

等待心脏移植手术的患者在手术之前通常需要等待很长时间。该手术通常使用可植入泵完成。为开发这些人工心脏的控制算法，昆士兰大学的研究人员在 PC 上模拟人体血管系统并将其与人工心脏相连。

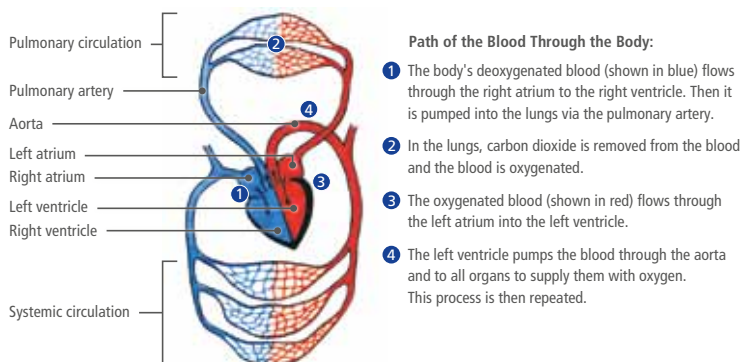


前的搏动式（即有节奏的脉动）人工心脏存在一些严重的缺陷。这些心脏磨损很快（最多一年），具有较高的能量消耗，而且相对较大，仅能植入大约 75% 的男性体内，适合的女性人数更少，而且不适合儿童使用。能够提供持续血液流动的旋转泵有着搏动泵难以企及的众多优势，其

设计尺寸更小，更耐用，更节能。因此，研究人员采用旋转血泵技术开发新型的人工心脏。为了让人工心脏能够自动调整其供血动力以适应变化的血流需求（例如运动或睡眠时的需求），开发人员需要一个功能强大的测试环境，以便能够模拟各种情况下的人体血管系统。

>>

图 1：健康心血管系统的血液循环简化表示。供应到不同身体区域的血液可以通过不同的脉冲、供血动力和血管收缩适应不断变化的局部需求。





虚拟 血管

灵活的人工心脏测试环境

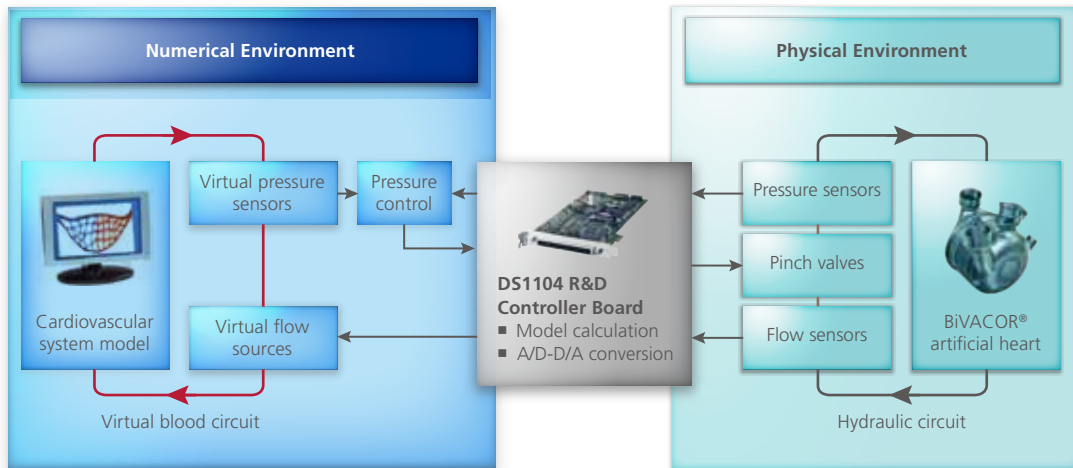


图 2：试验台的安装示意图。在 PC 端建模的血管系统通过各种传感器和执行器与人工心脏相连。因此可以轻松更改血管系统的属性。

PC 上的虚拟血管

直到现在，还需要在实验室中装备管道、管子、阀门和压力传感器等，以便逼真模拟人体血管系统及其特性。然而，众多的液压和机械组件使得这些装备非常复杂，且不够灵活。因此，昆士兰大学的研究人员选择了一条不同的道路（图 2）。他们在

台标准 PC 上将整个人体血管系统建模为一个数值模型，并通过 DS1104 R&D 控制器板扩展这台 PC，以便可以控制所有实验。人工心脏连接至一个简单的管道系统，形成液压循环。他们将一种甘油/水混合物加入到管道系统中模拟血液，因为其流动特性与人体血液相同。

灵活的人工心脏测试环境

管道内的压力和流量传感器和若干夹管阀作为 PC 端的血管模型和机械人工心脏之间的接口。夹管阀控制模拟的血液流量，以保证与人体血管系统内的真实血液流量相同。PC 端的血管系统（血管的合规性）属性很容易更改，所以能够方便的模拟不同场景，例如静止或运动的人。因此可以全面测试人工心脏的控制算法。

图 3：dSPACE 实验软件 ControlDesk Next Generation 提供了中央用户界面，可以记录数据、更改参数和图形化展示不同的系统状态。



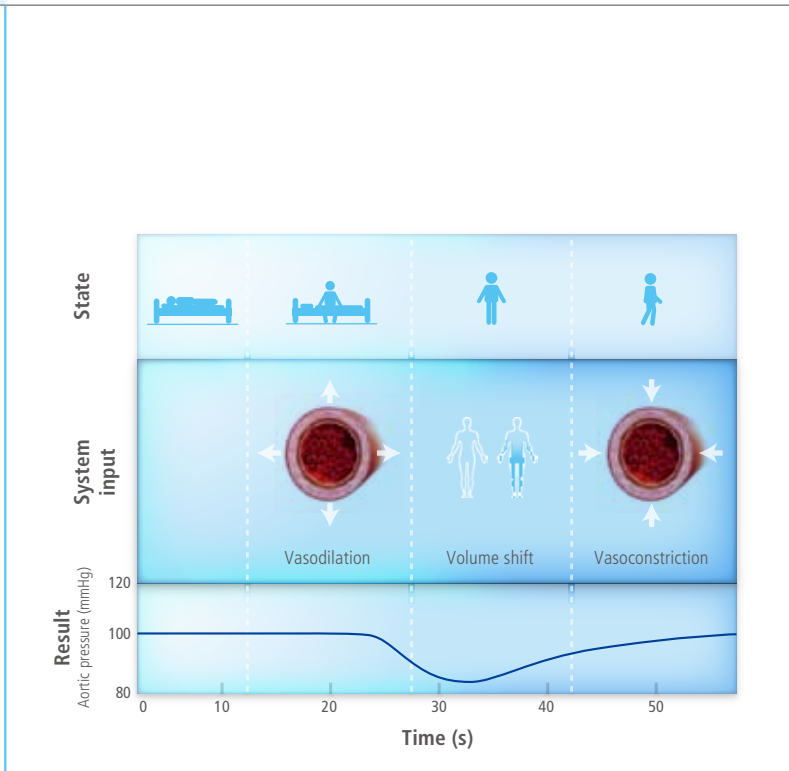


图 4：在仿真一个人站起来的过程中，人工心血管系统的主动脉压力曲线与人类机体的反应一致。

利用 dSPACE 设备测试人工心脏

将（压力和流量）传感器和执行器（夹管阀）连接至安装在 PC 端的 dSPACE DS1104 板。dSPACE 实验软件 ControlDesk Next Generation 用于中央用户界面的开发（图 3）。该软件可以记录数据，更改参数（如血管阻值和符合度）和图形化展示不同的系统状态。人工心脏的心血管模型和控制算法在 MATLAB®/Simulink®中开发，并按照 1 ms 的步长执行。

仿真日常生活场景

日常生活场景展示了该装备的强大功能：如果一个人站起来，全身血管阻止由于肌肉运动而下降。当这个人从

躺着的状态到站立姿势时，血液从胸腔流向下肢（血容量向下移动）。其反应是血管开始收缩，阻力恢复并保持在一个高于之前的数值。最后，腿部的肌肉泵产生效果以重新分配血液（血容量向上移动）。这种机体工作方式可以避免人站起来时产生眩晕和昏厥。为了再现这一流程，开发人员将这个序列编程到了仿真模型中（图 4）。通过模型中的相应变化引起液体移动，利用不同的阻值模拟血管的舒张和收缩。仿真血压得出的时间行为与人类机体的过程相匹配。■

Frank Nestler,
昆士兰大学

结束语

dSPACE 工具创建的人工心脏测试环境中，人工心脏是唯一保留的机械组件。因为整个人体血管系统在 PC 上被模拟，可以方便快捷地更改其特性。这一开发环境为不同需求的人工心脏创建重复的（自动化）测试提供了可能性。这一流程，使控制算法的开发变量极其容易。



Frank Nestler

Frank Nestler 是澳大利亚布里斯班昆士兰大学的博士生，也是德克萨斯州休斯敦得克萨斯心脏研究所的研究工程师。



“通过使用 dSPACE 系统，我们可为 BiVACOR® 人工心脏构建一个灵活、高效的开发环境。”

昆士兰大学的 Frank Nestler