



1. 手术烟雾的危害

由高频电外科设备或激光干预或切开时产生的烟雾会使得手术室工作人员暴露在令人不愉快的气味中。然而，没有人停下来去思考这些手术中产生的气体，蒸汽和固体颗粒对健康可能产生的风险。外科团队成员实际上暴露在一个复杂的生物，细胞，颗粒和气体物质的混合物中。这种相关暴露可能意义重大。在一些外科手术的过程中-肿瘤缩小，例如-切除肿瘤组织，腹膜壁层，各种内部器官以及内脏腹膜表面肿瘤结节的电凝术可能持续 2-12 小时，这会导致延长暴露在外科手术烟雾中的时间。

在探究这些手术潜在危害之前，定性并尽可能定量分析外科手术羽流（是流体力学专业用语）的组成非常重要。

1.1 定性分析和颗粒组成

取决于所采取的手术和所处理的组织，外科手术烟雾的定量组成可能有着极大的波动。然而，从定性成分中可能会得到一个想法。如下所示。根据生理方面原因，水蒸气是烟雾和气溶胶的主要成分。据估计，大约占 95%。确切水平与所涉及的组织类型有关。水蒸气的作用是帮助其他成分流动。

产生的颗粒尺寸大小范围从大于 200 微米直至小余 10 纳米。平均颗粒直径决定因素包括于组织上应用的能量强度。以下颗粒尺寸已经被报道过：

- **电灼术**：平均颗粒直径 (d)：0.1 μm
- **激光（组织切除）**：平均颗粒直径 (d)：约 0.3 μm
- **超声刀**：平均颗粒直径 (d)：约 0.35-6.5 μm

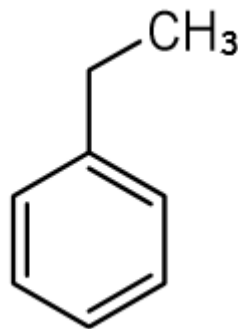


这意味着非常大一部分的烟雾颗粒被吸入并且沉积在肺泡中。测量腹膜癌变手术和其他消化道介入手术中(产生的颗粒), 范围从 1-10 μm 的“常规”颗粒到 0.02-1 μm 的“纳米”颗粒不等。(注意: 纳米是在文献中定义为直径在 0.1 μm 及以下的颗粒)。样品取自气道水平中。结果表明高功率下会导致高等级的暴露水平, 例如, 腹膜癌变的高压灼烧相对于常规方法。(例如, 结肠癌切除术)。累计值为 9.3×10^6 颗粒 / (ml h) 对比于个人取样的 4.8×10^5 颗粒 / (ml h) 以及 2.6×10^6 颗粒 / (ml h) 对比于环境空气中取样的 3.9×10^4 。

通过其他测量方式评价在各种外科手术治疗中暴露的超微颗粒 (0.01-0.1 μm), 证实了此结果的正确性。与高暴露水平有关的手术包括电灼术和氩激光组织凝固。作者确认了平均浓度为 1930 颗粒/ cm^3 , 电灼术粘连最高达 183000。最高浓度在肝脏血管瘤手术中测得, 平均浓度为 12200, 最高为 490000 颗粒/ cm^3 。与胆囊切除不同, 后腹部的肿瘤消融以及腹股沟疝手术会导致高等级暴露于有害物质中。

1.1.2 有机毒物

在手术烟雾中发现了大量的有机热解产物, 包括但不限于以下: 芳香烃(苯, 甲苯, 乙苯和二甲苯), 氰化氢(HCN), 甲醛以及当然, 多环芳烃。各种作者已经试图更加精细地分解手术烟雾中化学成分。从其他事物中, 他们推断得出, 烟雾组成变化非常大, 取决于所使用手术和器械类型。



甲苯



1.1.3 无机毒物

与任何燃烧过程一样，电外科手术过程也会产生碳氧化合物（CO 和 CO₂），硫和氮的氧化物和氨。这些化学药剂可能会引起呼吸道刺激和组织缺氧。

1.1.4 生物毒物

组织蒸发释放出的烟雾和气溶胶可能包含大量数量的颗粒。这些可能是完整的细胞，细胞碎片，血细胞和病毒 DNA 片段。

激光烟雾中已经能培养出来活细菌，包括枯草芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌以及分枝杆菌等例如结核分枝杆菌。



生物危害警告标志

一项有关于 CO₂ 激光治疗后的细菌分布和活性的研究可以追溯到 1987 年。作者使用营养肉汤涂覆管来接种大肠杆菌和金黄色葡萄球菌。然后对管内进行激光照射并收集由此产生的烟雾。羽流包含活的病原体，特别是葡萄球菌。

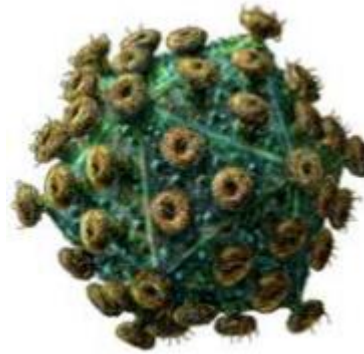
烟雾中检测到的传染性细菌包括 HIV（人类免疫缺陷病毒），HBV（乙型肝炎病毒），BPV（牛乳头瘤病毒）和 HPV（人乳头瘤病毒）。微生物污染的性质很大程度上取决于手术过程类型。大部分论文集中于人乳头瘤病毒，并且在一份激光凝



湿疣的手术烟雾样本中重复检测到了 HPV DNA。一名护士诊断出感染了喉乳头瘤病毒，被正式公认为职业病。她在乳头瘤治疗中当助手。



人乳头瘤病毒



人类免疫缺陷病毒

主要化学成分列表-激光手术烟雾中主要有机成分的研究

乙腈	甲醛	丁二烯	丙烯
乙炔	一氧化碳	丁烷	吡啶
丙烯醛	甲酚	乙烯	吡咯
丙烯腈	甲烷	氰化氢	苯乙烯
烷基苯	苯基	乙烷	甲苯
苯	多环芳烃	乙炔	二甲苯

很难确定烟雾中检测到的 DNA 活性。目前对此无特殊性实验。Garden 筛选出 CO₂ 激光烟雾中的牛乳头瘤病毒 (BPV) 和人乳头状瘤病毒 (HPV) DNA，但无法证明其 DNA 仍然具有传染性。为了支持这项研究工作，使用 CO₂ 激光治疗牛疣治疗烟雾中获得的乳头病毒给三只羊进行接种。其中两只在接种部位形成了一个特征性肿瘤。

在一个体外实验中，使用 HIV 病毒接种进行细胞培养。这些培养物暴露于各种医疗设备在正常使用时产生的气溶胶的影响中。只有产生所谓“冷”气溶胶能够



华康普美
HKPROMED

微·创·手·术·的·引·领·者

北京华康普美科技有限公司

传输活病毒。相反，电凝或者切割刀产生羽流烟雾则包含非活性病毒。

Fletcher 及其他人在黑色素瘤病变电灼切除手术中检测到了活黑色素瘤细胞。活细胞的数量大小与手术功率设置有关，30W 比 10W 时大。

1.2 成分影响

手术烟雾剂量依赖性地导致急性中毒症状，表现为头痛，浑身无力，恶心，肌肉无力，眼睛和呼吸道的刺激。

哮喘病人更容易受到吸入颗粒的影响。

烟雾可能还会产生令人不悦的气味，让手术室人员经常性的觉得麻烦，并可能妨碍外科医生的手术视野。

1.2.1 颗粒

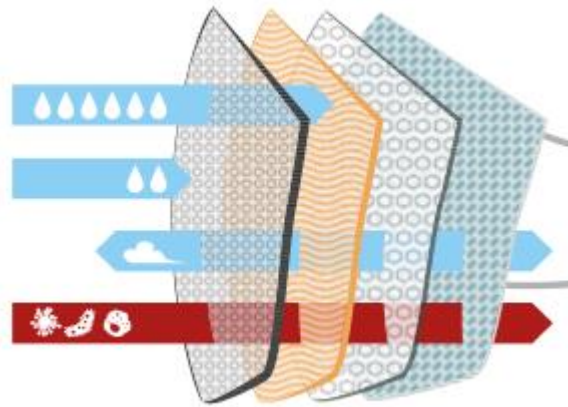
颗粒对生物体的影响取决于它们的大小和化学成分。德语中，小于 $3\mu\text{m}$ 的颗粒被称为“肺泡分数”而小于 $10\mu\text{m}$ 的被称为“胸腔分数”。这个尺寸的颗粒可能渗透到支气管树，沉积在支气管结构和造成细胞性损伤。影响各不相同，从惰性颗粒对气道的污染（例如，二氧化钛）至局部刺激（鼻炎，支气管炎）甚至恶性肿瘤（鼻窦，支气管）。一些颗粒可能会进入血液，引起全身性中毒（金属）。



华康普美
HKPROMED

微·创·手·术·的·引·领·者

北京华康普美科技有限公司



面具也无法挡住病原体和颗粒

工业和柴油发动机气体排放的超细空气中的灰尘颗粒已被证明具有毒性，对人体健康（呼吸道过敏，鼻炎，支气管炎，心血管问题，特别是在易感个体）有害。激光烟雾中发现的某些成分也在污染空气被检测出。同时也最终证实，即使纳米颗粒与微观颗粒或者宏观颗粒组成物质相同，其毒性却不同（例如纳米二氧化钛）。

1.2.2 化学毒物

根据下面讨论的物质的毒物学详细信息，请参照国际标准化比值 “Fiches toxicologiques” 或者 DGUV’s “GESTIS” 物质数据库。所描述的效果是一般值，并且作为一项规则，与电外科手术相关的浓度无直接关系。

芳香烃族

芳香烃族基本上由 3 种化合物组成。苯，被 IARC（国际癌症研究机构）归为人类致癌物，能导致骨髓再生障碍性贫血和白血病。急性暴露会使中枢神经系统抑郁。在手术烟雾浓度高时，会出现诸如乏力，恶心，头晕，头昏眼花，头痛和昏迷的症状。

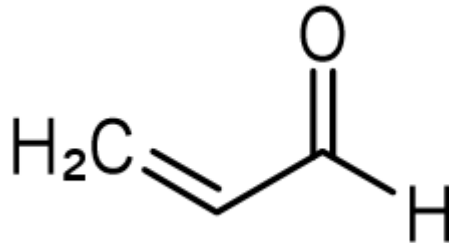


甲苯和二甲苯

甲苯和二甲苯有着相同的中枢抑制性能。它们也是皮肤，眼睛和呼吸道的刺激物。

丙烯醛

甲醛、乙醛和丙烯醛是呼吸道的刺激物。即使低浓度下，这些效果也是很明显的，并且可能可能对支气管内膜造成重大损害。甲醛也会导致皮肤和呼吸器官过敏，并已证实与鼻窦癌有关。



丙烯醛

多环芳香烃

与多环芳烃（多环芳烃）有关的健康问题包括眼睛、鼻子、喉咙、皮肤和呼吸道的刺激、疲劳、头痛、恶心和睡眠困难。有报道说非-恶性肺部疾病如支气管炎、肺气肿、哮喘。

大量的多环芳烃（包括苯并[a]芘和苯并[a, H]蒽）已被证实具有致癌活性，并且被欧盟归为 2 致癌性物质：有些是 1B 类。其他芳香类化合物，包括某些杂环化合物（例如苯并萘噻吩）或取代的多环芳烃可能有遗传毒性。

甲酚

三甲酚异构体可引起神经系统损害，胃肠道疾病和皮肤病。也观察到其对肝脏的



华康普美
HKPROMED

微·创·手·术·的·引·领·者

北京华康普美科技有限公司

损伤，不同程度的肾脏和肺的损伤。甲酚经口，皮肤和呼吸道进入人体。个体暴露于重度污染下会迅速出现眼结膜刺激，头痛，中毒感，视力和听力障碍、心动过速以及呼吸困难。反复暴露会导致呕吐，食欲减退，神经系统问题，头痛，中毒和皮肤状况。



健康危害图像

苯酚

苯酚刺激眼睛和呼吸道内膜。慢性暴露导致吞咽困难，呕吐，腹泻，血尿，食欲不振，头痛，混乱，行为障碍，深色尿和暂时发红。

氢氰酸

激光羽流中的氰化氢（HCN）的量不足以引起急性症状；然而，慢性毒性对经常暴露的个体中则可能（引起急性症状）。慢性毒性的常见表现是头痛，感觉虚弱，头晕，震颤，恶心，呕吐，胃痛，体重减轻和结膜炎。甲状腺问题也可能发生。

一氧化碳

早期中毒症状往往是不确定的：头痛，头晕，感觉虚弱和胃肠道问题。一氧化碳中毒最严重可导致昏迷和死亡。可能会导致严重的神经系统后遗症。慢性毒性的问题已引起了很大的关注。这被认为是用于血管损伤和相关增加的心肌梗死的风



险以及构成某些神经障碍的危险因素，可能包括（例如）帕金森氏症的起点。下表总结了激光羽流中各种有害物质的主要毒性。

手术烟雾中的化学化合物及其健康效应

乙腈 ¹	杂酚油 ³	2-甲基咪喃
乙炔	1-癸烯	6-甲基苯酚
氰化氢 ¹	2,3 二氢茛 ¹	2-甲基丙醇
棕榈酸	乙烷	多环芳烃 ³
丙烯醛 ¹	乙烯	苯酚 ^{1,9}
丙烯腈 ^{1,2,5}	乙苯	聚丙烯 ^{1,8}
烷基苯磺酸盐	甲醛 ^{1,2,4,8}	吡啶 ^{1,11}
苯甲醛	糠醛 ^{1,2,9}	吡咯
苯 ^{1,3,4,9,11}	吡啶 ¹	苯乙烯
腈	苯	异丁烷
甲苯 ^{9,11}	丁二烯 ^{1,2,4,9}	甲烷二甲苯 ¹¹
二硫化碳 ^{1,6,7}	3-甲基丁烷	m-甲酚 ^{1,11}
一氧化碳		
1.刺激眼睛和呼吸道	8.可致呼吸道过敏	
2.可疑的人体致癌物	9.怀疑可使动物致畸	
3.已确认的人类致癌物	10.怀疑可使人致畸	
4.可疑的人类诱变剂	11.中枢神经系统抑制	
5.可疑的动物诱变剂	未标记的物质在毒理学研究中未被充分表征或仅在高浓度下仅具有窒息活性。	
6.可影响精液质量		
7.可致窒息，胚胎毒性和胎儿毒性		

挥发性有机化合物

一些有机毒素属于挥发性有机化合物（VOCs）的异质族，代表许多不同的化学



家族。在室内空气中以不同的浓度检测 VOCs。

1.2.3 生物毒素

很少有关于在手术室中吸入激光和高频电外科手术烟雾的生物效应风险的研究。除了一般的影响，致突变性和致癌性一直是主要关注的焦点。

1.3 对健康的影响

1.3.1 一般影响

一般效果/症状已经记录在基于通常（已知）激光烟成分的注册表中。此注册表不是基于流行病学研究，而是这些成分的理论风险的列表。它包括单个成分的可能的急性（刺激）和慢性（癌症）作用。

手术烟雾可能的健康风险（12）

刺激眼睛	缺氧，头晕
流泪	绞痛
打喷嚏	心血管问题
鼻咽刺激	肝炎
急性或慢性呼吸道炎症（支气管炎，哮喘，肺气肿）	艾滋病毒感染
头痛	皮炎
感觉虚弱	贫血
恶心，呕吐	白血病
焦虑/激动	癌



Baggish 及其同事的两项实验研究证实了呼吸道刺激的可能性。在其中一只老鼠肺泡内滴注从 CO₂ 激光组织汽化的颗粒引起了引起间质性充血性肺炎，细支气管炎和肺气肿。在其他研究中暴露于 CO₂ 激光烟雾的老鼠中则观察到了肺部刺激。

当烟雾首先通过常规的市售吸烟系统过滤时，其效果不太明显。当老鼠暴露于已经通过用于捕获小至 0.1 微米的颗粒的超低渗透空气过滤器装备过滤的烟雾时，并未观察到任何影响（既不是临床的也不是组织学的）。

Freitag 等人同样证明了激光烟雾对呼吸系统的刺激活性。将羊暴露于 0.92mg 颗粒/L 的浓度，平均粒径为 0.54 微米的颗粒下。在这种情况下，通过分析通过支气管肺泡灌洗获得的细胞来评价刺激效应。

1.3.2 特殊影响

迄今为止研究得到的手术羽流的唯一具体影响是基因毒性和细胞毒性，但是所进行的少数研究不足以提供确凿的证据。

生物多样性

在实验条件下，研究出的唯一影响是使用 Ames 试验（使用或不使用活化剂）得到的致突变性。

Tomita 等人评估了应用于犬舌组织的 CO₂ 激光烟的致突变性。通过经由滤纸抽吸烟气，然后用 DMSO（二甲基亚砷）稀释来产生冷凝物。使用在 Ames 试验中所使用的沙门氏菌菌株 TA 98 和 TA 100 来测试产生的此混合物。结果对于 TA 98（具有和不具有代谢活化）和 TA 100（具有来自多氯联苯诱导的大鼠肝脏的代谢活化 S9 混合物）是阳性的。

类似研究中，在乳房切除术期间通过电灼获得一份空气样品。还使用沙门氏菌菌



华康普美
HKPROMED

微·创·手·术·的·引·领·者

北京华康普美科技有限公司

株 TA 98 和 TA 100 测试由此产生的冷凝物。在代谢活化剂（来自 Aroclor 1254 诱导的大鼠肝脏的 S9 混合物）的存在下，证明了 TA98 的诱变活性。

虽然这些结果是积极的，但数量很少。这些结果不一定代表每个羽流。所产生的烟雾根据激光性能，所处理的组织和环境而不同。

细胞毒性

实验条件下通过高频电外科钩刀重复切割猪肝产生的烟暴露于乳腺癌细胞（MCF7）的培养物中。然后，该细胞培养物的存活率下降至少 30%，表明烟是细胞毒性的。然而，在特殊实验条件（氦气条件）下进行的该研究不一定代表在手术室中产生的羽流。

获得国际社会保障协会的良好许可，卫生服务部门预防职业风险部分摘自：
Eickmann U, Falcy M, Fokuhl I, Rügger M, Bloch M, Merz B. Surgical Smoke: Risks and Preventive Measures. Ed: ISSA 关于预防卫生服务职业危害的国际科。2011 年。来源还包含人类经验报告和总结评估。