将血管通路与人体参考图谱中的器官解剖结构相连接

Katherine Gustilo[1,2], Quinlan Cuddy[1,2], Avinash Boppana[3], Bruce W. Herr II[2], Katy Börner[2], Griffin M Weber[4,5*]

[1] 科罗拉多大学安舒茨医学院，美国科罗拉多州奥罗拉[2] 智能系统工程系，拉迪信息学、计算与工程学院，印第安纳大学，美国印第安纳州布卢明顿[3] Sedona Health公司，美国纽约州纽约市[4] 生物医学信息学系，哈佛医学院，美国马萨诸塞州波士顿[5] 医学系，贝斯以色列女执事医疗中心，美国马萨诸塞州波士顿

* 通讯作者 Griffin M Weber，
weber@hms.harvard.edu

摘要

作为人体参考图谱（HRA）倡议的一部分，我们开发了多尺度血管系统通用坐标框架（VCCF）。该倡议汇集了25个以上的国际联盟，旨在绘制完整的健康成人身体图谱。VCCF利用血管通路描述器官、解剖结构和细胞在全身的定位。在此，我们介绍VCCF血管系统器官交叉映射表，该表将血管与其供应或引流的解剖结构相连接；同时介绍通路交叉映射表，该表列出了血管、淋巴管和神经之间的关系。血管系统器官交叉映射图支持交叉映射表的编制和审阅。在机器可读文件中，我们根据这些图表编录了349条血管，以及它们与20个器官/身体区域中的295个解剖结构和28个功能性组织单元之间的663条连接关系。VCCF交叉映射表和图表已通过算法验证，并经11位器官专家审定。这些成果汇集了来自不同领域的专家，用于记录现有的人体血管系统知识，并确定未来研究所需填补的空白。

背景与摘要

来自25个以上国际联盟的数百名科学家参与了一项雄心勃勃的倡议，旨在构建多尺度人体参考图谱（HRA），从器官和组织一直绘制到细胞和生物标志物[1]，覆盖完整的健康成人身体。截至目前，HRA已编录33个器官中的4,000多个解剖结构。HRA使用标准本体[2]以知识图谱的形式发布。为构建这一知识图谱，各领域专家团队填写特定于器官的电子表格，这些表格称为“解剖结构、细胞类型及生物标志物”（ASCT+B）表[3]。这些表格与三维参考对象、单细胞数据集、生物样本元数据及其他数字对象[4]建立了连接。网络门户和交互式数据可视化为访问HRA数据提供了途径，并支持对知识图谱进行探索[5]。这些都是HRA通用坐标框架（CCF）[1]的组成部分。HRA的CCF还包括血管系统通用坐标框架（VCCF），该框架利用血管通路描述器官、解剖结构和细胞在全身的定位[6]，并测量细胞与其最近血管之间的距离[7]。

ASCT+B 表有两种类型（**图 1**）。大多数器官使用“嵌套部分学”ASCT+B 表。这些表中的解剖结构呈层级排列，从整个器官开始，接着是器官的主要组成部分，再到这些组成部分中更小的子部分，以此类推，直到功能性组织单元（FTUs）。我们将其定义为“执行独特生理功能、并在整个器官中多次重复出现的最小组织结构”[8,9]。我们使用“part_of”一词来描述这一层级中不同层级之间的关系。

有三个器官——血管系统、淋巴管系统和周围神经系统（PNS）——使用“分支通路”ASCT+B 表。在这些表中，我们使用“branches_from”一词来描述不同层级之间的关系。例如，在血管系统表中，主动脉从心脏的左心室分支而出，头臂动脉从主动脉分支而出，依此类推，直至小动脉和毛细血管。另一个独立的静脉层级也始于心脏，并列出静脉和小静脉的分支情况。

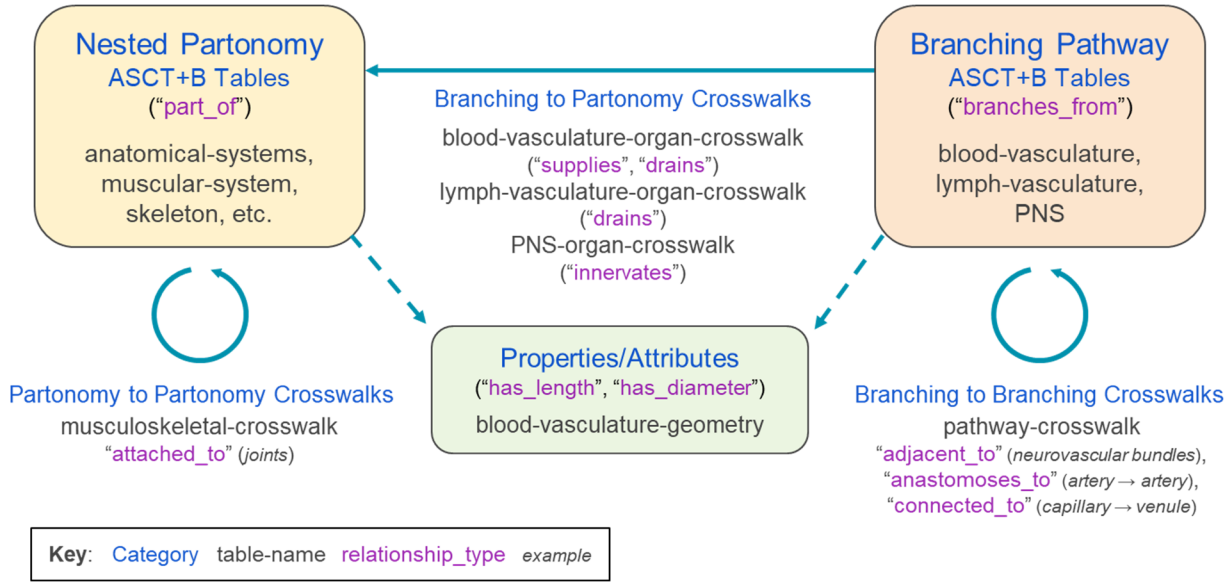

图 1。人体参考图谱（HRA）中的数据表。图中展示了两种类型的解剖结构、细胞类型及生物标志物（ASCT+B）表，以及三种类型的交叉映射表（蓝色实线）。此外，还列出一个属性表，用于说明血管的几何属性（如长度和直径），以展示 HRA 知识图谱中与 ASCT+B 表相连的众多其他数字对象之一。

我们此前介绍过该血管系统 ASCT+B 表的构建和内容，其中包括 1000 多条血管。本文介绍两个新的 VCCF"交叉映射表"，它们通过在 ASCT+B 表中添加血管与解剖结构之间的关系，扩展了 HRA 知识图谱（**图 1**）。第一个表称为"血管系统—器官交叉映射"，将血管与其供血（输送氧气、营养物质等）或引流的器官解剖结构关联起来。第二个表称为"通路交叉映射"表，展示血管、淋巴管与神经之间的关系，例如神经血管束、血管吻合，以及动脉和静脉血管树之间的连接。

此外，我们介绍了血管系统—器官交叉映射图。这些图以一种新颖的方式展示器官的解剖结构，突出呈现贯穿器官的血管通路。这些图是构建和验证交叉映射表的重要工具。

方法

血管系统—器官交叉映射表的构建始于领域专家（解剖学家、临床医生、器官专家等）绘制血管系统—器官交叉映射图（**图 2**），其中包含两类对象。重叠矩形表示器官内解剖结构的嵌套部分学，从宏观尺度的宏观解剖结构（左侧）到微观尺度的功能性组织单元（右侧）。这些

结构来自器官嵌套部分学 ASCT+B 表。穿过这些矩形的线表示为这些结构供血、引流或穿行的血管。血管列表来自血管系统分支通路 ASCT+B 表。

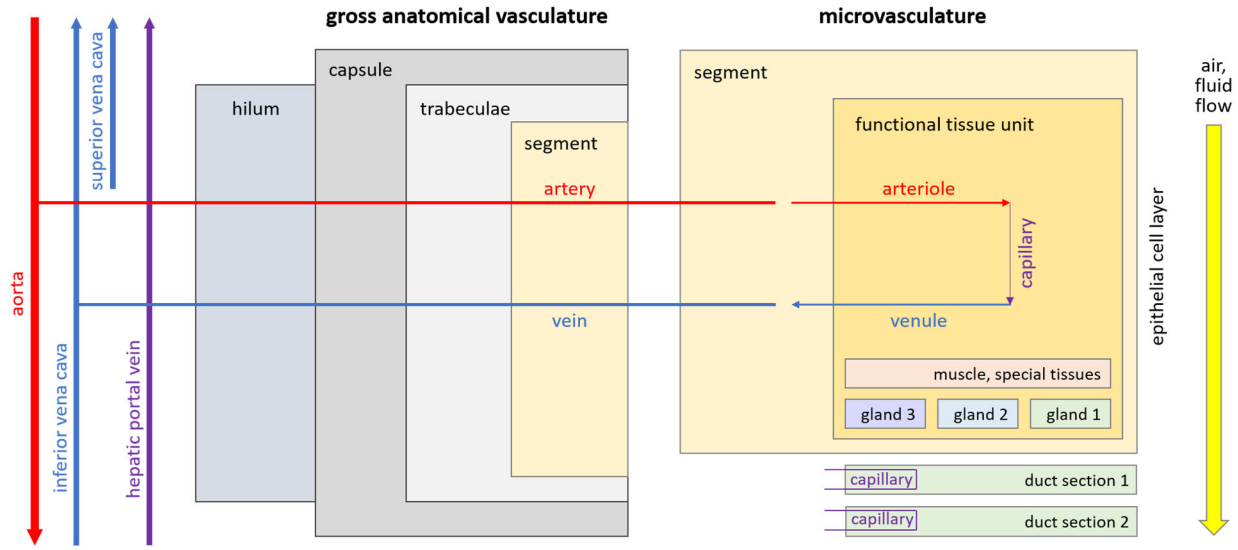

图 2。血管—器官交叉映射图模板。器官解剖结构以矩形表示，其上叠加表示血管回路的线条。

将血管置于交叉映射图中

与器官实际的解剖形状和尺寸相比，图表经过了变形，以尽可能拉直血管通路。在构建这些图表时，目标是形成一种与**图 2**中的模板相似的布局，其中主要血管系统通路绘制成一个大型环路。环路从左上方开始，即供应器官的主动脉处，然后向右延伸，依次连接较小的动脉、小动脉，最终到达毛细血管；毛细血管沿图表右侧向下延伸。在图表右下方，毛细血管连接到小静脉，小静脉再连接到静脉，静脉从图表左下方离开器官。血流通常按顺时针方向通过图表，毛细血管上的箭头指向下方。逆流是一个例外，其方向为逆时针，毛细血管上的箭头指向上方，且静脉位于动脉上方而非下方。

器官内可以有多个血管环路，且环路可以从其他环路分支出来。每个环路对应一种不同的血管模式或组织类型。但请注意，器官内可能存在许多（即数百万个）同一类型的血管通路实例，但在此图表中，它们被绘制为一个环路。因此，环路总数通常少于十个，大致等于器官中不同 FTU 类型的数量。

将器官解剖结构置于交叉映射图中

器官解剖结构围绕拉直后的血管通路环排列。因此，在器官实际的三维解剖形态中彼此相邻的结构，在图表中可能会分开。通常，较大的器官结构（例如器官被膜、叶等）会与较大的血管一起位于图表左侧。较小的结构（例如器官节段、功能组织单位）则会与毛细血管一起位于右侧。图表中间附近通常会出现一道小的垂直间隙。间隙左侧是较大的命名结构和命名血管，右侧则是较小的重复结构，以及未逐一命名的血管。

具有上皮表面的结构位于最右侧。这些结构的正右方表示身体外部或中空器官内部的空间。图表右缘的大型向下箭头表示流经该上皮表面的物质（例如液体或空气）。（也可以想象，器官的“微生物组”就生活在这里。）器官中更深层的组织，例如肠的肌层，则不会那么靠右。

颜色用于区分器官中的不同组织类型。暖色表示实质以及器官的主要功能组织（黄色为主色，肌肉或用于突出显示特殊组织时使用粉色）；灰色表示基质或结缔组织；浅绿色表示腺体和导管；蓝色和紫色则在某些情况下用作腺体和特殊解剖结构的替代颜色，以增强清晰度。

创建交叉映射表

随后，我们利用这些图表作为视觉辅助，通过将图表中呈现的关系记录到电子表格中，创建血液—血管—器官交叉映射表和通路交叉映射表。我们发现，没有这些图表，几乎不可能编制和审核这些表格。图表以二维形式呈现穿过器官的复杂三维血管通路，这对开展这项工作至关重要。

数据记录

血管器官交叉索引（blood-vasculature-organ-crosswalk.csv）和通路交叉索引（pathway-crosswalk.csv）表格以逗号分隔值（CSV）文件形式提供，采用知识共享署名 4.0 国际（CC BY 4.0）许可[11]。

血管系统—器官交叉映射图（blood-vasculature-organ-crosswalk- diagrams.pptx）与表格一并提供，格式为 Microsoft PowerPoint Open XML 演示文稿（PPTX），另另存为便携式文档格式（PDF）、可缩放矢量图形（SVG）和便携式网络图形（PNG）。胰腺交叉图示例见**图 3**。

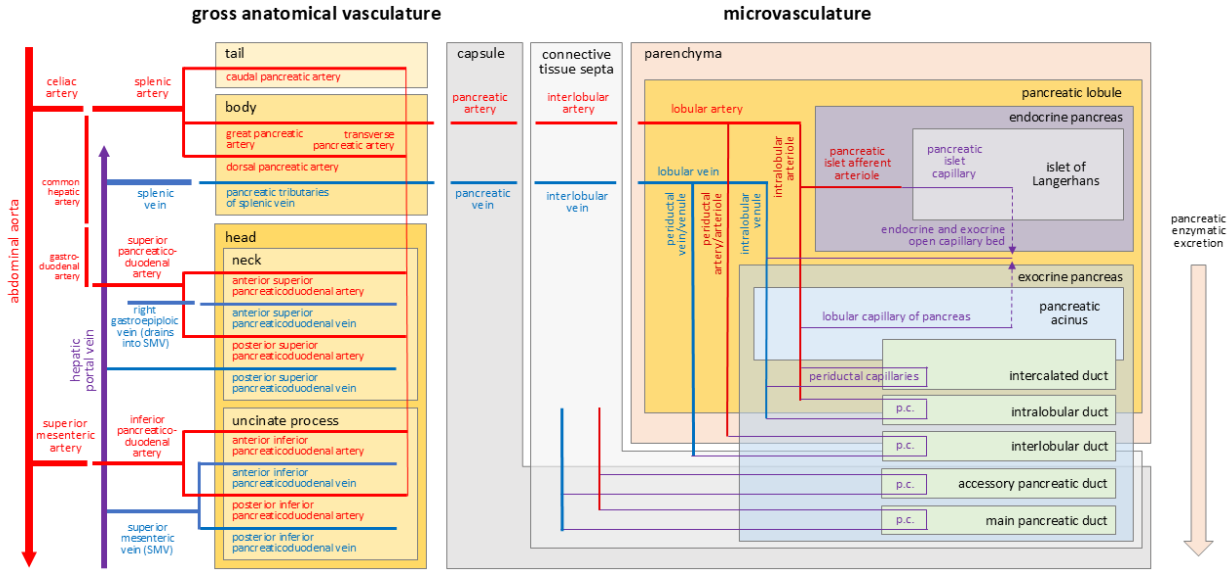

图 3. 胰腺血管交叉图。

血管器官交叉表

血管器官交叉表的这一初始版本涵盖20个器官和身体区域中的349条血管（**表1**）。这些血管与具体解剖结构之间共存在663个连接关系。我们为15个器官绘制了血管系统器官交叉映射图：脑、眼、心脏、肾脏、大肠、肝脏、肺、口腔、胰腺、胎盘、前列腺、皮肤、小肠、脾脏和胸腺。垂体中的血管包含在脑部图表中。

器官或身体区域	血液血管	解剖结构	连接关系	交叉映射图表	审阅者 姓名首字母
腹腔	4	3	5		KG
血管体	70	41	71		KG
脑	20	14	25	脑	QC
eye	5	2	5	eye	KG
脸（口腔）	17	16	19	口腔	KMB、ARL

心脏	26	1	26	心脏	KG
肾脏	25	35	80	肾脏	SJ、MTV
大肠	1	1	1	大肠	KG
存活r	52	20	60	存活r	TK, AMM
lung	52	46	157	lung	GP
肌肉系统	23	69	88		KG
胰腺	36	18	60	胰腺	MCT
垂体	6	2	8	脑	KG
胎盘	1	1	1	胎盘	KG
前列腺	1	1	1	前列腺	KG
骨骼	10	4	14		KG
体部皮肤	2	2	3	skin	KG
小肠	1	1	1	小肠	KG
脾脏	17	17	37	脾脏	BS

表 1. 汇总　　血管器官交叉表按器官或身体区域汇总　　.

血管器官交叉表中的663个连接关系分为七种关系类型：83条毛细血管“直接_供应_并_引流”某一结构；较大的血管（如动脉和静脉）则“间接供应”（325个连接关系）或“引流”（68个连接关系）结构；完全包含在较大结构内的117条血管“属于_”该结构；穿过某一结构的68条血管与该结构“重叠”；此外，作为一种特殊情况，肾小球毛细血管“连接_至”系膜，并“被_肾小球囊包围”。

血管器官交叉表包含与“血管体”的连接关系。血管体是由一条主要动脉[12]供血的 41 个皮肤、肌肉和骨的三维区域，具有重要的临床意义，尤其是在整形外科领域。该交叉映射表将血管与每个血管体作为一个整体结构相对应，同时也将血管与这些血管体内的单个肌肉和骨相对应。

血管器官交叉索引交叉映射表还包括与 11 个器官中的 28 个功能性组织单元相连接的血管（**表 2**）。

器官	**功能组织单位（功能组织单位）**
脸（口腔）	• 牙龈附着 • 腮腺导管-腺泡单位 • 舌下腺导管-腺泡单位 • 下颌下腺导管-腺泡单位
肾脏	• 皮质集合管 • 亨利袢降支 ● 内髓集合管 ● 亨利袢升支细段 • 肾单位 • 外髓集合管 • 肾小体

	● 亨利袢粗升支
大肠	• 利伯昆隐窝
活动	• 肝小叶
lung	• 肺泡 ● 支气管黏膜下腺
胰腺	● 闰管 ● 朗格汉斯胰岛 • 胰腺腺泡 • 绒毛膜终末绒毛
前列腺	• 前列腺腺泡
体部皮肤	• 真皮乳头 • 手指表皮嵴 • 毛囊
小肠	• 肠绒毛
脾脏	• 脾红髓 • 脾白髓
胸腺	● 胸腺小叶

表 2。血管器官交叉表中各器官的功能性组织单元。

通路交叉表

通路交叉表包含血管、淋巴结构和神经之间的 204 个连接。其中，28 个使用“adjacent_to”关系，将由动脉、静脉、淋巴管和神经组成的神经血管束进行分组。另有 38 个使用“connected_to”关系，将毛细血管与小动脉、小静脉或静脉相连接。血管系统 ASCT+B 表按照彼此分离的动脉树和血管树进行组织，并在末梢血管处结束，例如毛细血管或小静脉。“connected_to”连接用于将这些血管连接起来，形成从心脏延伸至器官并返回心脏的连续血管环路。另有 138 个“anastomosis_to”关系表示血管之间的其他连接，从而使血液能够通过替代路径流动。

数据集列

在交叉映射表中，“标识符”数据字段将血管和解剖结构与标准本体关联起来。条件允许时，使用 Uber 解剖学本体（UBERON）[13]。如果没有匹配的 UBERON 术语，则使用基础解剖学模型（FMA）本体[14]。

血管器官交叉表的数据字段包括

- **血管**。血管的名称。
- **血管标识符**。该血管对应的 FMA 标识符的 UBERON。

● **关系**。血管与解剖结构之间的关系类型，例如“供血”或“引流”。

● **身体子部位**。与该血管相关的特定解剖结构。
● **身体子部位标识符**。身体子部位的 UBERON 或 FMA 标识符。
● **身体子部位序列**。血管与多个结构相关联的顺序。值为 999 表示顺序未知，或将在本文件的未来版本中添加。

● **身体部位**。包含该身体子部位的器官或身体区域。
● **身体部位标识符**。身体部位的 UBERON 或 FMA 标识符。
● **功能组织单位**。如适用，填写功能组织单位的名称。
● **功能组织单位标签**。功能组织单位的 UBERON 或 FMA 标签。
● **功能组织单位标识符**。功能组织单位的 UBERON 或 FMA 标识符。
● **血管体**。如适用，血管体的名称。
● **血管体标识符**。血管体的数字标识符。

通路交叉表的数据字段包括

● **结构1名称**。连接中的第一个血管、淋巴管或神经。
● **结构1标识符**。第一个结构的 UBERON 或 FMA 标识符。
● **结构1类型**。第一个结构的类型（例如动脉、淋巴管或神经）。
● **关系**。两个结构之间关系的类型（例如“相邻_于”、“连接_至”或“吻合_至”）。

● **结构2名称**。第二条血管、淋巴管或神经。
● **结构2标识符**。第二个结构的 UBERON 或 FMA 标识符。
● **结构2类型**。第二个结构的类型（例如动脉、淋巴管或神经）。

技术验证

迭代完善　　和验证交叉映射图及交叉映射表

每个血管器官交叉索引图的初稿均由本研究的一位作者（K.G.、Q.C.、A.B. 或 G.W.）利用领域知识并查阅解剖学和组织学教科书编制而成[15–17]。Radiopaedia.org 网站以及两项详细介绍大脑皮层[18] 和大肠壁[19]微血管系统的研究也提供了有用的参考。将血管与血管体相对应的工作参考了 Taylor[12]。随后，初稿由第二位作者（K.G. 或 Q.C.）或一位或多位外部器官专家进行审阅（关于肾脏、肝脏、肺、口腔、胰腺和脾脏，请参见致谢）。

这是一个迭代过程，通常需要经过多轮审查和完善。这些图表与典型的器官解剖图看起来有很大不同。它们以高度失真的方式呈现器官，旨在强调器官的解剖结构与其

血管通路之间的关系。它们有意迫使领域专家关注器官的脉管系统，而不是器官的解剖学或生理功能。这个过程通常需要尝试几种不同的布局，才能成功将血管通路“解开”为简单的环路。

然而，这样做就能明显看出图表存在哪些问题，或对器官脉管系统某些部分的认识存在哪些空白。这些问题会直接表现为血管环路中的空缺、未经过任何器官结构的血管，或有血管穿过的器官结构。相比之下，在器官的传统插图中，三维血管通路难以追踪，可能被其他结构遮挡，或不够清晰。尤其是小血管和微血管系统，常被描绘成随机的分支线，以表示它们的存在，却没有准确呈现其实际连接方式和路径。

识别 利用图表和交叉映射表发现知识空白 *s*

这些专家评审的一项重要成果，是识别出器官中脉管系统尚未得到充分描述的部分。领域专家在审阅图表之前，往往并未意识到这些知识空白。只有当脉管系统以这种方式呈现出来，而他们又无法补全图表中某些缺失部分时，才意识到这一点。

例如，大体解剖尺度脉管系统（为器官供血的主要动脉）和微血管系统（功能性组织单元中的毛细血管）通常分别通过肉眼或显微镜观察。 然而，对于两者之间如何通过多个分支层级、由越来越细小的未命名动脉和小动脉过渡，了解还不够深入。不过，这些血管在图表中都有明确绘出，也是 VCCF 的必要组成部分。领域专家对于器官的静脉引流以及支持结构（例如集合管）的血液供应，也存在类似的不确定性。

映射到标准本体

在血管器官交叉索引中的 349 条血管中，有 112 条映射到 UBERON 标识符。对于没有 UBERON 标识符的血管，其中 155 条映射到 FMA 标识符。目前，HRA 正在开展相关工作，为其余 82 条血管生成新的 UBERON 标识符。

算法验证

在此前的一项研究中，我们通过程序化方式结合其他 HRA 数据表使用这两个交叉映射表，追踪从心脏到每个功能组织单位的完整血管通路

并追踪其返回心脏的路径。这验证了这些数据集中的通路不存在缺口[9]。

局限性

这项工作远未完成。HRA 是一项持续开展的工作，旨在绘制整个人体的图谱。HRA数字对象每六个月会进行一次重大更新并发布新版本。此处展示的血管器官交叉索引和通路交叉索引表，反映的是 HRA 截至第 11 次发布（2026年6月）的状态。随着时间推移，这些内容将持续改进；改进不仅体现在交叉映射表中器官和结构数量的增加，也体现在由直接参与 HRA 的联盟及更广泛的科学界不断产生关于人体的新知识。

血管系统器官交叉映射图尚未最终确定。其中一些仍处于非常早期的阶段，对不确定的血管使用问号（“?”）标注，或包含其他说明。这些图表是不断演变的文档，记录了 HRA 在某一时间点的状态；它们将持续更新，但由于人体血管系统十分庞大，可能永远无法完全完成。需要特别指出的是，图表中的许多血管和连接关系尚未记录在交叉映射表中。这可能是因为仍需要进一步验证，也可能是因为 HRA 倡议优先处理了某些血管，而非其他血管。

随着每次 HRA 发布，这两个交叉映射表可能会与其他 HRA 数字对象不同步。在后续的 HRA 发布中，我们会努力解决这些问题。

使用说明

血管器官交叉索引表和通路交叉索引表连接了 ASCT+B 表，这些表可在 HRA 门户上查阅：https://humanatlas.io。有关 VCCF 的更多信息，请访问：https://humanatlas.io/vccf。

HRA 门户还提供了标准操作规程（SOP）的链接，网址为：https://humanatlas.io/standard-operating-procedures），其中包括编制血管器官交叉表的标准操作规程（https://zenodo.org/records/11623745）、编制通路交叉表的标准操作规程（https://zenodo.org/records/11623415）以及编制血管器官交叉映射图的标准操作规程（https://zenodo.org/records/11623898）。

如需加入HRA倡议，请报名参加每月向所有人开放的HRA工作组会议，网址：

https://iu.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_bpaBhIr8XfdiNRH.

致谢

感谢器官专家 Sanjay Jain 和 M. Todd Valerius（肾脏）、Timothy Kendall 和 Anna Maria Masci（肝脏）、Gloria Pryhuber（肺）、Kevin Matthew Byrd 和 Angelo Rosso Llantada（口腔）、Martha Campbell-Thompson（胰腺）以及 Birte Steiniger（脾脏）对血管器官交叉索引图提出反馈。

我们还要感谢 Ellen M. Quardokus 为我们牵线介绍这些专家；感谢 Aleix Puig Barbe 就交叉映射表中的本体提出建议；感谢 Parth Kedar Godse、Zeynep Saziye Amac 和 Supriya Bidanta 帮助进行数据集的可视化与验证；并感谢 Zorina Galis 提出基于脉管系统创建人体通用坐标框架的想法。

人体参考图谱（HRA）由印第安纳大学制图组件作为 HuBMAP HIVE、SenNet CODCC、KPMP、GUDMAP 和 CIFAR 项目的一部分积极开发，并在 HRA编辑委员会的专家意见指导下，与来自其他 25 个以上联盟的专家密切合作。数据由 HuBMAP 和其他组织制图中心提供。本研究得到美国国立卫生研究院共同基金的支持，资助通过战略协调办公室/美国国立卫生研究院院长办公室提供，资助编号为 OT2OD033756 和 OT2OD026671；还得到细胞衰老网络（SenNet）联盟的支持，资助通过联盟组织与数据协调中心（CODCC）提供，资助编号为 U24CA268108；并得到美国国立糖尿病、消化和肾脏疾病研究所的支持，资助编号为 U24DK135157 和 U01DK133090。本研究还得到肾脏精准医学项目资助 U2CDK114886，以及美国卫生与公众服务部下属的美国国立卫生研究院国家过敏症和传染病研究所（NIAID）的支持，支持依据 BCBB 支持服务合同 HHSN316201300006W/ HHSN27200002 提供。K.B. 是 CIFAR MacMillan多尺度人体计划的共同主任，并获得该计划资助。本文内容完全由作者负责，不一定代表美国国立卫生研究院的官方观点。

作者贡献

K.G.、Q.C.、A.B. 和 G.W. 开发了血管器官交叉索引对应关系图和交叉映射表；B.H. 将交叉映射表整合到 HRA门户和知识图谱中；K.G.、Q.C. 和 G.W. 撰写了论文初稿；所有作者均审阅并编辑了论文；G.W. 负责领导 VCCF；K.B. 负责领导整个 HRA 项目并获得了资助。

利益冲突

G.W. 是美国国立卫生研究院人体生物分子图谱计划（HuBMAP）项目资助（OT2OD033756 和 OT2OD026671）的有偿顾问。

参考文献

1. Börner, K. 等. 人类生物分子图谱计划（HuBMAP）：三维人体参考图谱的构建与应用。Nat Methods 22, 845–860 (2025)。2. Bueckle, A. 等. 人体参考图谱知识图谱的构建、部署与应用。Sci Data 12, 1100 (2025)。3. Börner, K. 等. 人体参考图谱中的解剖结构、细胞类型和生物标志物。Nat Cell Biol 23, 1117–1128 (2021)。4. Herr, B. W., 2nd 等. 支持人体参考图谱的标本、生物结构和空间本体。Sci Data 10, 171 (2023)。5. Börner, K. 等. 支持人体参考图谱的组织配准与探索用户界面。Commun Biol 5, 1369 (2022)。6. Weber, G. M., Ju, Y. & Börner, K. 将脉管系统用作坐标系以映射人体所有细胞的相关考量。Front. Cardiovasc. Med. 7, 29 (2020)。7. Ghose, S. 等. 皮肤的三维重建，以及免疫细胞密度、血管距离和日晒与衰老影响的空间映射。Commun. Biol. 6, 718 (2023)。8. Jain, Y. 等. 通过社区协作开发通用机器学习算法，对人体器官中的功能性组织单元进行分割。Nat. Commun. 14, 4656 (2023)。9. Bidanta, S. 等. 人体参考图谱中的功能性组织单元。Nat. Commun. 16, 1526 (2025)。10. Boppana, A. 等. 健康人体血管系统的解剖结构、细胞类型和生物标志物。Sci. Data 10, 452 (2023)。11. Gustilo, K. 等. 人体参考图谱-脉管系统通用坐标框架（HRA-VCCF）交叉映射表。Zenodo https://doi.org/10.5281/zenodo.23856790 (2026)。12. Taylor, G. I. & Palmer, J. H. 人体血管区域（血管体）：实验

al

研究与临床应用。《*Br. J. Plast. Surg.*》 **40**, 113–141（1987）。13. Haendel, M. A. 等 Uberon 中用于比较生物学的多物种脊椎动物解剖本体统一。《*J. Biomed. Semantics*》 **5**, 21（2014）。14. Zhang, S. & Bodenreider, O. 运用词汇和结构方法对齐解剖学表示。《*AMIA Annu. Symp. Proc.*》 753–757（2003）。15. Netter, F. H. 人体解剖学图谱。（Saunders，宾夕法尼亚州费城，2006）。16. 格雷解剖学。（爱思唯尔健康科学，英国伦敦，2020）。

17. Mescher, A. *Junqueira*《基础组织学：文本与图谱》，第十五版。（麦格劳-希尔教育，俄亥俄州哥伦布，2018）。18. Duvernoy, H. M., Delon, S. & Vannson, J. L. 人脑皮质血管。《脑研究公报》 **7**, 519–579（1981）。19. Kachlik, D., Baca, V. & Stingl, J. 人类大肠壁的空间排列

血液循环。《解剖学杂志》**216**，335–343（2010）。