d'air dans les ZEM à travers la régulation de la fréquence moteur de la centrale de traitement d'air permet une économie d'énergie [42].

Champ 3 – utilisation mode nominal et veille des systèmes de traitement d'air

Question 6 : la possibilité d'avoir un mode nominal et veille des systèmes de traitement d'air dans le bloc opératoire et secteurs de soins à environnement maîtrisé, offre-t-elle un bénéfice sur la réduction de la consommation énergétique par rapport à des locaux avec systèmes de traitement d'air à fonctionnement permanent sans compromettre la sécurité du patient ?

Argumentaire

- Les systèmes CVC dans les bâtiments sont conçus pour maintenir des conditions de confort thermique adéquates et une qualité de l'air appropriée [6]. Ces conditions acquièrent une importance particulière dans les salles opératoires et interventionnelles d'un hôpital. Ils doivent être maintenus dans des limites permettant de minimiser les risques d'infections, d'empêcher la croissance et la propagation des bactéries et des virus et de maximiser le confort des patients et du personnel de santé. L'environnement doit rester aseptique, évitant tout risque de contamination croisée [7,13].
- La principale source de bactéries aéroportées dans la salle d'opération est la peau des individus présents [43]. Des squames allant d'environ 5 à 60 µm sont libérées en grande quantité, et environ 10 % d'entre elles portent des amas de micro-organismes. Un des moyens efficaces pour contrôler ces conditions est l'application de systèmes de ventilation qui maintiennent des renouvellements et brassage d'air élevés par heure [44], car la distribution adéquate d'air propre permet la dilution et l'élimination des particules infectieuses dans les salles opératoires [32]. En France, la norme NF S 90-351, relative à la maîtrise de la contamination aéroportée, établit les performances des systèmes CVC dans les hôpitaux en matière de ventilation, en indiquant le minimum de taux de brassage et de renouvellement [9]. Selon cette norme, un système de traitement d'air en activité correspond à une

Recommandations 6

6.1. Les experts suggèrent pour le système de traitement d'air pour les zones à environnement maîtrisé des locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels, d'avoir la possibilité de disposer d'un mode nominal et d'un mode veille pour réduire la consommation énergétique et donc l'impact environnemental de ces locaux, sans compromettre la sécurité du patient.

6.2. Les experts suggèrent que lorsque le système de traitement d'air pour les zones à environnement maîtrisé des locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels est en état de veille, que cette information soit portée à la connaissance de l'utilisateur par un moyen pertinent.

6.3. Les experts suggèrent que lorsque le système de traitement d'air pour les zones à environnement maîtrisé des locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels est en état de veille, de maintenir une pression positive du local afin de maintenir la protection physique contre les inductions d'air extérieur et maîtriser la contamination particulaire.

6.4. Les experts suggèrent de mesurer la cinétique d'élimination lorsque le système de traitement d'air pour les zones à environnement maîtrisé des locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels passe du mode veille au mode nominal. Cette cinétique d'élimination doit être mesurée d'abord à la première mise en service du système veille, puis lors des contrôles de qualification de la salle.

6.5. Les experts suggèrent que lorsque le système de traitement d'air pour les zones à environnement maîtrisé des locaux des blocs opératoires et secteurs interventionnels passe du mode veille au mode nominal, de respecter à minima la cinétique d'élimination mesurée.

Avis d'experts : accord fort.

installation fonctionnant selon le mode prescrit, avec l'effectif spécifié travaillant dans les conditions convenues [29].

- Le taux de renouvellement d'air et de refroidissement est important dans les salles d'intervention. Les stratégies de réduction des systèmes CVC visent à diminuer la consommation énergétique nécessaire au maintien des conditions préconisées pour leur fonctionnement lors des périodes d'inoccupation des salles qui peuvent atteindre jusqu'à 40 % du temps [13]. L'objectif ici est d'apporter des éléments aux professionnels pour savoir si la stratégie choisie est la plus appropriée et non de donner des détails sur la conception ou le fonctionnement des installations. Le gain énergétique est d'autant plus important dans les régions ou situations avec des conditions climatiques extrêmes avec des retours sur investissement de l'ordre de quelques années. Cette approche ou stratégie est ancienne et mise en place dans certains hôpitaux depuis plusieurs années.
- En mode veille, c'est-à-dire, hors présence humaine, portes fermées, les installations sont en période de non-utilisation durant laquelle le niveau de performance aérodynamique peut être réduit sans risque pour le patient ou l'activité lors de la reprise. C'est une période où le système peut fonctionner en mode dégradé (régime de

ventilation réduit) car il n'y a pas d'activité prévue pendant une période relativement longue (nuit, week-end).

- En régime veille, la valeur à surveiller est le niveau de pression positive du local et le maintien d'une classe particulaire ISO 8 afin de maintenir la protection physique contre les inductions d'air extérieur non maîtrisées. Le système de traitement d'air, s'il est asservi à cette valeur consigne, met en œuvre les débits d'air nécessaires à compenser les fuites par les parois. Seul le débit de soufflage permet d'obtenir des valeurs de pression positive. Ces gradients sont les mêmes que ceux du régime en activité, toutefois l'utilisation des locaux est interdite jusqu'au rétablissement du régime nominal.
- Dans un travail basé sur des simulations calibrées, Febrero-Garrido et al. [11] ont développé puis simulé cinq stratégies différentes de brassage d'air par heure (15, 20, 21,5, 25 et 30 volumes de brassage d'air par heure). Ils montrent que réduire le brassage à 15 volumes par heure permet d'économiser jusqu'à 51 % de la consommation d'énergie par an. D'ailleurs, en mode veille, un taux de brassage supérieur à 15 volumes par heure rend peu probable l'émergence de concentrations élevées de particules et de micro-organismes après la remise en mode nominal [10,45]. Cette théorie est étayée par le fait qu'aucun nombre élevé de particules n'a été mesuré dans des conditions réalistes (sur la table opératoire) 15 minutes après le redémarrage [45].
- La Société française d'hygiène hospitalière (SF2H) recommande de permettre un fonctionnement en régime de veille en période d'inactivité pour des raisons d'économies d'énergie. Toutefois, il n'est pas recommandé d'arrêter totalement le traitement d'air lors de l'arrêt de l'activité opératoire, car la pression relative entre locaux doit être maintenue, la classification particulaire maintenue à ISO 8 pendant cette période et la température ne doivent pas trop dévier [13]. Il est recommandé de conserver l'apport d'air neuf pendant la mise en veille en privilégiant la réduction ou l'arrêt du recyclage.
- La récupération du régime nominal (repos) depuis l'état de veille est bien décrite dans la norme NF S 90-351 [9], cette norme préconise les éléments suivants :
 - le passage de l'état de veille au service nominal peut être automatique ou manuel,
 - dans le cas d'un fonctionnement manuel, il doit faire l'objet de procédures validées dans le cadre de la mise en service de l'installation,
 - dans le cas de fonctionnement automatique, il est recommandé :
 - une programmation hebdomadaire des périodes de service nominal et de veille basée sur le programme d'utilisation du local,
 - en dehors des périodes d'utilisation, une mise en service nominal sur détection de présence humaine d'une durée supérieure ou égale à 3 min consécutives,
 - que chaque démarrage sur détection entraîne une séquence de fonctionnement d'une durée équivalente à trois fois la cinétique d'élimination des particules.

Droits de l'homme et des animaux

Les auteurs déclarent que le travail décrit n'a pas impliqué d'expérimentation sur des humains ou des animaux.

Consentement éclairé et détails du patient

Les auteurs déclarent que ce rapport ne contient aucune information personnelle pouvant permettre l'identification du ou des patients et/ou des volontaires.

Financement

Ce travail n'a reçu aucune subvention d'organismes de financement des secteurs public, commercial ou à but non lucratif.

Contributions des auteurs

Tous les auteurs attestent qu'ils répondent aux critères actuels de paternité du Comité international des rédacteurs de revues médicales (ICMJE).

Suppléments en ligne. Matériels complémentaires

Les matériels complémentaires (Annexes 1–3) accompagnant la version en ligne de cet article sont disponibles sur <http://www.sciencedirect.com> et <https://doi.org/10.1016/j.jchirv.2024.08.001>.

Déclaration de liens d'intérêts

Liens d'intérêts des auteurs SFAR au cours des cinq années précédant la date de validation par le CA de la SFAR.

Liens d'intérêts de l'auteur SF2H au cours des cinq années précédant la date de validation par le CA de la SF2H.

Liens d'intérêts de l'auteur AFC au cours des cinq années précédant la date de validation par le CA de la AFC.

Patrick Pessaux : co-fondateur de Virtualisurg – intervenant pour Integra, 3M, Bayer, Roche, Mayoli.

Liens d'intérêts de l'auteur SOFCOT au cours des cinq années précédant la date de validation par le CA de la SOFCOT.

Liens d'intérêts des auteurs ASPEC au cours des cinq années précédant la date de validation par le CA de l'ASPEC.

References

- [1] Teke A, Timur O. Assessing the energy efficiency improvement potentials of HVAC systems considering economic and environmental aspects at the hospitals. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;33:224–35, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.002>.
- [2] González AG, Sanz-Calcedo J, Salgado D. A quantitative analysis of final energy consumption in hospitals in Spain. *Sustain Cities Soc* 2017;36:169–75, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.029>.
- [3] Čongradac V, Prebiračević B, Jorgovanovic N, Stanisic D. Assessing the energy consumption for heating and cooling in hospitals. *Energy Build* 2012;48:146–54, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.022>.
- [4] Présentation du plan de sobriété énergétique | entreprises.gouv.fr n.d. <https://www.entreprises.gouv.fr/fr/actualites/presentation-du-plan-de-sobriete-energetique> (accessed May 14, 2023).
- [5] Performance énergétique des bâtiments : neutralité climatique d'ici 2050 | Actualité | Parlement européen 2023. <https://www.europarl.europa.eu/news/fr/press-room/20230206IPR72112/performance-energetique-des-batiments-neutralite-climatique-d-ici-2050> (accessed May 14, 2023).
- [6] Balaras CA, Dascalaki E, Gaglia A. HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms. *Energy Build* 2007;39:454–70, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.09.004>.
- [7] Dascalaki EG, Lagoudi A, Balaras CA, Gaglia AG. Air quality in hospital operating rooms. *Build Environ* 2008;43:1945–52, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.11.015>.
- [8] NF EN ISO 14698-1. Afnor Éditions n.d. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-iso-146981/salles-propres-et-environnements-maitrises-apparentes-maitrise-de-la-biocon/fa039038/22765> (accessed May 14, 2023).
- [9] NF S90-351. Afnor Éditions n.d. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-s90351/etablissements-de-sante-zones-a-environnement-maitrise-exigences-relatives/fa168416/1332> (accessed March 12, 2023).
- [10] Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information. *Energy Build* 2008;40:394–8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>.
- [11] Febrero-Garrido L, López-González JL, Eguía-Oller P, Granada-Álvarez E. Development of a calibrated simulation method for airborne particles to optimize energy consumption in operating rooms. *Energies* 2019;12:2433, <http://dx.doi.org/10.3390/en12122433>.
- [12] MacNeill AJ, Lillywhite R, Brown CJ. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. *Lancet Planet Health* 2017;1:e381–8, [http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30162-6](http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30162-6).
- [13] Société française d'hygiène hospitalière. Qualité de l'air au bloc opératoire et autres secteurs interventionnels; 2015.
- [14] Rizan C, Steinbach I, Nicholson R, Lillywhite R, Reed M, Bhutta MF. The carbon footprint of surgical operations: a systematic review. *Ann Surg* 2020;272:986–95, <http://dx.doi.org/10.1097/SLA.0000000000003951>.
- [15] Klein H-M. A new approach to the improvement of energy efficiency in radiology practices. *Rofo* 2023;195:416–25, <http://dx.doi.org/10.1055/a-2021-7386>.
- [16] Chen Y. Study on energy-saving design and operation of hospital purification air conditioning system. *Int J Low Carbon Technol* 2018;13:184–90, <http://dx.doi.org/10.1093/ijlct/cty013>.
- [17] Elhelw M. Analysis of energy management for heating, ventilating and air-conditioning systems. *Alex Eng J* 2016;55:811–8.
- [18] Yasa E, Ok V. Evaluation of the effects of courtyard building shapes on solar heat gains and energy efficiency according to different climatic regions. *Energy Build* 2014;73:192–9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.042>.
- [19] Taillard J, Gronfier C. Circadian and homeostatic control of sleep (*regulation homéostatique et circadienne du sommeil*). In: Da, editor. *Sleep disorders (les troubles du sommeil)*. France: Elsevier; 2012. p. 25–43. Points de vue | International Review of Ophthalmic Optics n.d. <https://www.pointsdevue.com/06-taillard-j-gronfier-c-circadian-and-homeostatic-control-sleep-regulation-homeostatique-et> (accessed May 14, 2023).
- [20] Heschong L. Daylighting in schools an investigation into the relationship between daylighting and human performance condensed report; 1999, <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.31498.31683>.
- [21] Heschong L, Aumann D, Jenkins N, Suries T, Therkelsen RL. *Windows and offices: a study of office worker performance and the indoor environment*. USA: California Energy Commission; 2003. p. 1–5.
- [22] Ulrich RS. View through a window may influence recovery from surgery. *Science* 1984;224:420–1, <http://dx.doi.org/10.1126/science.6143402>.
- [23] Walch JM, Rabin BS, Day R, Williams JN, Choi K, Kang JD. The effect of sunlight on postoperative analgesic medication use: a prospective study of patients under-

- going spinal surgery. *Psychosom Med* 2005;67:156–63, <http://dx.doi.org/10.1097/01.psy.0000149258.42508.70>.
- [24] Beauchemin KM, Hays P. Dying in the dark: sunshine, gender and outcomes in myocardial infarction. *J R Soc Med* 1998;91:352–4, <http://dx.doi.org/10.1177/014107689809100703>.
- [25] Chen Y, Lau B, Blyth A, Schiano-Phan R, Yi-Kai J. *Influence on learning efficiency from natural light in educational environment*. Hong Kong: WestminsterResearch; 2018.
- [26] Golvani J, Roos L, Henricson M. Operating room nurses' experiences of limited access to daylight in the workplace – a qualitative interview study. *BMC Nurs* 2021;20:227, <http://dx.doi.org/10.1186/s12912-021-00751-8>.
- [27] Curlin J, Herman CK. Current state of surgical lighting. *Surg J (N Y)* 2020;6:e87–97, <http://dx.doi.org/10.1055/s-0040-1710529>.
- [28] Carnero-Alcázar M, Pérez-Camargo D. Turn off the lights when leaving the operating room. *Eur J Cardiothorac Surg* 2021;60:1332–3, <http://dx.doi.org/10.1093/ejcts/ezab411>.
- [29] 14:00-17:00. ISO 14644-1:2015. ISO 2016. <https://www.iso.org/fr/standard/53394.html> (accessed March 12, 2023).
- [30] Strategies to prevent surgical site infections in acute-care hospitals: 2022 update – PubMed n.d. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37137483/> (accessed May 19, 2023).
- [31] Jarvis I, Vahabi F. Operating room ventilation systems best practices guide for energy efficiency, health and safety. A greening healthcare research project; 2017. Available online: <https://www.enerlife.com/wp-content/uploads/2017/06/Enerlife-ORVentilation-Best-Practices-Guide-April-2017.pdf>. n.d.
- [32] ASHRAE Handbook Online n.d. <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook/ashrae-handbook-online> (accessed March 12, 2023).
- [33] "NHS England" (HTM 03-01) Specialised ventilation for healthcare buildings n.d. <https://www.england.nhs.uk/publication/specialised-ventilation-for-healthcare-buildings/> (accessed May 14, 2023).
- [34] Aycam İ, Yazici A. Evaluation of operating room units within the context of green design criteria. *Gazi Univ J Sci* 2017;30:1–15.
- [35] Yau YH, Ng WK. A comparison study on energy savings and fungus growth control using heat recovery devices in a modern tropical operating theatre. *Energy Convers Manag* 2011;52:1850–60, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2010.12.005>.
- [36] García-Sanz-Calcedo J, Al-Kassir A, Yusuf T. Economic and environmental impact of energy saving in healthcare buildings. *Appl Sci* 2018;8:440, <http://dx.doi.org/10.3390/app8030440>.
- [37] Sánchez-Barroso G, Sanz-Calcedo J, González AG, Salgado D. Sustainable solutions for thermal energy saving in hospital operating theatres. *E3S Web of Conferences* 2019;85:01002, <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20198501002>.
- [38] Noie-Baghban SH, Majideian GR. Waste heat recovery using heat pipe heat exchanger (HPHE) for surgery rooms in hospitals. *Appl Therm Eng* 2000;14:1271–82.
- [39] Alsved M, Civilis A, Ekolind P, et al. Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow. *J Hosp Infect* 2018;98:181–90, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2017.10.013>.
- [40] Bolten A, Kringos DS, Spijkerman IJB, Sperna Weiland NH. The carbon footprint of the operating room related to infection prevention measures: a scoping review. *J Hosp Infect* 2022;128:64–73, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2022.07.011>.
- [41] Cannistraro G, Cannistraro M, Galvagno A, Trovato G. Analysis and measures for energy savings in operating theaters. *Int J Heat Technol* 2017;35:S442–8, <http://dx.doi.org/10.18280/ijht.35Sp0160>.
- [42] Meng Q, Yan X, Ren Q. Global optimal control of variable air volume air-conditioning system with iterative learning: an experimental case study. *J Zhejiang Univ Sci A* 2015;16:302–15, <http://dx.doi.org/10.1631/jzus.A1400137>.
- [43] Hambræus A. Aerobiology in the operating room – a review. *J Hosp Infect* 1988;11 Suppl A:68–76, [http://dx.doi.org/10.1016/0195-6701\(88\)90169-7](http://dx.doi.org/10.1016/0195-6701(88)90169-7).
- [44] Liu J, Wang H, Wen W. Numerical simulation on a horizontal airflow for airborne particles control in hospital operating room. *Build Environ* 2009;44:2284–9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.03.019>.
- [45] Leaper DJ, Edmiston CE. World Health Organization: global guidelines for the prevention of surgical site infection. *J Hosp Infect* 2017;95:135–6, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2016.12.016>.