

德国的一个研究小组使用 Phantom 高速摄像机观察了呼吸道飞沫在上呼吸道中的形成过程 — 这对于了解新冠等病毒的本质至关重要。

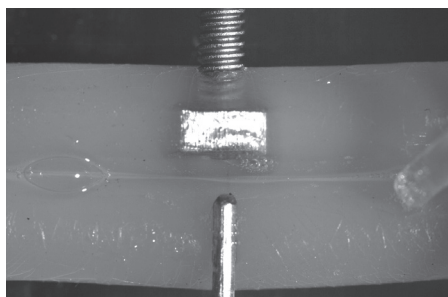
新冠疫情带来了诸多改变,其中包括促使越来越多的研究人员对空气传播病原体的性质和传播方式进行研究。然而,在过去,还没有出现关于含病毒的气溶胶粒子在上呼吸道中究竟是如何形成的研究。

通常,人们选择观察和研究呼吸道飞沫在细支气管、喉部和口腔中形成的过程。然而,像新冠这样的病毒在传染性最强的时候会栖息在上呼吸道,包括鼻子和喉咙。这一事实促使德国萨克森州弗莱贝格技术大学 (TUBAF) 的一个研究小组开始研究飞沫是如何在这一区域形成的。

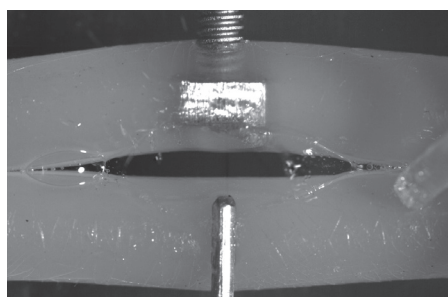
TUBAF 研究员 Katrin Bauer 说:“在研究新冠等病毒的空气传播时,有必要了解呼吸道液体是如何产生气溶胶飞沫的。”“虽然有大量关于它们在空气中传播途径的研究,特别是在过去两年中,但却很少有人研究这些飞沫的实际形成过程。”

据研究小组称,这些带病毒的飞沫是由说话等上呼吸道活动产生的。正是出于这些原因,TUBAF 研究小组将研究重点放在了附着在声带上的呼吸道液体的雾化过程上。

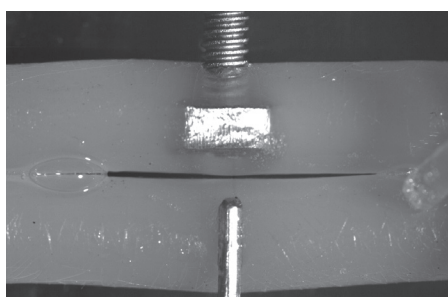
雾化是将液体分解成更小飞沫的过程。



使用 Phantom VEO 710 摄像机以 5000 fps 的速度拍摄声带, 参数如下: 气流速度为 10 l/min, 声带振荡频率为 100 Hz, 声带振荡幅度为 0.7 mm。(Fritzsche 等人)



使用 Phantom VEO 710 摄像机以 5000 fps 的速度拍摄声带, 参数如下: 气流速度为 20 l/min, 声带振荡频率为 100 Hz, 声带振荡幅度为 0.7 mm。(Fritzsche 等人)

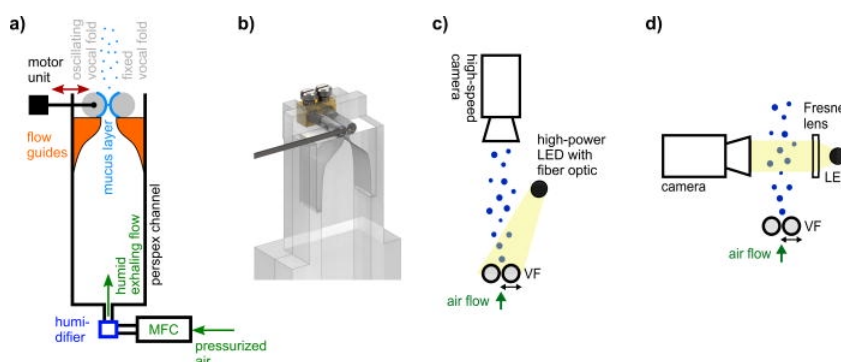


使用 Phantom VEO 710 摄像机以 5000 fps 的速度拍摄声带, 参数如下: 气流速度为 30 l/min, 声带振荡频率为 100 Hz, 声带振荡幅度为 0.7 mm。(Fritzsche 等人)



## 实验装置

Bauer 和她的团队利用两个弹性圆柱体构建了一个从生理学来说准确的、由电机驱动的声带模型。这些圆柱体由硅胶制成, 长度和直径分别为 20 mm 和 4 mm。他们将声带连接到气管模型的末端; 加湿空气以每分钟 10 升、20 升和 30 升的恒定流速进入气管, 以模拟说话时的情况, 然后加湿空气通过声带排出。具有类似唾液特性的模拟呼吸道液体持续流过声带。



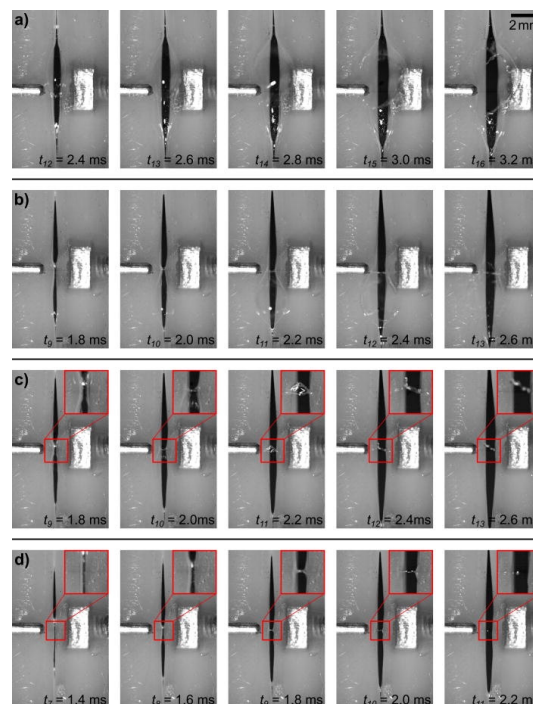
实验装置 (Fritzsche 等人)

为了观察呼吸道液体雾化成气流的过程, TUBAF 研究小组使用了 Phantom VEO 710 高速摄像机。随着声带的移动, 研究小组以每秒 5000 帧 (fps) 的速度和全分辨率 (1280 × 800) 记录了声门上气泡和桥结构的形成过程, 以及这些气泡和桥结构分解成更小飞沫的过程。由于气流速度和粒子速度都很高, 研究小组使用了 60 微秒 ( $\mu\text{s}$ ) 的曝光时间, 最大限度地减少了运动模糊。

“Phantom 摄像机让我们能够定性地观察在声门关闭后飞沫在一个振荡周期内是如何形成的，”Bauer 解释说。据她介绍，100 赫兹 (Hz) 的振荡频率和 5000 帧/秒的帧速率意味着一个完整的振荡周期由 50 个时间步组成。在实验中，研究人员记录了多个振荡周期的雾化过程。

随后，他们观察了呼吸道飞沫的形成和破裂机制。其中包括：

- 大双联气泡的破裂。两个相连的气泡横跨声门区域。这个双联气泡的一侧比另一侧膨胀得更多并破裂，导致较小的一侧也跟着破裂。
- 小气泡的破裂。两个相连的气泡横跨声门区域，但只有较小的气泡破裂，碎裂成更小的飞沫。
- 喷射。当声带分开时，横跨声带的一层厚厚液桥的两个表面加速向彼此靠近，最终破裂。与之前的气泡破裂机制相比，这种机制产生的飞沫更大。
- 断丝。当声带分开时，会形成一层薄薄的液桥，该液桥会被声带拉断。与喷射一样，这个过程产生的飞沫比气泡破裂机制产生的飞沫更大。



不同飞沫的产生机制 (Fritzsche 等人)

## Phantom VEO 710

Phantom VEO 710 摄像机非常适合 TUBAF 团队用来研究小气溶胶颗粒在声带模型中的产生和运动机制。它具有帧速率高、曝光时间短和出色的感光度等特点。该系统在全分辨率下能以 7,400 帧/秒的速度捕捉图像，而在使用受出口管制的 FAST 选件时，在较低分辨率下，它能在高达 1,000,000 帧/秒的速度捕捉图像。虽然该摄像机的最短曝光时间 (标准) 为 1  $\mu$ s，但使用 FAST 选件后，曝光时间可低至 300 纳秒 (ns)。在这些实验中，TUBAF 团队使用了 60  $\mu$ s 的曝光时间，这足以对气溶胶颗粒的雾化进行成像。此外，该摄像机的像素尺寸大 (20 微米)，再加上量身定制的 35 毫米 100 万像素 CMOS 传感器，它可在快速拍摄时实现高感光度。

VEO 710 的其他显著特点包括：

- 每秒高达 7 千兆像素 (Gpx/s) 的数据传输速率。
- 传感器与许多镜头兼容，例如 Bauer 在实验中使用的 10 mm 焦距微距镜头，它的光圈被设置为 f/8。
- 万兆以太网下载选件，使 TUBAF 研究人员能够捕获并快速卸载数据，进行可视化分析。
- 结构紧凑，便于实验室使用。Bauer 和她的团队使用的是 L 型，该型号可与软件结合使用，为实验室环境提供基本的成像功能。



除了观察这些高速现象外, Bauer 和她的团队还测量了声带下部产生的粘液飞沫的大小。他们还分析了振荡频率、振幅和气流速度对飞沫大小的影响。Bauer 说:“我们发现, 增加频率和振幅会导致颗粒变小, 而提高气流速度则会导致较大颗粒的比例增加。”

## 推翻先前的假设

Phantom VEO 710 摄像机使 TUBAF 团队能够观察不同但可重复的气溶胶产生机制。“我们发现, 大而薄的气泡在声门间隙中破裂是导致气溶胶形成的主要机制。我们还可以根据气泡大小预测颗粒大小, 以及它们随流速和频率变化而产生的变化。”

这些发现与以前的假设不同, 以前的假设是, 在说话过程中, 断丝是气溶胶产生的主要机制。她说:“它在这里似乎只起了次要作用。”

这些发现发表在 2022 年 12 月的流体物理学期刊上。

要了解更多信息, 请访问:

[www.phantomhighspeed.com](http://www.phantomhighspeed.com)。

## 参考文献

L.Fritzsche, R. Schwarze, F. Junghans, K. Bauer; 揭示发音过程中气溶胶的产生机制。流体物理学 2022 年 12 月 1 日; 34 (12): 121904。 <https://doi.org/10.1063/5.0124944>



某些 Phantom 摄像机需要出口许可证。有关更多信息, 请访问 [www.phantomhighspeed.com/export](http://www.phantomhighspeed.com/export)。