

新型コロナウイルス感染症とサージカルスモーク：危険性と排煙対策

はじめに

新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、2020年4月1日、日本医学会連合、日本外科学会等の連名による「新型コロナウイルス陽性および疑い患者に対する外科手術に関する提言」が発出された [1]。この提言のなかで排煙装置の使用が推奨されているが、エネルギーデバイスの使用により発生する煙「サージカルスモーク」について、国内の情報発信は十分とは言い難い。近年、モノポーラやバイポーラ電気メス、超音波凝固切開装置等のエネルギーデバイスの原理や安全使用について改めて注目されているが、サージカルスモークによる感染リスク等について十分に強調されていない [2,3]。ここでは、個人用防護具 (Personal Protective Equipment、以下、「PPE」と記す) では感染リスク等の懸念が残るサージカルスモークに関して、関連文献から既存の知見をまとめるとともに、新型コロナウイルス陽性者もしくは感染が疑われる患者の手術対応について概説する。

サージカルスモークとは

サージカルスモークとは、エネルギーデバイスを使用した際に立ちのぼる煙で、生存および生存していない細胞などを含む微小な固体粒子が、大気中もしくは体腔内で浮遊したものである [4]。文献上では「smoke」のほか「plume」「aerosol」「vapour」という単語が使用されることもある。炭化水素、フェノール、ニトリル、脂肪酸などの化学物質のみならず、生存する細菌・ウイルスを含むことから、患者や医療従事者の健康被害、感染リスクへの対応が必要である。

サージカルスモークに含まれる粒子の平均サイズは、使用するエネルギーデバイスによって異なり、電気メスにより発生する粒子径は最小で $0.1\ \mu\text{m}$ 以下、レーザー治療器による粒子径は $0.3\ \mu\text{m}$ 以下、超音波凝固切開装置は最も大きく $0.35\sim 6.5\ \mu\text{m}$ とされる [4]。これらの粒子はデバイス使用部位から最大 $1\ \text{m}$ 拡散するとされ、患者や医療従事者が吸引することで健康被害を引き起こす可能性がある。特に $0.5\sim 5.0\ \mu\text{m}$ の粒子は、肺の末梢まで到達し、肺うっ血、間質性肺炎、細気管支炎、気腫性変化など、急性および慢性の炎症性変化を引き起こすことが指摘されている [4]。特に、サージカルスモークの発生部位に近いほど暴露リスクは高くなり、その累積により健康上のリスクは高くなる。

サージカルスモークによるウイルス感染の危険性 (表 1)

サージカルスモークには、生存するウイルスが含まれることが指摘されている [5,6]。レーザー治療時に発生するスモークにヒト免疫不全ウイルス (HIV) DNA のプロウイルスやウシパピローマウイルス DNA が含まれることが報告され [7,8]、レーザー治療を行う医師において鼻咽頭の疣贅リスクも指摘されている [9,10]。ヒトパピローマウイルスは直径 $50\ \text{nm}$ の正 20 面体の粒子で [11]、HIV は直径 $110\ \text{nm}$ の球状粒子である [12]。新型コロナウイルス感染症の病原体である SARS-CoV-2 は、SARS および MERS と同じ β コロナ

ウイルスに属する。コロナウイルス科は、エンベロープを有するプラス鎖 1 本鎖 RNA ウィルスで直径 80-160 nm とされ [13]、ウイルスの大きさという観点からは、サージカルスモークから検出されている HPV や HIV とコロナウイルスは大差がないことがわかる。このことから、SARS-CoV-2 についても暴露リスクは否定できない。

サージカルスモークの量と質は、処置の種類、外科医の技量、標的臓器、エネルギーデバイスの種類や設定により変化する。サージカルスモークは、粒子が大きく、低温で生成されるほど生存可能な細胞やウイルスを含有する可能性が高くなることから、電気メス、レーザー治療器、超音波凝固切開装置の順にリスクが高いとされる [14,15]。細菌や真菌についてもサージカルスモーク内に含有する可能性はあるが、ウイルスよりもサイズが大きく、サージカルマスクにより捕捉されるため、ウイルスに比べると暴露リスクは低いと考えられる。

サージカルスモークのウイルス含有量は、肝炎ウイルス感染者における肝臓やヒトパピローマウイルス感染者における子宮のように、ウイルスが存在する病巣の手術でリスクが高まる。新型コロナウイルス感染者では、気管切開など気道を扱う耳鼻咽喉科領域、呼吸器外科領域の手術でリスクがより高いと考えられる。これらの領域では術中のみならず、咳や痰、気胸や肺切除後にドレナージされる気体まで汚染されていると考えられるため、汚染は手術室内に留まらない。さらに、新型コロナウイルス感染者の 8-15% にウイルス血症が起こり [16-18]、ウイルスは尿や便からも確認されているため [19]、内視鏡検査や処置はもちろん体液を扱う処置全般で注意を要する。処置室や手術室の運用、周術期管理を扱う病棟を含め、清潔区域と不潔区域のゾーニングにも留意したい。

サージカルスモークには他にも、アクリロニトリルなどの化学物質を含み [4,15]、短期暴露で頭痛、刺激、目、鼻、喉の痛み、悪心、嘔吐、くしゃみ、脱力感、立ちくらみを引き起こし、長期暴露は発がんに関連する [14]。

表 1 サージカルスモークのリスク

呼吸器	急性・慢性炎症性変化（肺うっ血, 肺気腫、気管支喘息、急性気管支炎, 慢性気管支炎, 間質性肺炎）
耳鼻咽喉頭	めまい、浮遊感、くしゃみ、喉の炎症、上咽頭病変
眼	眼の炎症、流涙
消化器	悪心・嘔吐
皮膚	皮膚炎
循環器	心機能障害
精神神経系	頭痛、不安
発がん性	白血病
ウイルス感染	HIV、HPV、肝炎ウイルス
その他	低酸素血症、衰弱、疝痛、貧血

サージカルスモークへの対策（図 1）

サージカルスモークは、外科医のみならず、看護師、麻酔科医、臨床工学技士、医学生、看護学生など様々な職種、さらには患者にも影響を与える。医療従事者がサージカルスモークに暴露されないためには、サージカルマスクを含む一般的な PPE だけでは不十分とされ、欧米を中心に排煙装置の使用が推奨されている [4,20,21]。

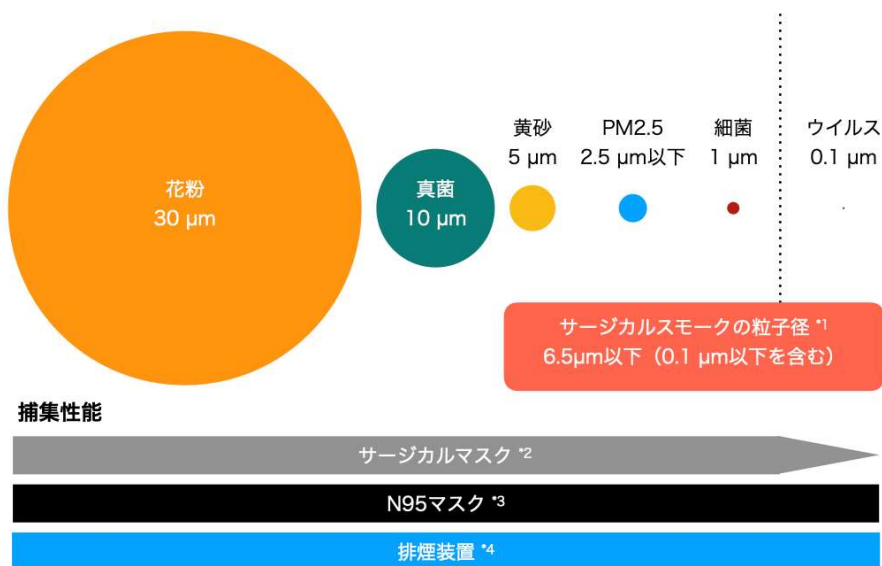


図 1 サージカルスモークの粒子径と対策の概念図

*1 処置の種類、外科医の技量、標的臓器、エネルギーデバイスの種類や設定により変化
する。

*2 マスクによってはウイルス捕集性能あり。

*3 密着していなければ暴露リスクあり。

*4 適切な吸引機能と ULPA フィルタがなければ空気が汚染される。

(1) マスクで残る感染リスク

手術で使用されるサージカルマスクは、フィルタ機能のほか、血液防護性、空気置換率、燃焼性、皮膚刺激性、顔面への密着性、術野への落下防止、長時間の装用でも耳が痛くならない、取り外す際の感染リスクといった観点から選定される [23]。国内には医療用マスクの規格は存在しないが、マスクの性能は米国材料試験協会 (American Society for Testing and Materials : ASTM) によって定められた規格がある。評価項目は、細菌を含む 3.0 μm 以上の粒子の捕集性能を表す Bacteria filtration efficiency (BFE)、ウイルスを含む 0.1 μm の粒子の捕集性能を表す粒子濾過率 Particle Filtration Efficiency

(PFE)、血液防護性、通気性、燃焼性の 5 項目から成り、このうちサージカルマスクのフィルタ性能基準は、BFE 95%以上であることが条件である。更に、血液防護性の観点で 3 段階に分けられ、ASTM 規格レベル 2 以上のマスクでは BFE・PFE が 98%以上と

規定されている。自施設で採用されているマスクの ASTM 規格を確認し暴露リスク軽減を図るほか、マスク装着下においてもウイルス吸引暴露のリスクが残ることを忘れず、適正な装着を心がける。

N95 マスクは、結核患者や水痘や麻疹に抗体を持たない医療従事者が患者と接する際に用いられてきた [23]。N95 とは、米国労働安全衛生研究所 (National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH) で定められた防塵規格で、 $0.075\ \mu\text{m}$ 以上の粒子を 95%以上捕集する性能を意味する [24]。この捕集性能により、新型コロナウイルス感染者もしくは感染が疑われる患者の手術や処置においても N95 マスクが推奨されている。ただし、N95 マスクは顔面に密着するよう装着しなければ暴露リスクが高くなることから、米国労働安全衛生局 (American Occupational Safety and Health Administration: OSHA) は、導入時と年 1 回のフィットテストを義務付けている [23]。新型コロナウイルス感染者もしくは感染が疑われる患者での手術や処置では、職業感染制御研究会による「医療従事者のための N95 マスク適正使用ガイド」を参考に N95 マスクを正しく装着することが重要である [23]。また、長時間 N95 マスクの装着により血中 CO_2 濃度が上昇し集中力が低下するといった報告もあり [25,26]、長時間の処置や手術では小休憩を挟むなど、医療従事者への配慮も怠らない [27]。

(2) 排煙装置 (表 2)

サージカルスモークから患者や医療従事者を守るため、米国手術室看護師協会 (Association of perioperative registered nurses: AORN)、国際周術期看護師連盟 (International Federation of Perioperative Nurses: IFPN) は、以前より排煙装置の使用を推奨してきた [20,21]。排煙装置は、吸引デバイス、吸引システム、濾過装置から構成され [28]、吸引システムは吸引力 $30\sim 40\text{m/min}$ を推奨している [4]。効果的な排煙のため、吸引口がサージカルスモーク発生箇所の近傍に位置するよう、電気メス先端 $2\sim 3\text{cm}$ に吸引口が設置されている。吸引口が離れて位置する場合、吸引効率が 50%以下に低下する [14,29]。濾過装置には、空気清浄機やクリーンルームのメインフィルタとして用いられ、 $0.10\ \mu\text{m}$ の粒子を 99.9995%以上捕捉する ULPA (Ultra Low Penetration Air Filter) 規格の超高性能フィルタが用いられている [30]。フィルタ寿命は製品によって異なるが、 $24\sim 35$ 時間で交換を要する。交換時には感染予防策を講じ、使用後のフィルタ等消耗品はポリ袋等で密閉し破棄する。

開胸・開腹手術など、体表近くでエネルギーデバイスを用いる手術はもちろんのこと、鏡視下手術においても排煙の重要性が提唱されている。体腔内に蓄積したサージカルスモ

ークが、鏡視下手術で用いるトロッカーから高密度で放出されることや、癌手術においては播種のリスクも指摘されている[18,19]。このため、気腹・気胸圧を維持できるように連続的な送換気が可能な鏡視下手術用の排煙装置も使用されている。ただし、鏡視下手術における排煙装置は、サージカルスモークのリスク軽減目的よりも、視野維持が主な目的で使用されており、フィルタ機能を持たない製品も存在する。自施設の排煙装置の性能を改めて確認いただきたい。

エネルギーデバイスを用いる全ての手術・処置で排煙装置を使用することが理想的だが、現時点では、導入・運用コスト等の課題が残る。新型コロナウイルス感染症が拡大している国内においては、地域の新型コロナウイルス感染症の発生状況や医療提供体制、当該医療機関の新型コロナウイルス患者の診療状況、緊急手術における地域での役割、さらには病院機能等を総合的に考慮し、対策を講じることが必要である。排煙装置やフィルタといった、現在限られている医療資材を効率的かつ効果的に配分するため、地域の医療機関が協力し、適正に排煙装置を使用することが望ましい。

排煙装置のない医療機関において、新型コロナウイルス感染患者もしくは感染が疑われる患者に緊急的な手術を行う際には、N95 マスクを含めた PPE に努めることはもちろん、リスクを少しでも軽減するため、効果は排煙装置より劣ったとしても壁吸引を用いて排煙に努める。その際、人工呼吸器用の人工鼻等をフィルタとして代用するといった、簡易的工夫も有効かもしれない [31]。外科医のみならず、麻酔科医、手術室看護師、臨床工学技士、そして感染症制御を専門とする多職種 of 医療従事者が互いの知見や経験を活かし、限られた医療提供体制の中、患者や医療従事者の保護、感染拡大の防止に努めることが重要である。

表 2 日本で利用可能な排煙装置 (株式会社は略)

製品名	製造元	販売元
Crystal Vison	I.C. Medical	アムコ
Rapid Vac	Medtronic	コヴィディエンジャパン
VisiClear	CONMED	日本メディカルネクスト
AER DEFENSE	CONMED	日本メディカルネクスト
Neptune	Stryker	日本ストライカー

おわりに

エネルギーデバイスにより発生するサージカルスモークには、ウイルス、発がん性物質を含む様々な粒子が含まれている。新型コロナウイルス感染患者の手術で発生するサージカルスモークの感染リスクは十分に検証されていないものの、サージカルスモーク中に

SARS-CoV-2 が含まれている前提で対応策を講じることが望ましい。手術適応を十分検討したうえで [32]、手術が必要な場合には安全に医療を提供するため、排煙装置の使用だけでなく、手術室の運用や周術期管理まであらゆる感染リスクの軽減措置を講じる知恵と努力が求められる。

なお、ここでは、ウイルス感染を念頭にサージカルスモークについて概説してきたが、詳細については次のサイトも参考にされたい。

<http://www.surgicaleducation.jp/surgicalsmoke.html>

参考文献

- [1] 新型コロナウイルス陽性および疑い患者に対する外科手術に関する提言 2020年4月1日 (<http://www.jssoc.or.jp/aboutus/coronavirus/info20200402.pdf>)
- [2] Watanabe Y, Kurashima Y, Madani A, et al. Surgeons have knowledge gaps in the safe use of energy devices: a multicenter cross-sectional study. *Surg Endosc* 2016; 30: 588-92.
- [3] 本間崇浩, 渡邊祐介. 電気メスの基礎知識と安全使用. *臨床外科* 2019; 74: 750-4.
- [4] Alp E, Bijl D, Bleichrodt RP, Hansson B, Voss A. Surgical smoke and infection control. *J Hosp Infect* 2006; 62: 1-5.
- [5] Garden JM, O'Banion K, Sheinitz LS, et al. Papillomavirus in the vapour of carbon dioxide laser-treated verrucae. *JAMA* 1988; 259:1199-1202.
- [6] Ferenczy A, Beregeron C, Richard RM. Human papillomavirus DNA in CO2 laser-generated plume of smoke and its consequences to the surgeon. *Obstet Gynecol* 1990; 75:114-8.
- [7] Baggish MS, Poiesz BJ, Joret D, Williamson P, Refal A. Presence of human immunodeficiency DNA in laser smoke. *Lasers Surg Med* 1991; 11:197—203.
- [8] Garden JM, O'Banion MK, Bakus AD, Olson C. Viral disease transmitted by laser-generated plume (aerosol). *Arch Dermatol* 2002; 138:1303—1307.
- [9] Gloster H, Roenigk R. Risk of acquiring human papillomavirus from the plume produced by the carbon dioxide laser in the treatment of warts. *J Am Acad Dermatol* 1995;32:436-441
- [10] Hallmo P, Naess O. Laryngeal papillomatosis with human papillomavirus DNA contracted by a laser surgeon. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 1991;248:425-427.
- [11] Day PM, Weisberg AS, Thompson CD, et al. Human Papillomavirus 16 Capsids Mediate Nuclear Entry during Infection. *J Virol*. 2019; 17:93. pii: e00454-19. doi: 10.1128/JVI.00454-19.

- [12] Turner BG, Summers MF. Structural biology of HIV. *J Mol Biol* 1999; 8; 285:1-32.
- [13] 川名明彦, 三笠桂一, 泉川公一. 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) . *日内会誌* 2020; 109: 392-5.
- [14] Barrett WL. Surgical smoke: a review of the literature. *Surg Endosc* 2003;17:979-987.
- [15] Hashimoto M, Kobayashi T, Tashio H, et al. Viability of airborns tumor cells during excision by ultrasonic device. *Surg Res Pract*. 2017;2017:4907576.
- [16] Guan WJ, Ni ZY, Hu Y, et al. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *N Engl J Med*. 2020 Feb 28. doi: 10.1056/NEJMoa2002032
- [17] Huang C, Wang Y, Li X, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*. 2020 Feb 15;395(10223):497-506.
- [18] Hoehl S, Berger A, Kortebusch M, et al. Evidence of SARS-CoV-2 Infection in Returning Travelers from Wuhan, China. *N Engl J Med*. 2020 Mar 26;382(13):1278-1280. doi: 10.1056/NEJMc2001899.
- [19] Peng L, Liu J, Xu W, et al. 2019 Novel Coronavirus can be detected in urine, blood, anal swabs and oropharyngeal swabs samples. www.medrxiv.org. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.02.21.20026179>
- [20] Bigony L. Risk associated with exposure to surgical smoke plume: a review of the literature. *AORN J* 2007; 86: 1013-20.
- [21] International Federation of Perioperative Nurses. Educational tools. Smoke plume. <https://www.ifpn.world/resources/education-tools>
- [22] 石角鈴華. マスク (サージカルマスク・N95 マスク) ・ゴーグル・フェイスシールド. *INFECTION CONTROL* 2010; 19: 258-68.
- [23] 職業感染制御研究会. 医療従事者のための N95 マスク適正使用ガイド. http://jrgoicp.umin.ac.jp/related/N95_respirators_users_guide_for_HP_pub1.pdf
- [24] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Information for health care worker. <https://www.cdc.gov/niosh/npptl/ppecase.html>
- [25] Laferty EA, McKay RT. Physiologic effects and measurement of carbon dioxide and oxygen levels during qualitative respirator fit testing. *J Chem Health Safety*. 2006;13:22-28. doi: 10.1016/j.jchas.2005.11.015.
- [26] Tang JW, HC Willem, TM Ng, et al. Short-term measures of carbon dioxide levels, physiological indicators and subjective comfort of healthcare workers wearing N95 masks. *Influenza Other Respir Viruses*. 2011;5:365-66.

- [27] Park AE, Zahiri HR, Hallbeck MS, *et al.* Intraoperative “Micro Breaks” with targeted stretching enhance surgeon physical function and mental focus: a multicenter cohort study. *Ann Surg* 2017;265:340-6.
- [28] Surgical smoke evacuations systems. *Health Devices* 1997; 26: 132-72.
- [29] Taravella MJ, Viega J, Luiszer F, *et al.* Respirable particles in the excimer laser plume. *J Cataract Refract Surg* 2001; 27: 604—607.
- [30] Lee T, Soo JC, LeBouf RF, *et al.* Surgical smoke control with local exhaust ventilation: Experimental study. *J Occup Environ Hyg* 2018; 15: 341-50.
- [31] 石井一成. 人工鼻フィルター 加温・加湿のしくみ. *人工呼吸* 2004; 21: 1-7.
- [32] American College of Surgeons. COVID-19: Elective case Triage Guidelines for Surgical Care. <https://www.facs.org/covid-19/clinical-guidance/elective-case>