

你的瞳孔为什么会摇摆

(北京大学 王树峰 编译自 Katherine Wright. *Physics*, April 27, 2018)

研究者的模型描述了眼睛瞬间移动和停止后的行为特征。这可以协助观测眼球运动，提升对其的理解，从而促进认知测试与眼球追踪的研究。

在我们阅读时，眼睛并不是平滑地扫视页面，而是在做一系列的跳动，从一个部分的文字跳到另外的部分。经历每一次眼跳后，瞳孔通常会有瞬间的摇摆。研究者为此种摇摆开发出一个模型，其中仅仅包含了眼球的物理特性。这个模型会帮助科学家区分神经控制的眼球运动和眼球材料物理特性控制的摇摆。

人的眼睛很少静止。当我们观察周围时，目光会从一个焦点迅速跳跃到另外一处，频率大约每秒三次。这些眼跳对感知来说是基本功能，因为视网膜上只有一小部分对颜色和细节敏感。它们也可以用来标识认知状态的变化，比如受到外加震荡或神经退化疾病的影响时眼睛的运动也会相应变化。眼球跳跃的程度与凝视时间(眼跳的间隔)明显因人而异，同时也依赖于凝视的内容和情形。由于这些不同之处，德国波茨坦大学的视觉专家 Ralf Engbert 说“目前没有广泛接受的标准来定义眼跳，因此，也没有广泛

接受的程序来探测眼跳。”

而且这个问题还由于眼跳后振动(PSOs)变得更复杂。这是指一次眼跳后瞳孔的微小摇摆，持续时间为几十毫秒。眼跳后振动来源于瞳孔(虹膜上的孔)相对于虹膜固定外缘的运动。例如当瞳孔短暂地移动到中心偏右时，右侧虹膜组织被轻轻地压缩，而左边的则被轻轻地拉伸。(当然，瞳孔是空的孔洞，它实际上没有挤压组织。这个运动来源于虹膜的惯性。)

由于眼跳后振动可以在凝视时间(约180—330 ms)中占据可观的部分，所以它会影响对眼跳的定义和检测。研究者曾经将其归于眼球力学特性导致的结果，而不是神经相关的运动，但他们一直没有给出模拟这一现象的量化模型。阿根廷巴里洛切原子中心的生物物理学家 Sebastián Bouzat 与同事们开发出了一个模型，能够再现并量化定义眼跳后振动，从而使其可与眼跳区分开来。

他们的理论基于一维模型，其中包括两个力来影响瞳孔对眼跳的响应，以及眼球内部流体的粘滞性。前者像眼球内的弹簧，使瞳孔可恢复居中的位置；后者则阻滞其运动。研究者利用数值模拟方法解析这个模型所表示的运动。他们通过突然移动眼球产生眼跳，根据眼球移动的尺度，观察到跳跃的

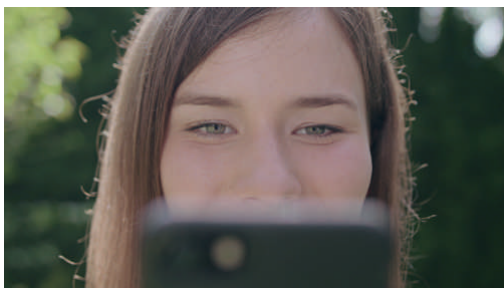
时间在10—100 ms。瞳孔延迟了几个毫秒后开始移动，然后跟上并超越了眼球的中心。当眼跳结束后，瞳孔在静止前，前后摇摆可以达到40 ms。

眼跳后振动的幅度在跳跃的尺度较小时随着尺度的增加而上升，随后达到峰值，然后随着更大的跳跃反而减小。如果将这个模型的结果用来描述真实的眼球，研究者发现最大的眼跳后振动大约有 1° ，它出现在眼跳变化为 5° — 8° 时。这大约相当于视焦点在键盘上移动四个键位。这个结果与眼球追踪实验的数据相吻合。

Bouzat 认为这个模型确认了眼跳后振动来源于眼睛的力学特性，“虹膜内部在眼球停止后还在短时间继续运动，因为眼睛的内部像果冻一样是胶状的。”

荷兰乌得勒支大学的 Ignace Hooge 研究的是眼球运动与认知的关联。他说这个模型细致地描述了眼睛在眼跳之中及之后的行为，这个模型可以在眼球追踪系统中用于正确区分神经控制的眼球运动与简单的眼部胶质的摇摆。

Engbert 认为这个模型在理解不同个体间眼跳行为的差异上是重要的一步。他说在不同认知行为中(比如阅读或搜索)，平均观察时间上的差异可以少至5 ms。所以即便是在眼跳过程中起始和结束的少量不确定，也会导致在精确测量这个过程时产生显著的差异。



新机制模型解释了为什么眼睛在完成称为眼跳的扫描运动之后会摇摆片刻