

## Reconstruction of short associative white fibers in human temporo-parieto-occipital area using high-definition fiber tracking tractography

WU Yupeng<sup>1\*</sup>, WANG Yibao<sup>2</sup>, WANG Yong<sup>2</sup>

(1. 2nd Department of Neurosurgery, the People's Hospital of Liaoning Province, Shenyang 110016, China; 2. Department of Neurosurgery, the First Hospital of China Medical University, Shenyang 110001, China)

**[Abstract]** **Objective** To reconstruct the pathways, cortex connections and three-dimensional architectures of short associative tracts in human temporo-parieto-occipital (TPO) area using high-definition fiber tracking (HDFT) tractography. **Methods** Ten healthy subjects underwent MR scan, and template integrating diffusion spectrum imaging (DSI) data of 90 healthy subjects (NTI-90) were analyzed. Then three short associative white fibers in the TPO area (superior longitudinal fasciculus-V [SLF-V], vertical occipital fasciculus [VOF] and temporo-parietal connection [TP]) were reconstructed. The pathways, cortex connections and three-dimensional architectures of these tracts were evaluated, as well as the volumes of the tracts. **Results** Three short associative tracts were all identified in 10 subjects and NTI-90 template. The SLF-V originated from the posterior part of the middle temporal gyrus and inferior temporal gyrus, terminating the angular gyrus and supramarginal gyrus. The VOF ascended from the inferior occipital lobe and fusiform gyrus, while some from the posterior part of the inferior temporal gyrus and front of the occipital pole, and the cortical endpoints were in the angular gyrus and lateral part of the superior occipital lobe. The TP connection mainly arose from the inferior temporal gyrus, middle temporal gyrus, fusiform gyrus, and some also from the inferior temporal gyrus-inferior occipital lobe junction areas. The projection of the TP connection sloped upwards to the superior parietal lobe. There was no significant difference of volumes of these three tracts (all  $P > 0.05$ ). **Conclusion** SLF-V, VOF and TP are successfully reconstructed using HDFT tractography with more complete connectivity patterns, therefore providing anatomy evidences for brain function study and neurosurgery approach.

**[Key words]** High-definition fiber tracking tractography; Temporo-parieto-occipital area; Short associative white fiber; Diffusion magnetic resonance imaging

DOI:10.13929/j.1672-8475.201804032

## 高定义角度纤维追踪技术重建人脑颞顶枕区短纤维束连接

吴玉鹏<sup>1\*</sup>, 王义宝<sup>2</sup>, 王 勇<sup>2</sup>

(1. 辽宁省人民医院神经外科, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国医科大学附属第一医院神经外科, 辽宁 沈阳 110001)

**[摘要]** **目的** 观察人脑颞顶枕区短纤维束连接的空间走行、皮质连接及三维空间关系。**方法** 对 10 名健康志愿者

**[基金项目]** 国家自然科学基金(31540077)、辽宁省自然科学基金博士启动项目(201800981)。

**[第一作者]** 吴玉鹏(1982—), 男, 辽宁沈阳人, 博士, 主治医师。研究方向: 人脑纤维束成像。

**[通信作者]** 吴玉鹏, 辽宁省人民医院神经外科, 110016。E-mail: wuyupeng2328@126.com

**[收稿日期]** 2018-04-22 **[修回日期]** 2018-08-29

进行MR扫描。下载90名健康志愿者的弥散谱成像(DSI)综合数据模板(NTU-90)。应用高定义角度纤维束追踪技术(HDFT)对所收集数据进行人脑颞顶枕区3条短纤维束连接[上纵束的垂直部(SLF-V)、枕纵束(VOF)和颞顶束(TP)]重建,并分析其纤维走行、皮质连接、空间三维关系及左右侧别差异。**结果** 3条纤维束在10名志愿者和NTU-90中均重建成功。SLF-V纤维束起源于颞中回和颞下回后部,终止于角回和缘上回;VOF纤维束起源于下枕叶和梭状回,少量纤维来源于颞下回的后部和枕极前部,终止点位于角回和上枕叶外侧部;TP纤维束主要起源于颞中回、颞下回、梭状回和下颞-下枕结合部,连接于顶上小叶;左右侧SLF-V、VOF和TP的纤维束体积差异无统计学意义( $P$ 均 $>0.05$ )。**结论** 应用HDFT纤维束成像技术成功重建了SLF-V、VOF和TP,可为脑功能研究和神经外科手术提供解剖学依据。

**【关键词】** 高定义角度纤维束追踪;颞顶枕区;短纤维束连接;扩散磁共振成像

**【中图分类号】** R3; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1672-8475(2018)10-0605-05

人脑颞顶枕区是指位于大脑外侧裂后部,与颞叶、顶叶及枕叶相毗邻的综合皮质区域,在其皮质下走行的神经纤维束是目前人脑内连接结构最复杂、执行功能最多样的联络区域之一<sup>[1]</sup>。既往研究<sup>[2]</sup>多集中于颞顶枕区的长纤维束连接,如下纵束(inferior longitudinal fascicle, ILF)、中纵束(middle longitudinal fascicle, MdLF)及额枕下束(inferior fronto-occipital fasciculus, IFOF)等的皮质定位、空间走行等。目前鲜见精确描绘颞顶枕区短纤维束连接的皮质连接定位、分析各纤维束的三维空间情况和对比左右各纤维束解剖学差异的报道。本研究应用高定义角度纤维束追踪技术(high definition fiber tracking, HDFT)分别对人脑颞顶枕区的3条短纤维束连接,即枕纵束(vertical occipital fasciculus, VOF)、上纵束的垂直部(superior longitudinal fasciculus-V, SLF-V)及颞顶束(temporo-parietal, TP)进行纤维束重建,并分析这些纤维束的皮质连接、走行轨迹和侧别差异。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 收集2015年1月—10月中国医科大学附属第一医院10名健康志愿者,男3例,女7例,年龄23~67岁,中位年龄38.5岁。纳入标准:①无MR扫描禁忌证;②常规MR检查无异常;③无精神系统、神经系统疾病史,无神经系统症状;④查体无明确神经系统阳性体征;⑤右利手。本研究通过中国医科大学伦理委员会批准(2015-103-3号),受检者均签署知情同意书。

另选取大样本的大脑神经纤维束成像的弥散谱成像(diffusion spectrum imaging, DSI)综合数据模板(NTU-90;美国匹兹堡大学神经外科实验室),下载网址: <http://dsi-studio.labsolver.org/download-images><sup>[3]</sup>。其中NTU-90包括90名健康志愿者大脑纤维束的综合数据,可以观察分析大样本人群纤维束成像中纤维束的走行情况,男45名,女45名,年龄18~60岁,中位年龄33.0岁,均为右利手。

**1.2 仪器与方法** 采用Siemens Tim Trio 3.0T MR扫描仪,32通道头线圈。DSI参数:弥散方向敏感梯度设定数量257;MR扫描采用双次重复聚焦回波磁共振波序列和多重Q值设定,TR 9.916 ms,单个像素体积(voxel size, VS)2.4 mm×2.4 mm×2.4 mm,TE 15 ms,FOV 231 mm×231 mm。三维短时回波序列T1WI: TR 2.11 ms,VS 0.5 mm×0.5 mm×1.0 mm,TE 2.63 ms,FOV 256 mm×256 mm。总扫描时间52 min。

**1.3 HDFT数据分析** 采用DSI-Studio分析软件,应用程序广义Q空间显像技术(generalized q-sampling Imaging, GQI)进行全脑纤维束、ROI纤维束和非感兴趣区(region of avoidance, ROA)纤维束追踪重建。追踪纤维束数据成功后,以Trackvis格式存储数据文件。将FreeSurfer软件系统和自动解剖图标系统分别导入各自的Trackvis数据文件,明确各纤维束的解剖分割和脑皮质定位。将各纤维束数据文件分别导入Trackvis软件系统,分别计算纤维束的体积,软件下载网址为: <http://www.trackvis.org/download/>。

重建SLF-V时,将颞中回和颞下回分别设为追踪起始ROI;在矢状位T1WI上,手动设定角回和缘上回区域为另一ROI;在冠状位T1WI上,手动设定中央前回区域为ROA。重建VOF时,追踪起始ROI包括梭状回、下枕叶和颞下回,在起始ROI的偏上方区域手动设定另一个ROI,在紧邻起始皮质区的前方手动设定ROA。重建TP时,将上顶叶、颞中回、颞下回和梭状回分别设定为起始ROI。另外,为分析颞顶枕区的短纤维束连接与周围主要纤维束的三维空间关系,分别重建ILF、MdLF、弓状束(arcuate fascicle, AF)、IFOF、钩状束(uncinate fasciculus, UF)和视辐射(optic radiation, OR)。

**1.4 统计学分析** 采用SPSS 16.0统计分析软件。以 $\bar{x} \pm s$ 表示10名志愿者左、右侧SLF-V、VOF、TP纤维束体积,并对其进行正态性S-W检验;不同性别

间左右侧纤维束体积符合正态性分布,采用独立样本 *t* 检验比较左、右侧纤维束体积的差异。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

**2 结果**

对 10 名志愿者和 NTU-90 大样本分析中的 VOF、SLF-V 和 TP 均重建成功。

SLF-V 起源于颞中回和颞下回后部,起始点邻近于 AF 起始部;随后,SLF-V 纤维束垂直向上走行,在颞顶区纤维束翻转向外,终止连接于角回和缘上回(图 1A)。SLF-V 走行方向与 VOF 平行,均为轴位 T1WI 上的垂直纤维束,SLF-V 位于矢状位 T1WI 的 VOF 前部;在颞区起始部,SLF-V 紧贴 AF 外侧走行。

VOF 起源于下枕叶和梭状回,少量纤维来源于颞下回的后部和枕极的前部;VOF 上缘终止点位于角回

和上枕叶外侧部(图 1B)。VOF 纤维连接位于枕叶外侧部垂直走行,其纤维束主干位于 AF 和 SLF-V 的后部、枕极的前部;在矢状位 T1WI 上,VOF 位于 ILF 和 IFOF 的外侧部,同时在 VOF 和 ILF 的尾端皮层连接区存在一定量的纤维交叉。

TP 主要起源于颞中回、颞下回、梭状回和下颞-下枕结合部,垂直向上走行;在颞区,其纤维束与 AF 一直保持“齐头向上”模式;在外侧裂区,AF 弧形弯曲朝向额叶,而 TP 继续斜行向上,连接于上顶叶(图 1C)。在上顶叶区域,TP 与 MdLF 关系紧密,相对而言, MdLF 更靠近中线。10 名志愿者的纤维束成像与 NTU-90 的结果相类似(图 2)。

在不同侧别 SLF-V、VOF 和 TP 的纤维束体积之间差异均无统计学意义( $P$  均  $> 0.05$ , 表 1)。

表 1 10 名志愿者不同侧别 SLF-V、VOF 和 TP 的纤维束体积 ( $\bar{x} \pm s$ )

侧别	SLF-V		VOF		TP	
	男(n=3)	女(n=7)	男(n=3)	女(n=7)	男(n=3)	女(n=7)
左侧	15.53±5.62	15.74±2.75	10.77±3.10	8.89±1.49	34.10±10.28	18.11±13.33
右侧	11.43±3.45	9.47±3.81	9.57±3.93	8.40±2.02	33.37±5.16	17.47±7.83
<i>t</i> 值	1.08	3.53	0.42	0.51	0.11	0.11
<i>P</i> 值	0.45	0.13	0.62	0.68	0.23	0.20

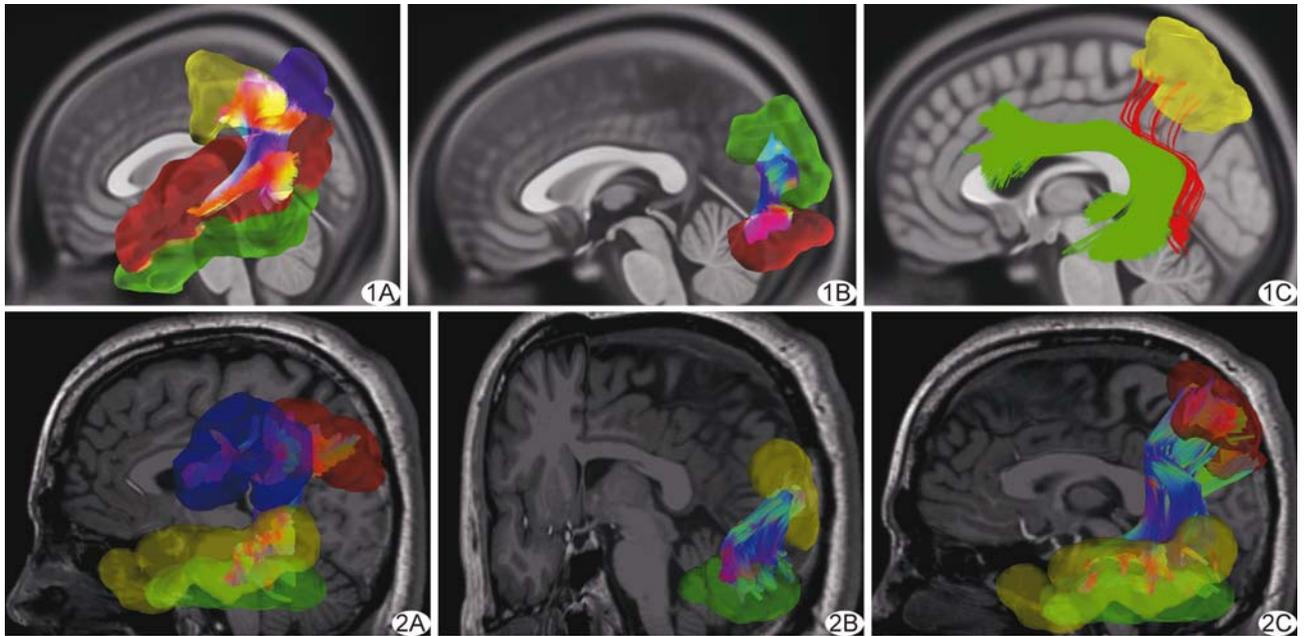


图 1 NTU-90 纤维束重建结果 A. SLF-V 起源于颞中回和颞下回后部,垂直向上走行,在颞顶区纤维束翻转向外,终止连接于角回和缘上回皮质(黄色代表缘上回皮质;紫色代表角回皮质;红色代表颞中回皮质;绿色代表颞下回皮质;纤维束为 SLF-V); B. VOF 起源于下枕叶,上缘终止点位于上枕叶外侧部(绿色代表枕上回皮质;红色代表枕下回皮质); C. TP 垂直向上走行,在颞区与 AF 保持“齐头向上”模式,在外侧裂区,AF 弧形弯曲朝向额叶,而 TP 继续斜行向上,连接于顶上小叶(黄色代表顶上小叶皮质;红色代表 TP 纤维束;绿色代表 AF)

图 2 志愿者男,32 岁,左侧大脑半球纤维束重建结果 A. SLF-V; B. VOF; C. TP

### 3 讨论

本研究采用 HDFT 技术对人脑颞顶枕区的 3 条短纤维束连接(SLF-V、VOF 和 TP)分别进行纤维束重建,并逐一分析其皮质连接、走行轨迹与周围其他纤维束的三维空间关系。相比 DTI,采用 HDFT 获得的图像质量更清晰,显示纤维束解剖连接轨迹更详尽。本研究在 10 名健康志愿者和 90 名志愿者的综合模板上重建了 3 条短纤维束连接,既可分析各纤维束在个体间的差异,又可观察纤维束在人群中的普遍连接方式。

既往研究<sup>[4]</sup>表明,脑颞顶枕区对于人类的高级认知能力起核心作用,参与或承担人类的语言、工作记忆和情感表达等功能,而该区域脑皮质下的白质纤维束有传导或协调这些关键功能的作用。目前鲜见关于人脑颞顶枕区短纤维束连接的研究,原因可能与 DTI 的图像质量有限有关。有学者<sup>[5]</sup>对该区域相关肿瘤的手术入路进行了分析,却未涉及颞顶枕区相关白质纤维束的解剖结构,因为 DTI 无法追踪单个纤维束的皮层连接,也不能处理多个纤维束在一个像素内的交叉问题<sup>[6]</sup>。HDFT 首先应用 DSI 技术对大脑进行扫描,再以 GQI 技术进行数据重建,研究<sup>[7]</sup>表明 HDFT 技术可明显提高纤维束成像质量,并已应用于临床实践。本研究结果表明,HDFT 技术可有效追踪白质纤维束、分辨单个像素内的多个交叉纤维束的归属,并清晰显示纤维束连接的起点及终止点等信息。

既往研究<sup>[8]</sup>多采用猴脑追踪成像结果指导人脑白质纤维束的解剖结构分析。但是,语言等功能是人类独有的高级进化模式,故还需进一步证实 SLF-V 的存在。2005 年,Catani 等<sup>[9]</sup>应用 DTI 技术显示 SLF-V 连接于下顶叶,并连接到韦尼克区。本研究结果显示,SLF-V 连接颞中回和颞下回的后部与角回和缘上回。脑功能研究<sup>[10]</sup>显示,角回是人类语言功能的高级中枢,而缘上回是与人类情感相关的高级中枢。鉴于此,笔者建议将 SLF-V 分为两部,即 SLF-V 角回部和 SLF-V 缘上回部,不仅可为神经功能研究提供解剖学基础,也对优化神经外科手术方案有一定参考作用。

2014 年,Kamali 等<sup>[11]</sup>应用 DTI 技术显示 TP,认为 TP 连接颞上回、颞中回和颞下回的后部与上顶叶,并将 TP 归为 SLF 复合纤维束的一部分。但本研究结果显示,TP 起源于颞中回、颞下回、梭状回和下颞下枕结合部,连接于上顶叶。造成上述差异的可能原因有:①本研究总扫描时间为 52 min,扫描方向为 257,而 Kamali 等<sup>[11]</sup>的扫描时间为 7 min,扫描方向为

21;②DTI 技术的部分容积效应不能支持多束纤维束交叉部分的显像,而 DSI 技术可显示交叉纤维束的空间关系,本研究结果显示 TP 与周围多束纤维束的空间关系,如 AF、IFOF 和 MdLF。笔者由此推测 TP 可能与人视觉和听觉信息的整合与传递有关。

VOF 是唯一连接枕叶内部的短小纤维束<sup>[12]</sup>。2013 年,Yeatman 等<sup>[13]</sup>应用 DTI 技术对 15 名健康志愿者脑重建了 VOF,并提出其作用是传递视觉信息。本研究进一步证实人脑中存在 VOF。同时,本研究在重建纤维束过程中发现 VOF 与胼胝体辐射的后端广泛交叉,而传统 DTI 技术难以对此加以显示。

综上所述,本研究采用 HDFT 技术成功重建了人脑颞顶枕区的 3 条短纤维束连接(SLF-V、VOF 和 TP),且成像更清晰,纤维束成像更加完整,定位纤维束的皮质连接点也更精确;同时发现这 3 条纤维束在左右两侧的体积差异无统计学意义。上述结果将为深入研究神经功能提供解剖学基础,对未来优化神经外科手术方案有一定参考价值。

### [参考文献]

- [1] 姜庆军,李勃,刘锴,等. 对人脑执行功能激活区域间关系的因果分析研究. 医学影像学杂志, 2013, 23(10):1516-1520.
- [2] Martino J, De Lucas EM. Subcortical anatomy of the lateral association fascicles of the brain: A review. *Clin Anat*, 2014, 27(4):563-569.
- [3] Yeh FC, Tseng WY. NTU-90: A high angular resolution brain atlas constructed by q-space diffeomorphic reconstruction. *Neuroimage*, 2011, 58(1):91-99.
- [4] Martino J, da Silva-Freitas R, Caballero H, et al. Fiber dissection and diffusion tensor imaging tractography study of the temporoparietal fiber intersection area. *Neurosurgery*, 2013, 72(1 Suppl Operative):87-97.
- [5] De Benedictis A, Duffau H, Paradiso B, et al. Anatomofunctional study of the temporo-parieto-occipital region: Dissection, tractographic and brain mapping evidence from a neurosurgical perspective. *J Anat*, 2014, 225(2):132-151.
- [6] Fernandez-Miranda JC. Editorial: Beyond diffusion tensor imaging. *J Neurosurg*, 2013, 118(6):1363-1366.
- [7] Fernandez-Miranda JC, Pathak S, Engh J, et al. High-definition fiber tractography of the human brain: Neuroanatomical validation and neurosurgical applications. *Neurosurgery*, 2012, 71(2):430-453.
- [8] Baron MS, Sidibé M, DeLong MR, et al. Course of motor and associative pallidothalamic projections in monkeys. *J Comp Neurol*, 2001, 429(3):490-501.
- [9] Catani M, Jones DK, ffytche DH. Perisylvian language networks

of the human brain. *Ann Neurol*, 2005, 57(1):8-16.

[10] Binder JR. Current controversies on Wernicke's area and its role in language. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2017, 17(8):58.

[11] Kamali A, Flanders AE, Brody J, et al. Tracing superior longitudinal fasciculus connectivity in the human brain using high resolution diffusion tensor tractography. *Brain Struct Funct*, 2014, 219(1):269-281.

[12] Yeatman JD, Weiner KS, Pestilli F, et al. The vertical occipital fasciculus: A century of controversy resolved by in vivo measurements. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2014, 111(48):E5214-E5223.

[13] Yeatman JD, Rauschecker AM, Wandell BA. Anatomy of the visual word form area: Adjacent cortical circuits and long-range white matter connections. *Brain Lang*, 2013, 125(2):146-155.

## 《中国医学影像技术》杂志 2019 年征订启事

《中国医学影像技术》杂志于 1985 年创刊,是由中国科学院主管,中国科学院声学研究所主办的国家级学术期刊。刊号:ISSN 1003-3289, CN 11-1881/R。曾获百种中国杰出学术期刊,现为中国精品科技期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊、《中文核心期刊要目总览》收录期刊、荷兰《医学文摘》收录源期刊、英国《科学文摘》收录源期刊、俄罗斯《文摘杂志》收录源期刊、WHO《西太平洋区医学索引》(WPRIM)来源期刊、《日本科学技术振兴机构中国文献数据库》(JSTChina)收录期刊。

《中国医学影像技术》杂志是临床医学影像学及影像医学工程及理论研究相结合的综合性学术期刊,刊登放射、超声、核医学、介入治疗、影像技术学、医学物理与工程学等方面的基础研究及临床实验研究的最新成果。以论文质量优、刊载信息量大、发刊周期短为其特色,是我国影像医学研究探索和学术交流的良好平台。

《中国医学影像技术》为月刊,160 页,大 16 开本,彩色印刷。单价 26 元,全年定价 312 元。订户可随时向当地邮局订阅,邮发代号 82-509;亦可向编辑部直接订阅,免邮寄费(欢迎通过银行转账,附言栏请注明订阅杂志名称)。

联系电话:010-82547903 传真:010-82547903

E-mail: cjmit@mail.ioa.ac.cn 网址: www.cjmit.com

编辑部地址:北京市海淀区北四环西路 21 号大猷楼 502 室 邮编:100190

银行账户名:《中国医学影像技术》期刊社 账号:110907929010201

开户行:招商银行北京分行清华园支行 联系人:田苗

