

圣托里奥和他的“称重椅”

□昆明仪器仪表学会 方原柏

文献标识码：B 文章编号：1003-1870（2025）03-0051-06

【摘要】400年前，意大利医生圣托里奥发明了实验设备“称重椅”称量人体体重并研究人体体重的变化，提出了新陈代谢过程的一些认识。本文首先介绍了圣托里奥生平、“称重椅”的结构和在“称重椅”上完成的研究工作，最后介绍了德国科学史专家重建“称重椅”、探索其功能和测量方法的研究工作进展。

【关键词】圣托里奥；称重椅；医学；重建

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2025）03-0051-06

Santorio and His "Weighing Chair"

【Abstract】 Four hundred years ago, the Italian doctor Santorio invented the experimental equipment "weighing chair" to weigh the human body and study the changes in human body weight, and proposed some understanding of the metabolic process. In this paper, the life of Santorio, the structure of the weighing chair and the research done on the weighing chair are introduced, followed by the research progress made by the German historian of science in reconstructing the weighing chair and exploring its functions and measurement methods.

【Keywords】 Sanctorius; Weighing Chair; Medicine; Reconstruction

引言

在世界医学史的资料中，常常提到一位400年前的意大利医生圣托里奥·圣托里奥（Santorio Santorio, 1561-1636），他是第一个在医学实践中发明并使用医学仪器的人，曾经开发了用于临床医学的温度计和脉搏仪，在对新陈代谢的研究中引入了定量实验设备“称重椅”。

由于“称重椅”是一个采用杆秤作为称重器具的平台秤，而在这之前，杆秤仅用作商品贸易计量，用于医学研究则是由圣托里奥开创的。我在研究衡器科普工作中查阅了一些世界衡器史资料，其中介绍较多的是意大利医生圣托里奥如何将他的“称重

椅”应用到医学研究的故事。本文除了讲述圣托里奥和他的“称重椅”的故事外，也顺便介绍了在“称重椅”发明四个世纪后的今人如何重新重建“称重椅”、探索其功能和测量方法的研究工作进展。

1 圣托里奥

在文艺复兴时期的发源地意大利，有一位来自斯洛文尼亚的学生圣托里奥在这里接受教育，1575年，14岁的圣托里奥进入威尼斯帕多瓦医学院学习。1582年，21岁的圣托里奥获得了医学博士学位，开始在意大利、克罗地亚、匈牙利行医，据称当时的波兰国王也曾请他看过病。

1599年，他在威尼斯建立了一家私人诊所，并

在威尼斯度过了余生。

在威尼斯，圣托里奥很快就成为了新兴科学家们聚会场所中的一员，其中包括意大利著名天文学家、物理学家和工程师伽利略（1564~1642年）。1611年，圣托里奥被任命为帕多瓦大学理论医学教授，1616年开始担任威尼斯医学院院长8年，1630年底，威尼斯发生大规模鼠疫疫情，市政府任命圣托里奥担任威尼斯市公共卫生负责人，领导抗击瘟疫工作。1636年圣托里奥因病去世，享年76岁，去世后安葬在威尼斯的圣母玛丽亚教堂。图1是保存在意大利科学历史研究所和博物馆的圣托里奥画像。

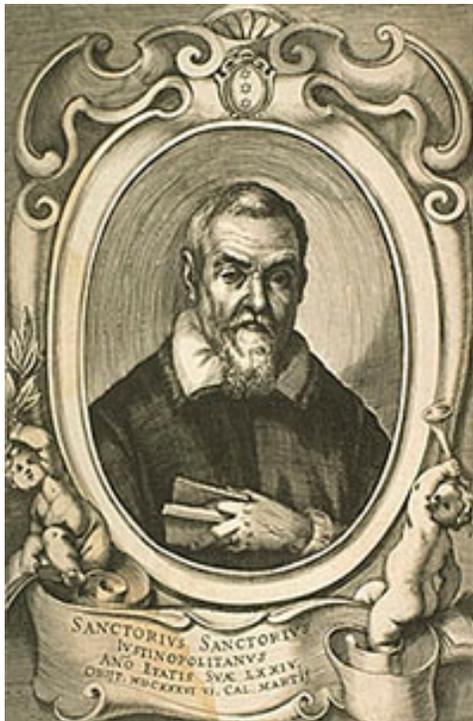


图1 圣托里奥画像

从上面介绍的经历可知，圣托里奥是一位意大利生理学家、医生和大学医学理论教授。因为伽利略也在威尼斯帕多瓦大学任教，而且圣托里奥大伽利略三岁，所以他们是从事科学研究的同代人和朋友，圣托里奥和伽利略经常在一起或书信往来探讨科学技术问题。

圣托里奥采用量化医学研究方法，专注于测量和实验，尝试通过测试和观察开创新陈代谢研究的基础工作。圣托里奥还是多种医疗仪器的发明者，比如发明了脉搏测量仪，比如为伽利略发明的温度计增加了数值刻度，使伽利略发明的温度计成为真

正可以读数的温度计，他还发明了“称重椅”等等。圣托里奥将这些仪器、实验方案和数学物理学方法引入医学科学的定量研究，奠定了现代医学研究的基础，所以在医学界、医学史上都公认圣托里奥是实验医学的先驱、临床经验之父、新陈代谢平衡研究之父。

在中国科学技术出版社2022年出版的《科学文化经典译丛》中的《意大利科学史 细微处的精巧》一书中，有三段介绍圣托里奥的文字：“在近代欧洲，有记载的最早的生理学定量实验，应该是来自科佩尔的医生圣托里奥·圣托里奥（Santorio Santorio, 1561-1636）在帕多瓦大学进行的实验。圣托里奥用一个天平对人体新陈代谢进行校验，得出了存在不显汗（在下文中译为“不易检测到的汗液”）的结论。”“圣托里奥考虑为医学提供定量基础，特别是使用准确的重量测量（包括粪便和分泌物）作为诊断的辅助工具。”“新颖之处在于，圣托里奥不只是写了这些，而是建造了一个椅子天平，并且实际应用于称量他的病人；除此之外，他还让他的朋友伽利略接受了这个实验。”

2 “称重椅”

圣托里奥在他的整个职业生涯中都坚持一个观点：身体的基本属性是数学的，比如数量、位置和形状，所以他在医学研究中特别重视通过医学仪器获得检测数据，然后分析这些数据指导医学理论研究。圣托里奥的观点有点像我们今天所说的“数据驱动”，它通过数据的收集、整合、分析和挖掘，获取有价值的信息，并以这种思维模式进行更明智、更深入的学术理论探索。

有了这种思维方式，我们可以设想当圣托里奥在市场上看到了可以用来称重的杆秤时，他一定是动心了。也许他会想，我能不能把杆秤用来称人的体重呢？我怎样才能让杆秤很方便地称人的体重呢？

由于圣托里奥想的是连续不间断地称人的体重，还想在称重的同时他还能干其他工作，所以我们可以推测圣托里奥会想到他平时工作是坐在椅子上，如果能让杆秤将椅子连同坐在椅子上的人一起称，那不就达到要求了？于是，圣托里奥发明了“称重椅”。

那个时代的称重装置只有天平和杆秤，天平称重时要搬动砝码，操作不如杆秤方便。圣托里奥选择了大型罗马杆秤（Roman steelyard），从留下来资料中的插图看，秤杆长度与人的高度差不多，应该是在1.60~1.80m。圣托里奥在1600~1608年的8年间对约10000个案例进行了称重观察，结果定义了人的健康体重范围在60kg。再加上椅子等平台部件的重量，所以“称重椅”至少应该是可以称80kg。

杆秤的提钮固定在横梁上，秤杆的长臂一侧挂了一个秤砣，短臂一侧吊挂的是椅子式样的平台，由于工作室层高的关系，除了椅子式样的平台是穿过天花板上的孔洞吊挂在工作室地面之上，插图中杆秤的主要部件都在天花板上，包括秤杆、提钮、秤砣等。椅子是悬空的，椅子腿离地有一定高度（见图2，推测图中人物应该就是圣托里奥）。

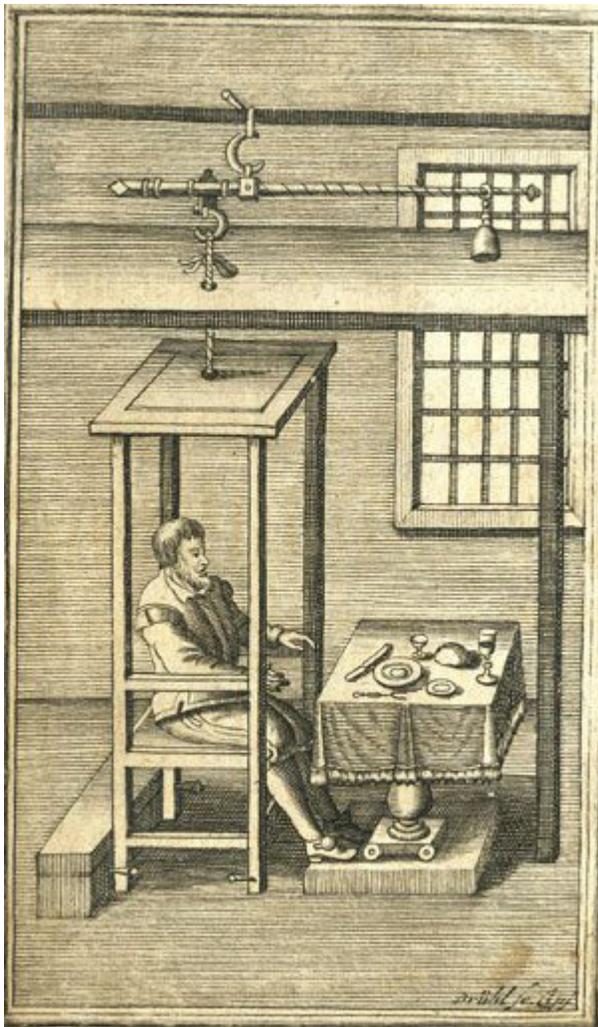


图2 圣托里奥与称重椅（据17世纪木刻版画复原）

这是人可以长时间坐在椅子上的称重装置，圣托里奥的“称重椅”发明，将称重设备一直用于商业和贸易模式扩展为科学测量工具，开拓了称重装置全新的应用领域。

3 在“称重椅”上的研究工作

在前后30年时间里，圣托里奥大部分时间都坐在这把椅子上，吃饭、喝水、工作、睡觉、大便、小便等活动前后，都勤奋地测量体重的日常变化。概括一下他的研究工作，大致有以下成果：

(1) 圣托里奥将自己在“称重椅”上吃喝物品与排出废物的重量统计出来并进行比较，发现排出废物的重量要少得多。比如他每天吃喝物品量约8磅，但只排出约3磅的废物（尿液和粪便），差值约5磅，差了一多半，这大大出乎人的想象。他仔细研究思考后得出结论，这个差值一定是在呼吸过程中通过皮肤或口腔排出的，他把这一部分废物称为“perspiratio insensibilis，不易检测到的汗液”，因为包括尿液和粪便的废物是可以检测到的。圣托里奥将这种所谓的“不易检测到的汗液”设想为一种水分排泄物，是人的身体通过皮肤毛孔清除人体内有害物质的一种方式。圣托里奥还有一组数据，即一晚上排出废物的数量：尿液16盎司（约合453g）和粪便4盎司（约合113g）。这个数字，再加上之前摄入食物的量，使圣托里奥能够确定一个晚上排出“不易检测到的汗液”量为40盎司（约合1134g）或更多。对于通过嘴呼吸排出的“不易检测到的汗液”，圣托里奥估计有半磅，约合227g。

圣托里奥根据统计数据的差值发现了新陈代谢（包括物质代谢与能量代谢）和出汗的影响，不仅强调了食物与健康之间的联系，而且强调了对身体排泄物的持续监测的重要性，因为归根结底，健康是摄入物和排泄物之间平衡的结果。

(2) 圣托里奥定义了一个人的健康体重范围（200~205libbre），资料中介绍libbra大致等于1/3kg，所以这个健康体重范围相当于66.7~68.3kg。

(3) 圣托里奥经常长时间不吃不喝不上厕所，这样他就可以在“称重椅”上跟踪自己的体重变化，一般这个变化量大约是1.25kg。

(4) 除了监测体重变化外，“称重椅”还可以用来调节饮食摄入量，因为这台设备不仅可以测量

摄入的食物，还可以用来确保人维持固定的体重，即能量平衡，以确保良好的身体状况和没有疾病。先确定每个使用“称重椅”进食的人的健康食物量，在边吃边称重的过程中，“称重椅”会因增重而向下移动，一旦达到设定的量度，使用“称重椅”的人将结束进食。

(5) 虽然圣托里奥主要使用他的“称重椅”进行自己的大量测量和实验，但他也使用“称重椅”来评估和监测他的病人，所以圣托里奥是把他的“称重椅”当作一台可以检测病人健康状态的医疗设备。根据他自己的说法，在大约8年的时间里观察了10000多个病人。

圣托里奥于1614年发表了关于医学定量研究的书籍《Ars de statica medicina, 静态医学的艺术》，展示了用“称重椅”进行大量测试的实际结果和关于基础代谢系统的研究工作。该书受到同时代人的称赞，在接下来的一个半世纪里被多次重印并翻译成多个语种。

4 “称重椅”的重建和测试

4.1 重建的初衷

由于圣托里奥在《静态医学的艺术》等书中没有详细介绍“称重椅”的结构和称重读数方式，后人没有仔细分析过“称重椅”的设计方案和测量方法，也缺少对“称重椅”设计和称重实验测量的详细讨论。

马克斯·普朗克(1858年-1947年)是提出量子理论的德国著名物理学家。1948年，德国的威廉皇帝学会为纪念马克斯·普朗克曾两度担任主席，更名为马克斯普朗克学会。该学会是世界上最成功的科学组织之一，是德国科学技术最高学术机构，旗下经营着80多个科研机构，在他们的研究人员中有18个诺贝尔奖得主。1994年成立的科学史研究所是马克斯·普朗克学会管理的科研机构之一，它致力于研究科学史上新的思维、理论和发明是如何产生的。

马克斯·普朗克科学史研究所(Max Planck Institute for the History of Science)和柏林工业大学职业教育和工作研究学院(Institute of Vocational Education and Work Studies, Technical University of Berlin)合作，成立了工作组重建圣托里奥的“称重椅”并对其进行了实验，为研究圣托里奥工作开辟

了新的视角，并试图还原圣托里奥发明“称重椅”的目的和功能。

4.2 重建的方案

仿照早期书籍中的插图和书中的介绍，提出了重建方案：为了保证不同体重的人都可以使用“称重椅”，确定了包括椅子重量在内的最大负载为100kg；采用了长度为1.5m的秤杆。为了减轻秤砣重量，采用了5:1的杠杆比(长臂长125cm:短臂长25cm)，这相当于秤砣重量为20kg时的最大负载为100kg；秤杆和提钮采用钢质材料，椅子和框架采用木材。

由于要连续长时间、频繁地记录称重数据，杆秤的操作很可能不是按多人操作的方式进行。比如说，更多时候圣托里奥是一个人坐在“称重椅”上，一边工作一边记录下称重数据，所以一方面用杆秤拨砣的读数方式不太可能，因为杆秤秤砣都在工作室天花板之上，必须要另一个人去操作。所以当拨砣这项操作完成后，先得到被称重人的体重基础值。而另一方面，当需要检测被称重人的体重因进食饮水或排泄废物等活动而导致体重变化时，应该是被称重人坐在“称重椅”上也可以观察记录的。圣托里奥在对“称重椅”的描述中曾经非常清楚地说过：“在称重开始之前设定的某个体重增加值，可以根据椅子的下降量确定，即椅子到地板的距离”，这表明这个时候负载的增加值不是从悬挂在秤杆上的秤砣位置读取的。而且在分析图2中椅子下部的支腿上有2个横向标志物可能就是确定体重增加值的指针，所以重建时在椅子腿上加装了指示标记。

4.3 重建“称重椅”的制作和实验

根据重建“称重椅”的资料介绍归纳了以下几点制作和实验内容：

(1) 需要对许多人进行体重监测，在开始实际称重之前，必须确定一个起点，常见的起点是平衡点，即秤杆处于水平位置。为了不调整秤杆上秤砣的位置，可先按最大秤重量确定秤砣位置，其余的人则可通过给坐在“称重椅”上的人增加砝码，使“称重椅”保持在起点位置，以弥补体重上的差异，这样在椅子底部的横梁有一个标记，表明椅子何时到达起点位置，这是第一标记。

采用椅子底部的第二标记用于起点标记确定后

的重量变化值的测量。如使用“称重椅”进食的人需限定健康进食量，在被测试人边吃边称重的过程中，“称重椅”会因增重而向下移动，一旦达到设定的量度（如称重椅接触地面），使用“称重椅”的人将结束进食。这个标记应该只用作当少许重量变化时读数用的，那时秤杆由水平变为微倾斜从而导致“称重椅”略升高或略降低，第二标记的位置将会变化。这个读数可在原有杆秤拨砣读数值的基础上增减一个小的修正值。据测试，这种方式读数能提供100克（约3.5盎司）的修正值精度，这与圣托里奥在书中提到的最小值是4盎司基本吻合。因为前面已经说过“称重椅”最大量程是100kg，修正值精度能达到最大量程值的0.1%已经相当不错了。

分析第二标记的制作可能是这样的：在椅子腿上固定了一根木制凹槽，凹槽与椅子腿之间放入固定在地面的钢尺，这样包括木制凹槽在内的椅子腿可以在钢尺上滑动，所以椅子腿的底面就可以作为第二标记。根据它们之间的相对位置，就可以读出人体重量的变化值了。

(2) “称重椅”的最初用绳索吊挂，会向一侧旋转，非常不稳定，人坐在椅子上有任何形式的运动椅子都会晃动。于是将吊挂的绳索改为由长O形环组成的钢链，还在“称重椅”的背面安放一块固定木板，使“称重椅”的两条腿在固定木板面上滑动，但需要保证“称重椅”的两条腿与固定木板的摩擦尽

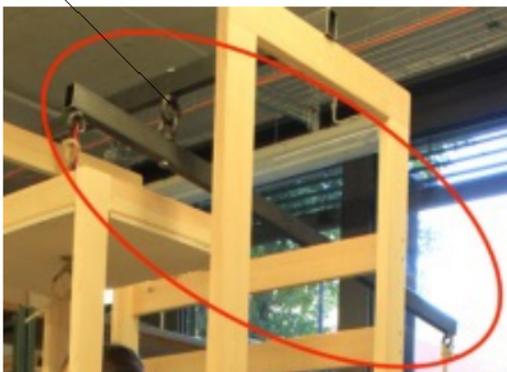
量小，以免影响称重精度，如图3所示。“称重椅”是否水平，可以由安装在椅子顶部的水平仪监控。



图3 “称重椅”稳定性设计

(3) 早期重建方案采用双钢环吊挂支点的方案，支点离秤杆有一段距离，后采用在秤杆上设滚珠轴承支点的方案，支点就在秤杆上，这样称量时秤杆倾斜度更小，测量更精确，如图4所示。

早期复原方案的双钢环吊挂支点



滚珠轴承支点



图4 秤杆支点

(4) 为了使不同体重的人用椅子称重都可能得到高精度的数据, 工作组在秤杆的不同位置设置了3个提钮, 而且提钮的结构采用了现代技术的滚珠轴承, 3个滚珠轴承孔吊挂点的相关尺寸见表1。

表1 对应不同提钮位置的杠杆比值

提钮位置编号	长臂, mm	短臂, mm	杠杆比值
1	1325	175	7.571
2	1265	235	5.383
3	1205	295	4.085

由于选用秤砣的重量是20kg, 提钮位置3对我们拟定的负载重量范围为66 kg~75 kg, 是最适合的。

4.4 重建工作小结

重建“称重椅”, 促使工作组重新考虑圣托里奥“称重椅”的功能和用途。工作组全面分析了“称重椅”的设计和应用的测量方法, 制作了“称重椅”并对其进行了一系列实验, 使我们能够对圣托里奥“称重椅”的机械和实践知识有所理解, 为圣托里奥科学史的研究工作开辟了新的视角, 也是我们持续研究的起点。

由于还有一些谜团尚未解开, 工作组还带着一些新的设想准备进行下一步的重建工作。

5 结语

圣托里奥是多种医疗仪器的发明者, 在前后30年的时间里, 圣托里奥勤奋地在他发明的“称重椅”上测量体重的日常变化。他根据统计数据的差值发现新陈代谢(将食物消化成能量)和出汗的影响, 虽然原始数据没有保存下来, 但他在1614年出版的《静态医学的艺术》一书, 开创了新陈代谢研究的基础工作。圣托里奥采用量化医学研究方法, 奠定了他在医学史实验医学的先驱地位。这种用当时最新科技成果服务医学研究实验的科学精神, 更值得今人学习。

参考文献

[1] Sue Reeves.SantorioSantorio - physician, physiologist,andweight-watcher[EB/OL].http:// www.markwk.com/2017/06/history-of-weighing-scales.html.2017.06.08.

[2] Teresa Hollerbach.The Weighing Chair of SanctoriusSanctorius:A Replica[EB/OL].https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5993855/.2018.05.14.

[3] KAUSHIK PATOWARY.Santorio Santori And Insensible Perspiration[EB/OL].https://www.amusing-planet.com/2024/10/santorio-santori-and-insensible.html.2024.10.18.

[4] Istrianaet.org.Istria on the Internet-Prominent Istrians-Santorio [EB/OL].https://www.istrianaet.org/istria/illustri/santorio/index.htm.1999.10.23.

[5] 卢西奥·鲁索, 伊曼纽拉·桑托尼.意大利科学史: 细微处的精巧[M].奚丹译.北京: 中国科学技术出版社, 2022.P134~135.

作者简介

方原柏(1942—), 男, 湖北黄冈人, 1964年毕业于贵州工学院, 曾任昆明有色冶金设计研究院电气自动化分院主任工程师, 教授级高级工程师, 现任昆明仪器仪表学会理事长、中国仪器仪表学会科普专家, 担任《自动化仪表》《冶金自动化》《衡器》《自动化与仪表》《仪表与自动化装置》等杂志编委。作为自动化仪表专业负责人, 承担过数十项大中型工程项目的设计、施工、安装调试、竣工投产工作, 其中部分项目荣获国家、省部级工程设计一、二等奖。

多年来致力于仪器仪表、控制系统的工程设计及应用研究, 发表论文380篇, 曾出版“电子皮带秤的原理及应用”(1994年, 冶金工业出版社)、“电子皮带秤”(2007年, 冶金工业出版社)、“流程行业无线通信技术的应用”(2015年, 化学工业出版社)、“有色金属生产过程自动化”(2015年, 人民邮电出版社)、“检重秤”(2020年, 计量中国标准出版社)、“金属探测器”(2023年, 化学工业出版社)6本专著。