

## 玩具心脏能媲美真实心脏吗？

Gretel Monreal<sup>1\*</sup>, Steven C. Koenig<sup>1,2</sup>, Jiapeng Huang<sup>3</sup> 和 Mark S. Slaughter<sup>1</sup>

<sup>1</sup>路易斯维尔大学, 心血管与胸外科系 (美国, 肯塔基州, 路易斯维尔)

<sup>2</sup>路易斯维尔大学, 生物工程系 (美国, 肯塔基州, 路易斯维尔)

<sup>3</sup>路易斯维尔大学, 麻醉学与围手术期医学系 (美国, 肯塔基州, 路易斯维尔)

### 少年审稿人



ANABIAH

年龄: 13



KATYAYANI

年龄: 9



MOHAMMED

年龄: 11

玩具心脏有可能像真实心脏一样高效工作吗？为了找到答案, 我们购买了六款玩具心脏, 从诡异跳动的万圣节玩具心脏到五颜六色的毛绒玩具心脏。我们推测, 这些玩具肯定比不上真人心脏! 随后我们进入实验室, 运用检测真实心脏和机械血泵的工具与方法对这些玩具进行了测试, 考察了它们的流量、压力、容量以及泵水效率。我们还邀请了三只心脏外科医生, 根据外观真实度和设计特点对每款玩具心脏进行了评估。不出所料, 这些玩具心脏既不逼真, 也无法像真实心脏那样高效泵送。本文将人体健康与工程学结合, 探讨了这个问题又略带俏皮的科学问题, 希望读者同时收获知识和乐趣!

### 心脏极其重要!

我们是一群科学家、工程师和医生, 研究心脏是我们的本职工作。心脏是极其重要的器官! 人类仅有一颗心脏, 一旦患病便难以自愈, 也无法再生。这个位于胸腔内、拳头大小的肌肉器官通过向全身泵送血液维持人体生命活动。心脏内特殊的窦房结细胞发出电脉冲, 指挥心肌细胞同步



### 瓣膜 (Valve)

心脏的组成部分, 确保心脏搏动时血液仅沿单一方向循环。人类心脏拥有四个瓣膜。

### 动脉 (Artery)

一种将含氧血液从心脏输送至全身的血管。

图 1

(A) 猪心脏外观正面图。猪心脏的结构特征与人类心脏相同。(B) 剖开的心脏内部结构展示。(C) 本研究中测试的六款玩具心脏及两款真实机械血泵: (1) 名为"爪爪心"的玩具心脏; (2) SynCardia 全人工心脏; (3) 名为"搏动心"的玩具心脏; (4) 名为"科学怪人心"的玩具心脏; (5) 名为"发光心"的玩具心脏; (6) 名为"软糖心"的玩具心脏; (7) AbioCor 全人工心脏; (8) 名为"萌趣心"的玩具心脏 (供图 [1])。

收缩 —— 当所有心肌细胞同时收缩时, 整个心脏就会挤压并向身体其他部位泵送血液; 当心肌细胞放松时, 心脏随之舒张, 为下一次收缩储备血液。

心脏泵出的血液为全身输送氧气与养分 (图 1)。血液在心脏内按特定路径循环: 左心房的血液经二尖瓣 (所有心脏瓣膜确保血液单向流动) 进入左心室, 随后通过主动脉瓣泵入主动脉 —— 这条大动脉将血液分流至遍布全身器官 (包括心脏自身) 的细小动脉。器官消耗血液中的氧气与

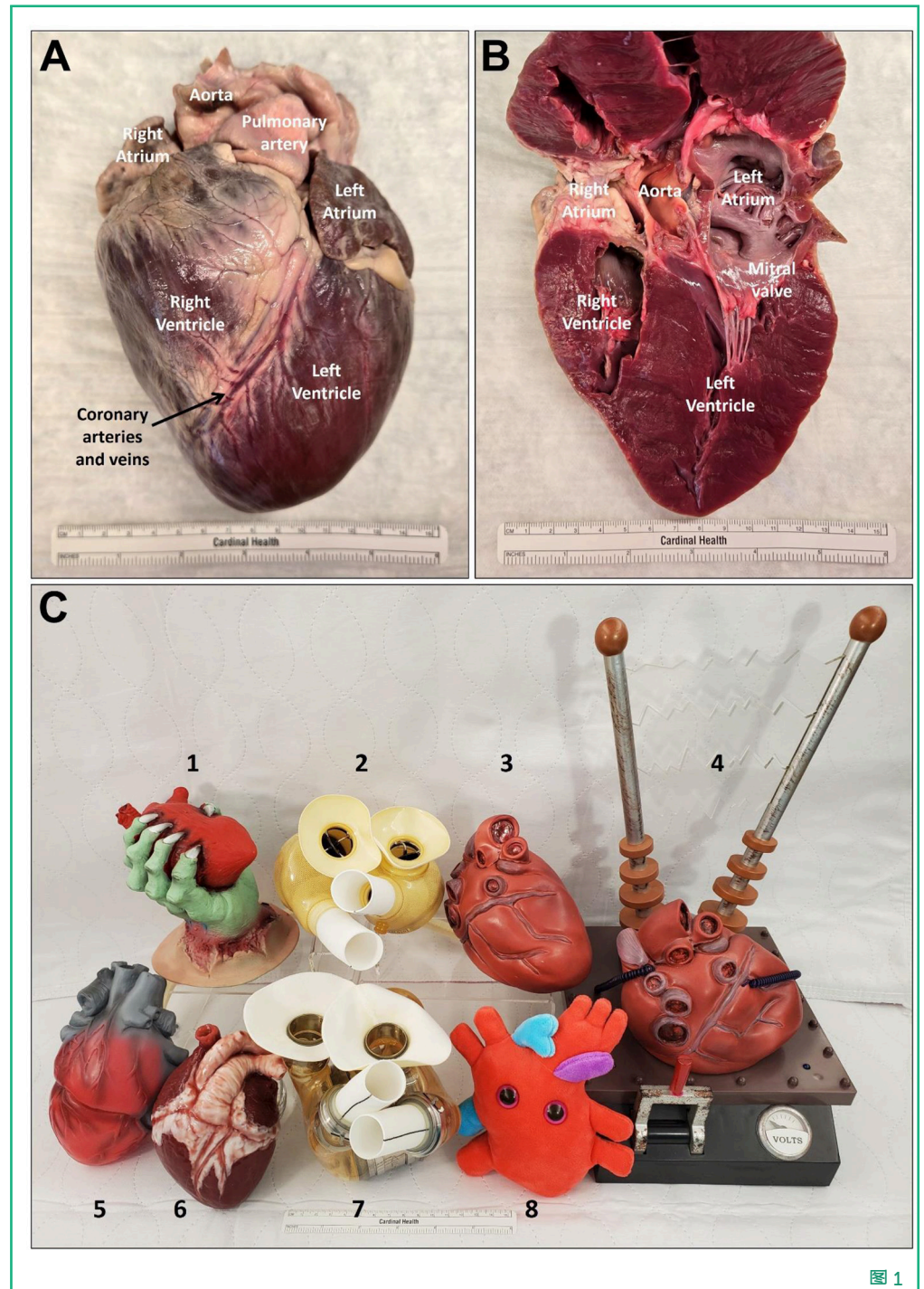


图 1

### 静脉 (Vein)

一种将缺氧血液从全身输送回心脏的血管。

### 心力衰竭 (Heart Failure)

一种心脏衰弱、无法向全身泵送足够血液的疾病。

### 心脏移植 (Heart Transplant)

一种由医生切除患者病变心脏并植入健康供体心脏的外科手术。

### 机械血泵 (Mechanical Blood Pump)

植入体内（胸腔或大血管中）的小型装置，可在心脏衰弱时辅助泵血。

### 心脏外科医生 (Heart Surgeon)

专门接受心脏手术训练的专业医师。

### 循环系统 (Circulatory System)

由血管和心脏构成的网络，辅助血液全身循环。

养分后，**静脉**将缺氧血液及代谢废物运回心脏。所有静脉血液汇入人体最大的静脉——腔静脉，经右心房、三尖瓣进入右心室，再通过肺动脉瓣泵入肺动脉。肺动脉将血液输送至肺部获取新鲜氧气，充氧血液随后经肺静脉返回左心房。每一次心跳都重复着这个精妙的循环。

## 心脏也会生病

有时，某个人的心脏会变得衰弱无力，无法向全身输送足够血液，这种疾病称为**心力衰竭** [2]。医生首先会尝试用药物帮助心脏改善功能，但对部分患者而言，药物治疗效果有限，病情仍会持续恶化。此时唯一的治疗方法是为其找到一颗新的健康心脏，即进行**心脏移植**手术。移植心脏来自器官捐献者——他们本人或家人同意在其逝世后将心脏捐献给别人。

美国现有超过 600 万名心力衰竭患者，但每年仅实施约 4000 例心脏移植手术。为何如此之少？因为捐献心脏数量远远不够满足所有需求。如果心力衰竭患者无法获得新心脏，将面临死亡威胁。如何帮助这些需要却无法获得心脏移植的患者呢？心脏外科医生可在患者胸腔内植入微型机械装置来辅助衰弱的心脏泵血 [3]，这类装置名为**机械血泵**。令人惊叹的是，自 20 世纪 60 年代投用以来，这些血泵已帮助超过 3 万名患者重获生机！

## 玩具心脏测试

市面上和网络上销售着各式各样的玩具心脏。我们十分好奇这些玩具的逼真程度与实际功能。由于此前从未有人研究过玩具心脏，而我们团队恰好擅长心脏与机械血泵研究，便决定开展这项趣味实验！

我们购买了六款玩具心脏，从诡异的万圣节玩具跳动心脏到可爱的彩色毛绒玩具心脏（图 1C），并为每款玩具起了诙谐的绰号：爪爪心、搏动心、科学怪人心、发光心、软糖心和萌趣心。我们邀请了三**位心脏外科医生**根据外观真实度和设计特点进行评价。

测试采用了与研究真实心脏及机械血泵完全相同的实验室设备 [4, 5]。先用专业相机拍摄玩具心脏图像，再用塑料管模拟人体**循环系统**（以水替代真实血液）。将每款玩具心脏接入系统后，通过传感器观测其泵水性能：使用缠绕管道的流量探头测量流速（该探头通过晶体传感器测算声波在水中的传播速度）；将充水细管（导管）置入玩具心脏内部测量压力（压力波经导管传至柔性机械传感器，压力越大传感器弯曲度越高）；同样通过内置导管的电传感器测量容积（传感器通过监测心脏不同部位的直径变化计算总容积）。这些流量、压力与容积传感器均与实验室及医院临床使用的设备相同。



我们的发现

不出所料, 玩具心脏的性能远不及真实心脏。图 2 展示了实验过程影像, 图 3 则对比了测试数据与健康真实心脏的数据。

图 2

(A) 作者 Jiapeng 正在拍摄"爪爪心"图像。(B) 作者 Gretel 与 Steven 正开心地测试"爪爪心"的泵水性能。(C) 正在测试中的"搏动心"。(D) "萌趣心"的 X 光影像。(E) 准备测试的"萌趣心"。(F) "萌趣心"在测试中严重漏水 (供图: (D-F) 来自 Monreal 等人 [1])。本图仅包含作者本人影像。

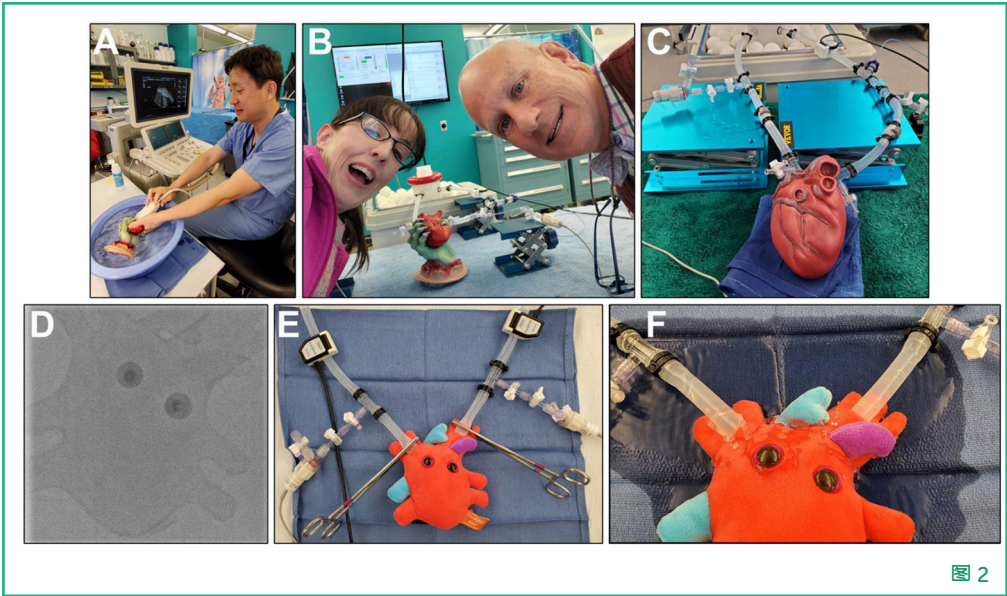


图 2

图 3

本实验结果与正常健康心脏的数据对比。"x"标记表示未采集到该项数据。

	Claw	Beating	Frankenstein	Light Up	Gummy	Cute	Real heart
Weight (grams)	250	262	790	96	198	40	300
Heart rate (beats per minute)	192	96	96	0	0	0	60-100
Pressure (mmHg)	1.5	2.5	x	0	0	0.5	80-120
Volume pumped each beat (milliliters)	1.3	16	x	0	0	leaked	70
Flow generated (liters per minute)	-0.46	0.07	x	0	0	-3.0	5
Interesting features	Beats, lights up, and makes sounds	Beats & makes sounds	Beats, lights up, & makes scary sounds	Has a light inside	Feels sticky & squishy	Soft, fuzzy, and has eyes	Keeps us alive
What did the heart surgeons think?	Zombie hand is scary!	Weird anatomy & least realistic!	Too big!	The light is useful!	Most realistic!	Very cute!	The heart is an amazing organ!

图 3

我们测量了每款玩具心脏的重量: 其中"搏动心"重 262 克, 仅略轻于约 300 克的人类心脏 (相当于两个橙子的重量)。测量心率发现: 人类心脏每分钟跳动 60-100 次, 两款玩具心脏 (搏动心与科学怪人心) 均达到每分钟 96 次, 与人类心率相近; 而"爪爪心"心率高达每分钟 192 次, 远超人类心率, 更接近兔或鸡的心跳频率; 其余三款玩具心脏则完全不跳动。



我们通过流量、压力与容积传感器评估了各玩具心脏的泵送性能: 健康人类心脏每搏输出量约为 70 毫升血液, 而性能最佳的玩具心脏 (搏动心) 每搏仅泵出 16 毫升水 (图 2C), 更接近小型犬的心脏水平; "爪爪心" 表现更弱, 每搏输出仅 1.3 毫升水 (图 2B); "发光心"、"软糖心" 和 "萌趣心" 完全不具泵送功能, 而且 "萌趣心" 在实验中严重漏水 (图 2F)。

三位心脏外科医生从逼真度与设计特点维度对玩具心脏进行了评价: "爪爪心" 的僵尸手造型过于恐怖; "搏动心" 因缺少重要血管结构且形态怪异, 逼真度较低; "科学怪人心" 体型过大; "发光心" 的内置光源被赞为夜间实用设计; "软糖心" 因黏软质地被评为最逼真且最受喜爱的玩具心脏; 而 "萌趣心" 正如其名, 被一致认为非常可爱!

## 我们的收获

通过实验我们发现, 这些玩具心脏的逼真度较低, 泵送功能也远未达标——它们显然无法媲美真实心脏! 开展此类实验再次提醒我们: 心脏是至关重要的器官, 必须尽力保持其健康状态。总体而言, 这项实验充满趣味性, 让我们有机会运用专业知识对一个看似荒诞的课题进行严谨的科学论证!

## 致谢

作者谨此感谢 Siddharth V. Pahwa (医学博士)、Michele Gallo (医学博士) 以及 Erin M. Schumer (医学博士、公共卫生硕士) (美国肯塔基州路易斯维尔市路易斯维尔大学心血管与胸外科系) 参与本实验, 感谢 Clara Banas 对本文的审阅。本研究由作者 Gretel Monreal 及美国肯塔基州路易斯维尔大学心血管与胸外科系资助。GM、SK、JH 和 MS 是一项美国国立卫生研究院 (NIH) 资助项目 (编号 R44HL144214) 的研究员, 该项目与 Inspired Therapeutics 公司合作, 但与本研究无关。GM 是一项由 Abiomed 公司资助项目的研究员, 该项目与本研究无关。GM 和 SK 曾是肯塔基科学院 Athey 科学教育与推广基金项目的研究员, 该项目与本研究无关。GM、SK、JH 和 MS 曾参与现已结题的 NIH 资助项目 R43HL149451 和 R43HL152767 (Bionet Sonar), 这些项目与本研究无关。GM、SK 和 MS 曾参与现已结题的 NIH 资助项目 R43HL142385 (MAST)、R43HL152894 (MAST)、R43HL142337 (Cor Habere)、R43HL152774 (RT Cardiac Systems)、R43HL144214 (Inspired Therapeutics), 这些项目与本研究无关。GM、SK、JH 和 MS 曾参与现已结题的与 CoRISMA MCS Systems Inc 合作的子项目, 该项目与本研究无关。GM 和 SK 曾参与现已结题的美国国家科学基金会 EPSCoR 资助项目, 该项目与本研究无关。SK 是一项 NIH 资助项目 (R01HL150346) 的研究员, 该项目与本研究无关。SK 曾参与现已结题的 NIH 资助项目 (R43NS115226, Bionet Sonar), 该项

目与本研究无关。MS 是 Magenta Medical 公司的顾问, 并担任美敦力公司咨询委员会成员。MS 曾任《ASAIO 期刊》主编。GM 的部分工作得到了 Robert M. Prizant 向肯塔基遗产基金会捐赠的支持。JH 获得了美国国家环境健康科学研究所 (P30ES030283)、美国国家促进转化科学中心 (1U18TR003787-01)、美国国家心肺血液研究所 (R01HL158779-01)、美国心脏协会 (23CSA1052735)、美国国家过敏和传染病研究所 (R01AI172873-01) 以及美国国家普通医学科学研究所 (P20GM155899-01) 的资助, 与这些机构与本研究无关。JH 是 GE 医疗、美敦力和迈瑞医疗的顾问, 这些机构与本研究无关。JH 曾获得吉利德科学、Mespere LifeSciences、GE 医疗和 Potreo Medical 的研究资助, 这些机构与本研究无关。

## AI 人工智能工具使用声明

本文中所有图表附带的替代文本 (alt text) 均由 Frontiers 出版社在人工智能支持下生成。我们已采取合理措施确保其准确性, 包括在可行情况下经由作者审核。如发现任何问题, 请随时联系我们。

## 原文

Monreal, G., Koenig, S. C., Huang, J. 和 Slaughter, M. S. 2024. 全人工心脏的解剖结构与血流动力学特性研究. *ASAIO J.* 70:338–47. doi: 10.1097/MAT.0000000000002209

## 参考文献

1. Monreal, G., Koenig, S. C., Huang, J., and Slaughter, M. S. 2024. Anatomical and hemodynamic characterization of totally artificial hearts. *ASAIO J.* 70:338–47. doi: 10.1097/MAT.0000000000002209
2. Heidenreich, P. A., Bozkurt, B., Aguilar, D., Allen, L. A., Byun, J. J., Colvin, M. M., et al. 2022. AHA/ACC/HFSA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation* 145:e895–1032. doi: 10.1161/CIR.0000000000001063
3. Jorde, U. P., Saeed, O., Koehl, D., Morris, A. A., Wood, K. L., Meyer, D. M., et al. 2024. The society of thoracic surgeons intermacs 2023 annual report: focus on magnetically levitated devices. *Ann. Thorac. Surg.* 117:33–44. doi: 10.1016/j.athoracsurg.2023.11.004
4. Monreal, G., Koenig, S. C., Kelley, J. F., Illg, J. J., Tamez, D., Kelley, M. S., et al. 2024. Early-stage Development of the CoRISMA Mechanical Circulatory Support (CMCS) System for heart failure therapy. *Cardiovasc. Eng. Technol.* 15:667–78. doi: 10.1007/s13239-024-00743-0
5. Monreal, G., Koenig, S. C., Slaughter, M. S., Morello, G. F., Prina, S. R., Tompkins, L. H., et al. 2022. Feasibility testing of the Inspired Therapeutics NeoMate mechanical



circulatory support system for neonates and infants. *PLoS ONE* 17:e0266822. doi: 10.1371/journal.pone.0266822

线上发布: 2026 年 2 月 13 日

编辑: Tansy C. Hammarton

科学导师: Asma Bashir 和 Soumya Vemuri

引用: Monreal G, Koenig SC, Huang J 和 Slaughter MS (2026) 玩具心脏能媲美真实心脏吗? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2025.1524957-zh

英文原文: Monreal G, Koenig SC, Huang J and Slaughter MS (2025) Do Toy Hearts Work as Well as a Real Heart? *Front. Young Minds* 13:1524957. doi: 10.3389/frym.2025.1524957

利益冲突声明: 作者声明本研究不涉及任何潜在商业或财务关系。

版权 © 2025 © 2026 Monreal, Koenig, Huang 和 Slaughter. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例, 在注明原作者和版权所有, 及在标明本刊为原始出处的前提下, 允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款, 则不得使用、传播或复制文章内容。

## 少年审稿人

ANABIAH, 年龄: 13

我的爱好是阅读和烹饪, 在学校最喜欢的科目是美术与历史。



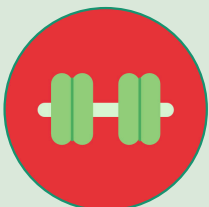
KATYAYANI, 年龄: 9

我最喜欢的科目是科学, 热爱阅读和了解各种科学主题, 还爱写短篇小说, 觉得很有趣, 希望以后能结集出版。



MOHAMMED, 年龄: 11

我对科学充满热情, 尤其喜欢探索万物运行的奥秘。同时, 我也热爱足球、锻炼以及各类游戏。



## 作者

### GRETEL MONREAL

我是路易斯维尔大学心血管与胸外科系的一名副教授。作为一名科学家,我毕生致力于心脏与机械血泵研究。能以"科研"为职业真是太棒了!我的家人对科学、医学、自然、艺术和音乐充满热忱,所以我自幼便耳濡目染。闲暇时,我喜爱徒步探险、探索新地域、寻找化石、弹钢琴,以及带着我的两只猫咪 Fudgie 和 Pansy 外出散步。  
\*[gretel.monreal@louisville.edu](mailto:gretel.monreal@louisville.edu), <sup>†</sup>[orcid.org/ 0000-0002-6576-738X](https://orcid.org/0000-0002-6576-738X)

### STEVEN C. KOENIG

我是路易斯维尔大学生物工程与心胸外科的一名教授,致力于研发机械血泵及医疗设备以帮助心脏病患者。作为工程师,我运用传感器和仪器评估并改进医疗器械的功能与性能,通过实验研究这些设备如何改善患者生活质量,让他们重享生活乐趣。工作之余,我热爱探险、滨海徒步和垂钓、寻觅珍宝(贝壳、海玻璃与化石)、分享想法、帮助他人,并坚持每日学习新知识。

### JIAPENG HUANG

我是路易斯维尔大学麻醉学与围手术期医学系的一名教授,职责是为心脏手术患者实施麻醉。我照料过许多患者,时常在未完全理解某些医疗措施的具体作用机制和疗效的情况下尽力救治。通过实验室研究,我致力于探索更好的心脏病辅助治疗方案,运用超声技术拍摄心脏特殊影像,并通过实验验证研究假设。

### MARK S. SLAUGHTER

我是路易斯维尔大学心血管与胸外科系的一名教授兼系主任。作为心脏外科医生,我接受专业培训,为心脏功能不佳的患者实施手术,同时致力于研发测试各类辅助治疗手段,包括研究不同药物、医疗器械、手术工具及操作流程。业余时间,我热衷登山和打网球。

中文翻译由下列单位提供  
Chinese version provided by

