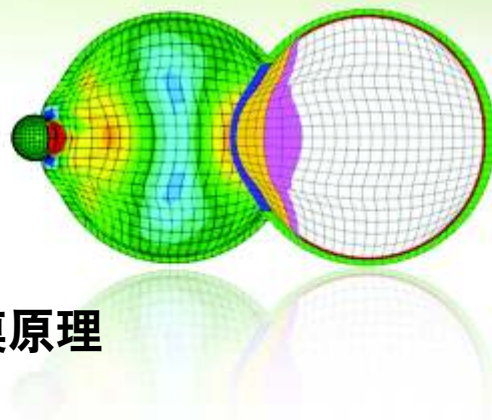


清楚地知道 眼睛受伤过程



钝物冲击导致视网膜脱落的数值分析及建模原理

Cassino大学, 意大利 | By Prof. Nicola Bonora, 医学设计和结构医学教授

当眼睛受到撞击的时候视网膜的脱落或者撕裂是常见的现象。这个研究的目的是为了了解当人的眼睛受到钝器冲击时的动态变形过程及影响。这个项目的有限元模型是从真实的人眼三维模型测量中得到的。应用了MSC公司的Dytran作为仿真分析工具。对于不同时刻的变形以及弹丸的剩余速度，进行了仿真结果与实际测试结果的比较。

简介

卡西诺大学的工程机械专业研究小组最近做了一个关于眼部病变的研究（如在作战）。采用一种基于物理实验和本构模型上的仿真分析，使用MSC的仿真产品，特别是MSC Dytran显式分析程序。

这项研究在罗马及意大利与眼科医院合作进行。超过60%的眼外伤是钝器造成的，即造成伤害的各种物体不导致眼球穿孔，临床表现这种伤害是完全不

同的，包括视网膜破裂，脉络膜破裂（视网膜和巩膜之间的组织），视网膜裂孔，视网膜脱离，黄斑裂孔和透析（见图1人类眼睛主要结构）。

虽然在临床现象学上对此类伤害进行了准确的描述，但是视网膜和脉络膜病变及钝器的影响相关的机理尚未被完全了解。通过理论来解释，钝器对眼球内部结构的影响，被广泛的称为“vitreous chord pulling-traction”。根据这一理论，在压缩眼球的影响方向，扩张巩膜在正交方向产生了一个临界应力，主要作用在眼窝里的内部结构为深受粘性作用的胶状液体玻璃体，这种机制可以解释为什么视网膜裂孔主要会发生在玻璃体基底部，即在附近的视网膜和脉络膜的圆周交界处附近的黄斑。

基于已有的病例，尽管他们已经进行了玻璃体切除，但还是有一个由于钝器冲击造成的清晰的黄斑裂孔。为了对这一现象更详细的了解，以便验证各种假设破坏机理，我们使用了MSC公司的Dytran进行仿真。钝器对人眼的冲击作用采用钢球进行数值模拟。该模型，通过比较仿真结果和实验测试数据，可以用于研究动态冲击过程中产生的应力波的强度，以评估视网膜故障的主要来源。

仿真模型

在MSC公司Dytran软件下眼球模型按照人眼的平均大小建立。Dytran与市面上其它的显式求解器不同之处是其具有先进的流固耦合分析能力。假设对称平面的子午线包含眼球的纵轴，半眼模型已经创建完成，包含所有可能会影响其动态行为的子结构和组织：角膜、

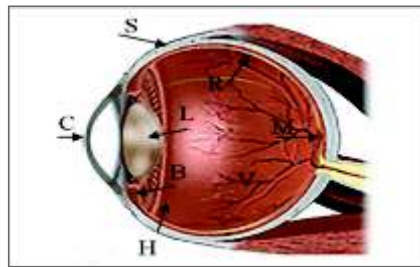


图1:人眼的主要结构:C)角膜,S)巩膜,L)晶状体,R)视网膜B)睫状体;M)斑点,V)玻璃体,H)玻璃体基地。

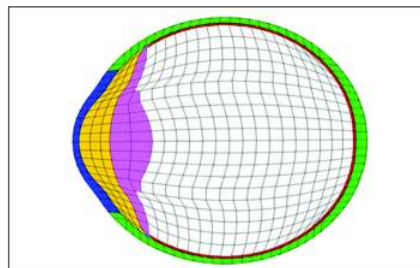


图2:眼睛的3d网格—每种颜色标识一个不同的子结构

“眼睛的计算模型
是基于MSC.Dytran
生成的”

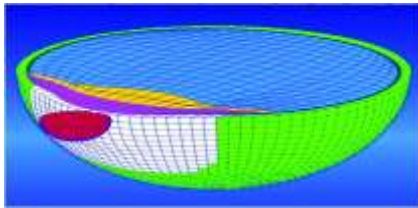


图3，在纵方向上模拟布局

巩膜、水和玻璃体，晶状体，睫状体和晶状体悬韧带。视网膜被建模为一个薄层，连接到巩膜设置其厚度为0.2毫米。如图2所示的三维网格，有6912个体单元，球形弹丸直径4.5毫米的一个刚体，仿真设置为子弹在击中角膜顶点时纵向速度为62.5米/秒（图3）

模型测试

鉴于所有生物材料的复杂性及可变性的物理力学性质，即流体性质的组织，以及它们是如何进行刺激特性测试，相关测试已经在1967年Deloria等人通过一个非穿透的人眼冲击试验得到，在目前情况下，弹丸的渗透引起的角膜顶点位移随时间变化的函数，将用来作为参考。

此外采用“Occam’s Razor”方法

作为本构模型来描述所有组织的力学行为。这一原则可以减少一些描述这一现象所要求精度的必要的参数。

组织的描述是基于线弹性材料模型（忽略所有的粘弹塑性的影响）和线性状态方程。玻璃体的描述是基于阻尼的粘弹性流体。晶状体和脉络膜被描述为通过线性状态方程。该模型的参数，进行了反向的校准过程，利用作为目标函数的实验测试曲线。图4和图5显示实验值与优化响应的数值模型。

结果

仔细的检查结果，通过仿真，由于钝器冲击造成的视网膜破裂大多数位于黄斑区和玻璃体区，但很少影响到赤道区。为了充分理解仿真的结果，在三个感兴趣的区域提取压力值。图6显示，压力波产生的冲击波，眼睛中的传播及拉伸波，主要影响眼底和黄斑区。在眼睛中波的传播速度远远高于子弹的速度，因此，观察到的拉伸压力（约为0.6MPa）的高峰冲击后0.05毫秒内眼球没有发生较大变形（图7）。随后不久约在0.1毫秒，巩膜开始有大的变形，

主要是由于弹丸的进一步前进导致黄斑去受到压迫。而玻璃体主要受到拉伸，在赤道地区的压力远远低于其他区域，同时证实了其视网膜破裂的风险较低。

结论与未来的发展

该项目的研究表明，视网膜的撕裂主要是反射压缩波产生的张力导致的，而不一定是眼睛的变形产生的。该研究提供了一个可靠的经过验证的仿真模型使研究小组对于钝物冲击影响有了详细的了解。这是一种难以通过物理实现重现的实验，如控制方式和检测方式。本研究可以用于军事工业上，例如设计先进的人员安全系统和直升机飞行员发生紧急着陆的情况下的应对措施。

By Prof. Nicola Bonora, University of Cassino, Italy, Professor of Mechanical Design and Construction Machinery; in collaboration with Luca Esposito, University of Cassino, and Tommaso Rossi, Ophthalmic Hospital of Rome-ASL RME

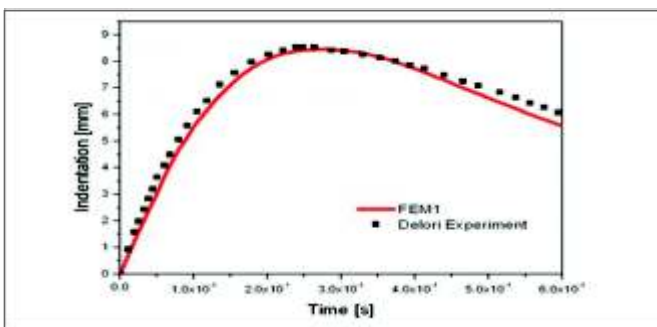


图4:比较实验测定位移和数值模拟位移

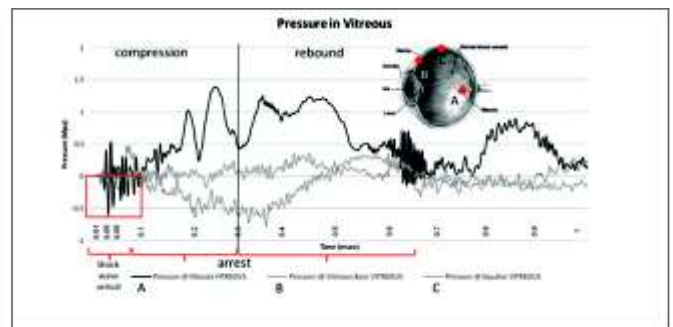


图6:三个测试点的压力变化黄斑区,玻璃面积和赤道区(负压值代表拉伸)

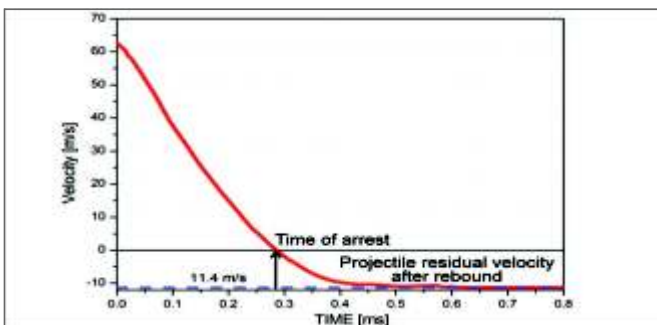


图5:速度弹丸:静止时间和残留的弹丸速度

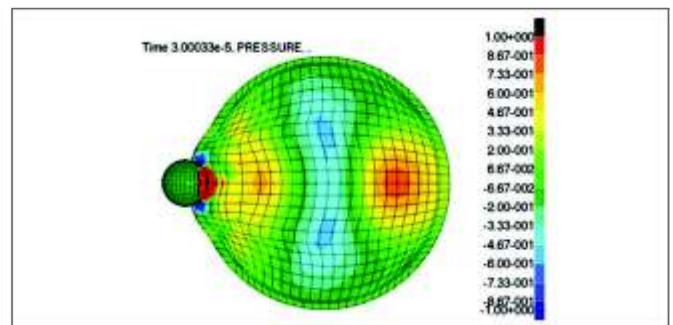


图7:撞击后0.03毫秒时眼球的压力波