

生物力学测试显示出
使用 Stratasys
J750 Digital
Anatomy 打印机
为 3D 打印合成心肌
带来巨大潜力



生物力学测试显示出 使用 Stratasys J750 Digital Anatomy 打印机 为 3D 打印合成心肌带来巨大潜力

简介

对于 3D 打印而成的患者特定模型 (Patient-Specific Model,PSM)，其与心脏有关的应用包括外科手术培训、复杂手术规划，以及心脏设备的制造和优化。结构性心脏介入治疗变得越来越复杂，因此，能够有效制作患者特定几何结构的模型和在几何结构内外使用设备的能力，对于推进外科手术干预而言变得更有价值。

直至今日，PolyJet™ 3D 打印技术和其他传统解剖学建模方法的重点始终是实现精确的外部解剖学几何结构和外观。3D 打印 PSM 的下一个前沿即为模拟人体组织的生物力学特性。

目标

为了重现包括血管壁、心脏壁和瓣叶等原生心脏组织的生理反应，Stratasys 与医疗设备制造商、

世界级研究机构、医院和医疗人员合作，研究了每个结构的机械特性。此类研究结果用于开发软件 and 材料以模拟这些特性。来自全球领先的医疗设备制造商 Medtronic 的科学家和工程师对 Digital Anatomy 打印的心肌材料和猪身上的心脏组织进行了独立第三方的比较。以下内容总结了研究结果，并提出了对未来材料开发工作的启示。

方法

猪心肌的机械性能被用来与 3D 打印的各种心肌材料混合物对比（表 1）。将猪的心肌作为基准进行比较的原因在于，其与人体组织相似，且易于获得，同时在心脏设备临床前测试方面已有过使用先例。所有示例材料都是由 Stratasys J750™ Digital Anatomy™ 3D 打印机打印而成。

表 1—Digital Anatomy 心肌材料特性

材料	生物力学特性	说明
心肌 1	高度收缩性	以 0.4 mm Agilus™* 材料包裹的最柔软填充物
心肌 2	中度坚硬	以 0.4 mm Agilus 材料包裹的第二柔软填充物
心肌 3	变硬	以 0.4 mm Agilus 材料包裹的第二坚硬填充物
心肌 4	非常坚硬	以 0.4 mm Agilus 材料包裹的最坚硬填充物
心肌 5	极度坚硬	以 0.6 mm Agilus 材料包裹的最柔软填充物

*Agilus 是一款柔性 PolyJet 3D 打印材料。

主要研究结果

符合程度

Digital Anatomy 材料的特性要么与猪心肌处在相同的符合范围内，要么更为坚硬。针对于解剖相关的厚度来说，打印的 Digital Anatomy 样本的硬度值与猪心脏的大部分腔室一致（图 1）。

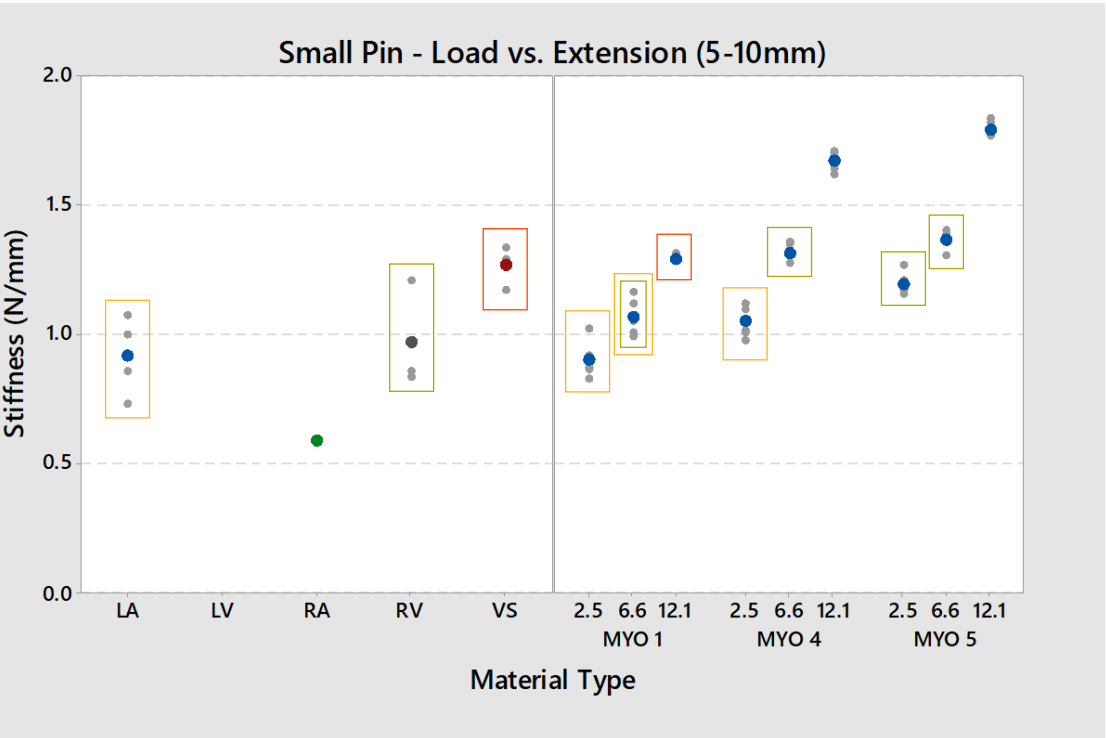


图 1—针对于解剖相关的厚度来说，打印的 Digital Anatomy 样本的硬度值与猪心脏的大部分腔室一致。

符合程度差异

猪心肌在各个心室和每个心室内的符合程度表现出相当大的差异性（图 2）。相比之下，Digital Anatomy 样本却有着高度一致性（图 3）。

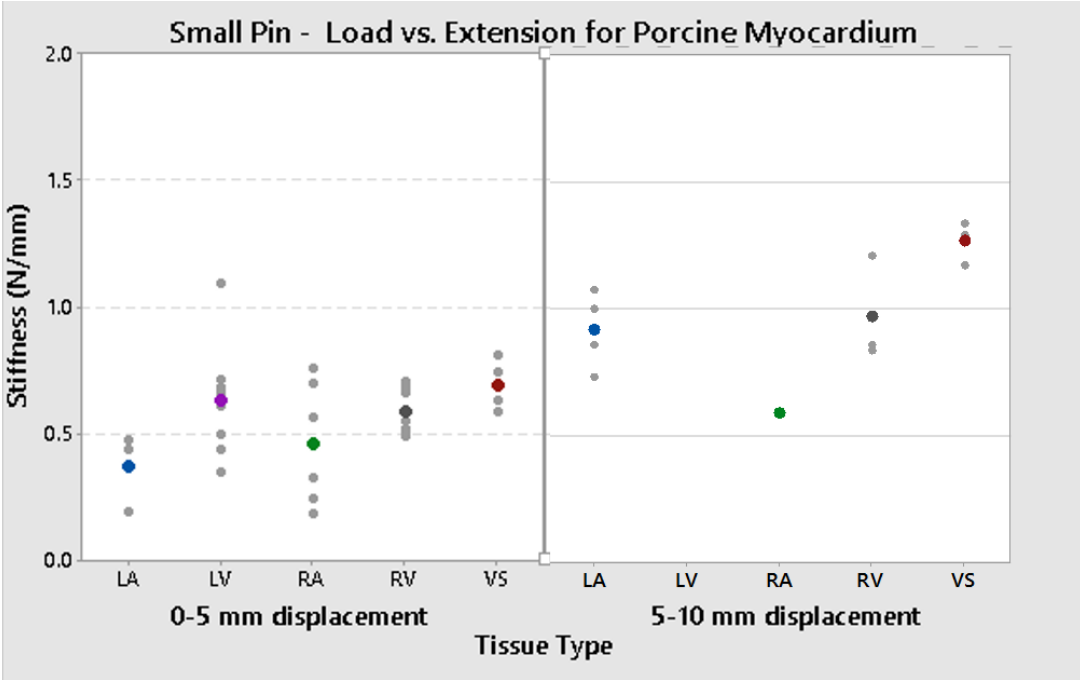


图 2—猪的组织在样本之间具有显著的差异性。

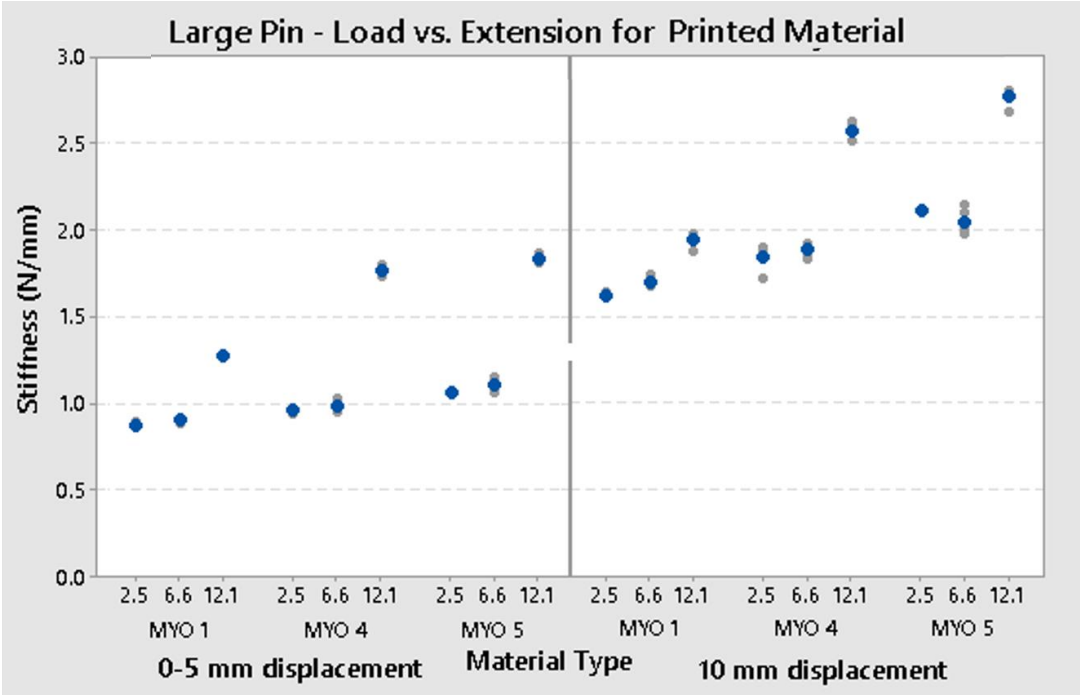


图 3—打印的 Digital Anatomy 材料显示出极小的差异性。

弹性

每个打印出来的样本都测量了弹性系数，以判定每种材料的弯曲和拉伸性能。使用 Agilus 打印的材料模量在 0.262 到 0.536 Mpa 之间，与数字心肌材料混合物相比，其柔性最低。此外，测试的每种材料类型的标准偏差都较小，证明打印样本每次都产生出一致性能的可信度更高（表 2）。

表 2—打印材料杨氏模量的模拟物

材料	模量 (N/m2)
Agilus	0.536 ± 0.009
心肌 A	0.262 ± 0.004
心肌 1	0.294 ± 0.003
心肌 2	0.310 ± 0.003
心肌 3	0.327 ± 0.005
心肌 4	0.342 ± 0.007
心肌 B	0.334 ± 0.010

穿刺测试

Digital Anatomy 和猪心肌都有类似的失效机制。当第一层硬层被刺穿时，两者都回复至初始的峰值力；其中生物组织的第一层硬层为心内膜，Digital Anatomy 样的第一层为 Agilus 层。

缝合测试

与猪的组织相比，缝合更容易在打印材料上进行。然而，相对应地，需要创建用于防止打印样本初步撕裂的特殊缝合设置。如果使用标准的缝合技术，将导致打印材料在进行测试之前就已失效。无论如何，心肌组织和打印心肌在失效之前都出现分层。

结论

Digital Anatomy 3D 打印材料在制造具有与性别、年龄、种族和其他生理和病理特征相关的精确机械性能的患者特定心肌方面具有巨大潜力。这项研究的结果表明，利用 Stratasys J750 Digital Anatomy 打印机、软件 and 材料可以制造具有几何和机械精度的模拟患者特定组织的心脏模型。具体来说，Digital Anatomy 材料显示了其复制猪组织的能力，并能将差异保持到最小。此为了一项重要优势，鉴于从心脏同一区域测试的猪样本之符合程度表现出很大的差异。

在开发新设备并了解其功能时，样本之间的重复性和测试次数对于最小化混杂变量而言非常重要。Digital Anatomy 打印的心肌在同一样本内多次测试的硬度值以及样本间的硬度值具有较高的可重复性。这对于寻求试验台模型的医疗设备制造商来说是一个显著的优势，其能够以最小的差异性得出可靠和一致的结果。因此，此方法适用于重视可重复性和可靠性的产品开发过程。

表 3—打印心肌与猪组织的比较总结

生物力学测试显示出不同程度的成功
对真实组织有相似的符合程度
对真实组织有相似的失效模式
结果的高度重复性
达到不同硬度值的能力
比目前其他可用的 3D 打印材料更为接近真实组织
可以改进的方面
增加韧性，以适应真实的缝合过程
减少粘性，便于准确切割和缝合

未来的工作将集中在改善 Digital Anatomy 材料混合物的缝合和切割性能，使其更接近天然组织。Stratasys 将继续与领先的医疗设备公司、医院和研究机构合作，对数字化解剖材料与原生组织和骨骼进行比较。从上述组织接收的数据将用于完善新的解剖学应用，使其更接近健康和患病状态下人体解剖的生物力学特性。目标是最终消除或至少降低对尸体和动物模型的需求。



需要完整报告，请联系我们。

美国总部
7665 Commerce Way,
Eden Prairie, MN 55344, USA
+1 952 937 3000

以色列总部
1 Holtzman St., Science Park,
PO Box 2496
Rehovot 76124, Israel
+972 74 745 4000

中国上海
上海市静安区
灵石路 718 号 A3 幢一楼
邮编 :200072
电话 :+ 86 21 3319 6093



Stratasys 官方微信

www.stratasys-china.com.cn
ISO 9001:2015 认证

© 2020 Stratasys.保留所有权利。Stratasys 和 Stratasys 图章徽标是 Stratasys Inc. 的注册商标。PolyJet、J750 Digital Anatomy 和 Agilus 是 Stratasys, Inc. 的商标。所有其他商标由各自所有者所有，有关此类非 Stratasys 公司产品的选择、性能或使用的问题，Stratasys 公司不承担任何责任。产品规格如有变更，恕不另行通知。
WP_PJ_Medtronic DAP Myocardium_A4_0220a

