

· 论著 ·

正常成人全脑CT灌注特征的分析*

刘新立 吕新胜* 伊力亚斯 汪文涛 赵 芳 周宏伟

新疆克拉玛依市中心医院医学影像科 (新疆 克拉玛依 834000)

【摘要】目的 探讨正常成人全脑CT灌注成像(CTP)的脑血流灌注特征。**方法** 收集58例正常成年人的脑CTP检查数据进行分析。每例选4个层面的灌注图像,小脑最大层面、枕叶最大层面、基底节层面及半卵圆中心层面。分别标注双侧额叶、颞叶、枕叶、顶叶的灰质和白质以及基底节灰质核团的感兴趣区(ROI),测量每个ROI内的灌注参数并进行定量分析,包括脑血容量(CBV)、达峰时间(TTP)、脑血流量(CBF)及平均通过时间(MTT)的数值。**结果** 正常成人小脑灰质的区域平均脑血流量(rCBV)的值最高,左右侧均值分别为 (2.728 ± 0.5893) mL/100g、 (2.740 ± 0.5374) mL/100g。左右对应脑区的灌注参数的配对t检验的差异无统计学意义(检验水准:双侧 $\alpha=0.05$)。在小脑灰/白质TTP、枕叶灰/白质CBF及额叶灰/白质MTT的配对t检验中,灰质与白质间的差异无统计学意义($P=0.789, 0.385, 0.205$),其余对应灰白质间配对的组各参数值的差异均有统计学意义(检验水准:双侧 $\alpha=0.05$)。对不同脑区灰质与灰质、白质与白质方差分析及多重两两比较后:(1)小脑灰质与额叶、颞叶、枕叶、顶叶灰质间的CBV值的差异有统计学意义(P 值分别为0.003、0.001、0.001、0.000);小脑灰质与颞叶、枕叶、顶叶灰质的CBF值的差异有统计学意义(P 值分别为0.009、0.050、0.002);枕叶灰质与小脑、颞叶灰质的MTT值的差异有统计学意义(P 值分别为0.005、0.013。);(2)不同脑区灰质之间、白质之间的TTP值的差异均没有统计学意义。(3)不同脑区白质之间的CBV、CBF及MTT值在大多数脑区的差异都有统计学意义。(检验水准:双侧 $\alpha=0.05$)。**结论** 全脑CTP技术可以作为一种活体脑血流动力学测量的可靠的影像学方法。正常成人的大脑半球与小脑之间或同一脑区灰白质之间灌注状态不同。TTP值在不同的脑区或不同灰/白质中一致性最好;CBV及CBF值在大脑的各区域中有较好一致性,但是在小脑与大脑半球各脑区间差异存在统计学意义。

【关键词】X线计算机断层摄影;灌注;成年人

【中图分类号】R814

【文献标识码】A

【基金项目】2017年克拉玛依市创新人才工程科技项目(2017RC001 A-07)

DOI:10.3969/j.issn.1009-3257.2021.03.008

The Characteristics of CT Cerebral Perfusion Imaging in Normal Adult*

LIU Xin-li, LYU Xin-sheng*, ILIYASI, WANG Wen-tao, ZHAO Fang, ZHOU Hong-wei.

Department of Medical Imaging, Karamay Central Hospital, Karamay 834000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Abstract: Objective To investigate the cerebral blood perfusion characteristics in normal adults by whole-brain CT perfusion imaging (CTP). **Methods** 58 cases of brain CTP examination data were collected and analyzed, and each case met the criteria of normal adults. Four levels of perfusion images were selected from each case data, including the largest level of the cerebellum, the largest level of the occipital lobe, the basal ganglia level, and the semi-oval center level. The respective regions of interest (ROI) are marked in the gray matter and white matter of the bilateral frontal lobe, temporal lobe, occipital lobe, parietal lobe, and basal ganglia nucleus, then, perfusion parameters within each ROI were measured and quantified, including cerebral blood volume (CBV), time to peak (TTP), cerebral blood flow (CBF), and mean transit time (MTT) values. **Results** For normal adults, the regional cerebral blood flow (rCBV) value of the cerebellar gray matter was the highest, and the mean values of the left and right sides were (2.728 ± 0.5893) mL/100g and (2.740 ± 0.5374) mL/100g, respectively. There was no statistically significant difference in the Paired-Sample T-Test between the left and right brain regions' perfusion parameters (test criteria: bilateral $\alpha = 0.05$). In the Paired-Sample T-Test of cerebellar gray/white matter TTP, occipital gray/white matter CBF, and frontal ash/white matter MTT, there was no statistically significant difference between gray matter and white matter ($P=0.789, 0.385, 0.205$), and the differences of the parameters of the other groups corresponding to gray matter were statistically significant. According to the ANOVA and Multiple comparison results between gray matter and gray matter, white matter and white matter in different brain regions: (1)There was a statistically significant difference in CBV between cerebellum and frontal gray matter, cerebellum and temporal gray matter, cerebellum and occipital gray matter, and cerebellum and parietal gray matter ($P=0.003, 0.001, 0.001, 0.000$.); There was a statistically significant difference in CBF between cerebellum and temporal lobe gray matter, cerebellum and occipital gray matter, cerebellum and parietal gray matter ($P=0.009, 0.050, 0.002$.); There was a statistically significant difference in MTT between occipital lobe and cerebellar gray matter, occipital lobe and temporal lobe gray matter ($p=0.005, 0.013$.); (2)There was no statistically significant difference in TTP between gray matter and gray matter, white matter and white matter in different brain regions; (3)The CBV, CBF and MTT values between white matter and white matter in different brain regions were statistically significant in most brain regions (test criteria: bilateral $\alpha = 0.05$). **Conclusion** Whole brain CTP can be used as a reliable imaging method for living cerebral hemodynamic measurements. For normal adults, the state of perfusion between the Cerebral hemisphere and Cerebellum or between the gray matter and the white matter in the same brain region is different. The TTP value is the best among different brain regions and different gray/white matter; CBV and CBF values are well consistent in different regions of the brain. However, there are statistically significant differences between the cerebellum and the cerebral hemisphere.

Keywords: CT; Perfusion; Adult

脑CT灌注成像(CT perfusion, CTP)是一种反映脑组织血流灌注变化的影像技术。宽探测器的CTP检查可以覆盖全脑,在显示全脑组织血流灌注状态的同时获得4D CTA图像^[1]。目前,不同的设备或算法得到的参数值不尽相同,尚无公认

【第一作者】刘新立,男,副主任医师,主要研究方向:中枢神经系统及腹盆腔的影像诊断。E-mail: liuxinli-20080620@163.com

【通讯作者】吕新胜,男,主任医师,主要研究方向:中枢神经系统的影像诊断。E-mail: leroy817@163.com

的标准参数。据此,本研究纳入58例正常成年人的全脑CTP检查数据,分析脑灌注成像的特征,并对灌注参数进行定量分析。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集我院2017年6月至2018年9月间的179例全脑CTP资料,所有病例于CTP检查当天进行MR的T₂WI(Flair)及DWI两个序列的检查(均被告知并同意)。筛选出正常成年者资料58例,其中男32例,女26例。年龄37~79岁,平均年龄57.7岁。

1.2 检查方法 全脑CTP:使用东芝Toshiba Aquilion One 320排CT,扫描参数(80kV、150~300mA,动脉期管电流300mA),矩阵512×512,层厚0.5mm,Z轴覆盖16cm。以双筒高压注射器经右上肢静脉顺序团注非离子型对比剂[碘美普尔400(I)mg/mL,速率6.0mL/s]50mL及生理盐水40mL(速率5.5mL/s)。延迟7s开始多期动态扫描,动脉期间隔2s,静脉期间隔5s,获得19个时相的容积数据,总扫描时间约60s。

MR检查:使用美国通用(GE)1.5T MR扫描仪,行T₂WI(Flair)序列及DWI(b=0、1000)序列扫描。

颈部CTA:于MR扫描结束5分钟后扫描自主动脉弓至颅底。对比剂:碘美普尔[400mg(I)/mL]0.6mL/kg,注射速率4.0mL/s,触发阈值150HU。

1.3 图像处理 CTP:全脑CTP容积数据导入灌注后处理软件(4D Perfusion Vitrea fx),标记大脑中动脉为输入动脉,静脉窦为输入静脉,获得时间密度曲线(time-density curve, TDC);以奇异值分解法(singular value decomposition, SVD)自动生成脑血流量(cerebral blood flow, CBF)、脑血容量(cerebral blood volume, CBV)、毛细血管平均通过时间(mean transit time, MTT)以及达峰时间(time to peak, TTP)4个灌注参数的伪彩图。设定感兴趣区(ROI):以大脑纵裂为中线,镜像设置条形(宽度为15mm)脑灰质的ROI;选择四层目标层面:小脑最大层面、枕叶最大层面、基底节层面及半卵圆中心层面(见图1);手动勾画出脑白质、基底节灰质核团及背侧丘脑的ROI,尽量避免开血管、脑沟及脑室(见图2)。记录各ROI内的4个灌注参数值。

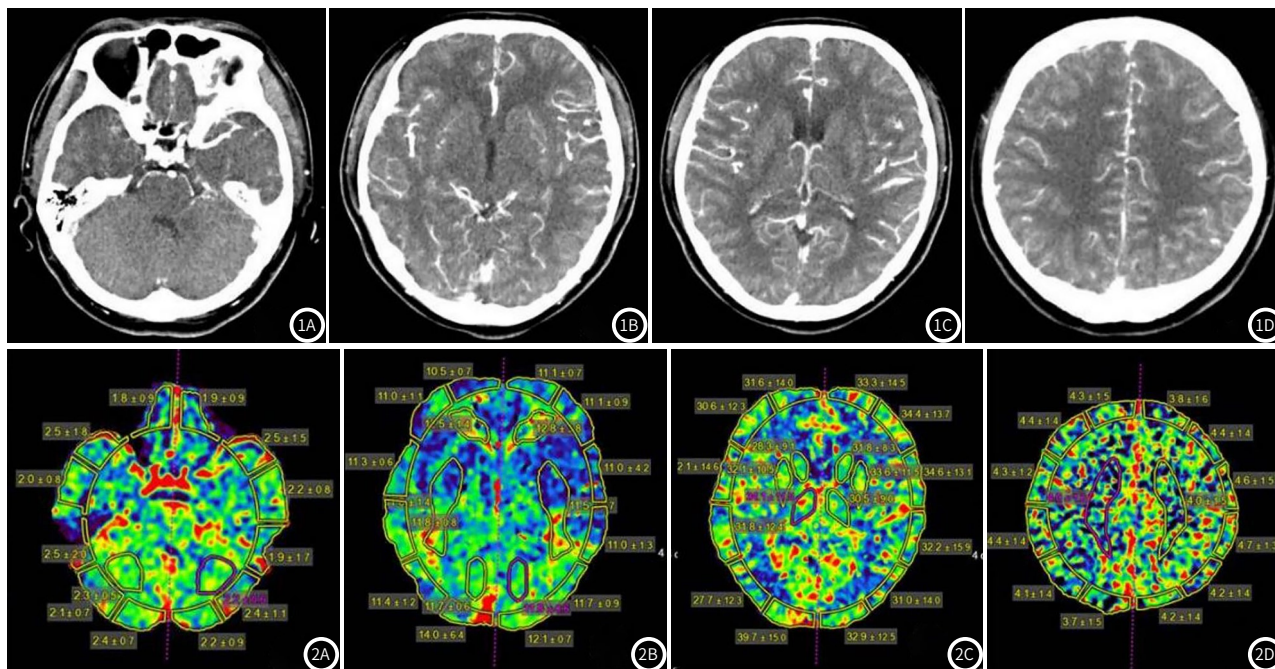


图1 为CTP所选层面:图1A为小脑最大层面;图1B为枕叶最大层面;图1C为基底节层面;图1D为半卵圆中心层面。每个层面均测量CBV、TTP、CBF及MTT4个灌注参数。**图2** 为同层面的ROI设定示意图:图2A为小脑灰白质的CBV;图2B为枕叶最大层面中大脑半球灰质及枕叶白质的TTP;图2C为基底节层面的大脑及基底核团及背侧丘脑的灰质的CBF;图2D为半卵圆中心层面中大脑半球灰质及半卵圆中心白质的MTT。

CTA:分别导入脑CTP及颈部CTA的0.5mm薄层图像进行血管减影及三维重组,获得头颈部最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、多平面重组(multiple planar reconstruction, MPR)、全脑4D CTA图像。

所有图像质量均满足评价的需要,分别由两位高年资影像专业的主治医师独立完成资料的评价,如有分歧协商解决。

正常成人资料的筛选标准:(1)以2000年日本卒中会议的慢性脑缺血的临床诊断标准^[2]排除慢性缺血性疾病。(2)以头颈部CTA图来排除头颈部血管疾病;血管评价参照北美症

状性颈动脉内膜切除试验法(north american symptomatic carotid endarterectomy trail, NASCET),狭窄率0%~29%为正常人的标准。狭窄率(%)=(D1-D2)/D1×100%;D2为最窄处血管直径,D1为远侧正常血管直径。(3)以脑MR图像排除缺血及梗塞病变;标准为:DWI图像上没有高信号;T₂WI(Flair)图像上没有异常信号,或有少许散在的,并且单个病灶小于3mm的局限性高信号。

1.4 数据处理 应用SPSS 20.0软件,先行数据的正态分布及方差齐性检验,数据表示为($\bar{x} \pm s$)。分析内容:(1)两侧对称脑区灰质与灰质、白质与白质的各灌注参数值的配对样本t检

验。(2)所有脑区对应的灰质及白质之间各灌注参数值的随机区组设计资料的方差分析,随后进一步对同一脑区灰质与白质之间进行两组间配对样本t检验。(3)不同脑区灰质之间、白质之间的各灌注参数值的单因素方差分析(方差齐时LSD法,方差差不齐时Tamhane法)。检验水准为P=0.05。

2 结果

纳入的58例资料中两侧大脑、小脑的灰质、白质,左右对应脑区(额叶、颞叶、枕叶、顶叶)的灰质、白质以及深部灰质核团、背侧丘脑的各参数均值见表1。

表1 不同脑区灰质及白质灌注参数均值

部位	CBV(mL/100g)	TTP[mL/(100g·min)]	CBF(s)	MTT(s)
小脑灰质	2.734±0.5615	14.754±3.4994	42.070±8.8021	4.051±0.5929
小脑左侧	2.728±0.5893	14.786±3.3395	42.103±8.4173	4.045±0.6070
小脑右侧	2.740±0.5374	14.722±3.6813	42.036±9.2444	4.057±0.5837
小脑白质	2.383±0.6022	14.783±3.0606	36.239±8.9824	4.195±0.6290
小脑左侧	2.395±0.6253	14.734±3.1235	36.324±9.5305	4.212±0.6728
小脑右侧	2.371±0.5834	14.831±3.0230	36.153±8.4815	4.178±0.5873
大脑灰质	2.528±0.4770	14.116±3.1929	39.923±8.6235	3.967±0.5919
额叶左侧	2.481±0.4803	14.250±3.4666	39.179±8.1373	3.976±0.6705
额叶右侧	2.469±0.5158	14.290±3.3642	39.545±9.0407	3.931±0.6059
颞叶左侧	2.455±0.3885	14.298±3.1288	37.623±8.9015	4.029±0.5840
颞叶右侧	2.491±0.4143	14.422±3.2219	38.716±8.7485	4.022±0.5255
枕叶左侧	2.431±0.4185	14.771±3.0995	38.817±6.7403	3.852±0.7052
枕叶右侧	2.505±0.4929	14.836±3.0773	39.340±7.7614	3.814±0.5243
顶叶左侧	2.455±0.4325	14.340±3.2076	37.888±7.8754	4.000±0.5709
顶叶右侧	2.429±0.4104	14.473±3.2538	38.079±7.1041	3.931±0.5225
左侧尾状核	2.591±0.5592	13.478±3.0123	42.076±10.2390	3.924±0.6700
右侧尾状核	2.588±0.5106	13.555±2.9861	40.836±9.2066	4.055±0.6634
左侧豆状核	2.705±0.5196	13.407±3.0703	42.126±8.8619	4.074±0.5751
右侧豆状核	2.641±0.5161	13.462±3.4293	41.666±8.7564	4.034±0.5904
左侧背侧丘脑	2.552±0.4620	13.976±3.1277	41.222±7.8193	3.950±0.4732
右侧背侧丘脑	2.607±0.4712	14.062±3.0993	41.814±9.7184	3.945±0.5592
大脑白质	1.919±0.6602	15.351±3.2713	31.599±9.5162	3.873±0.6606
额叶左侧	1.662±0.4920	15.271±3.2880	28.971±7.7053	3.790±0.6748
额叶右侧	1.595±0.3097	15.391±3.1757	28.095±6.5712	3.712±0.7150
颞叶左侧	1.948±0.4543	15.566±3.1736	31.134±7.2944	3.983±0.6671
颞叶右侧	2.010±0.4727	15.317±3.5990	31.864±7.0805	3.972±0.6515
枕叶左侧	2.600±0.7565	15.131±3.2955	40.257±11.5253	4.045±0.6267
枕叶右侧	2.605±0.7045	15.090±3.3418	39.728±10.0342	4.095±0.6482
左放射冠	1.452±0.2836	15.498±3.2079	26.121±6.3543	3.678±0.5855
右放射冠	1.479±0.2647	15.541±3.2329	26.624±6.0622	3.707±0.5920

注: CBV最大为小脑右侧灰质: (2.740±0.5374)mL/100g, 最小为左放射冠白质: (1.479±0.2647)mL/100g。

左右对应脑区间灰质与灰质, 白质与白质的配对t检验的参数比较结果见表2, 在双侧a=0.05的检验水准下, 对应脑区的4种参数的差异均无统计学意义。

不同脑区的灰质与白质之间评价: 先行随机区组设计资料的方差分析, 各参数结果见表3, 可以认为不同脑区的灰、白质之间的参数值不完全相同, 其中“不同脑区”因素对于TTP没有影响, “不同脑区”与“灰质/白质”两因素对于TTP也没有交互作用。

进一步分析每个相同脑区内的灰质与白质之间的差异,

分别对相同脑区内的灰质与白质的各参数进行配对t检验, 结果见表4, 除了小脑灰白质间的TTP值, 枕叶灰白质间的CBF值及颞叶灰白质间的MTT值以外, 其他各脑区的灰白质间的各参数值的差异均有统计学意义。

对不同脑区内的灰质与灰质之间、白质与白质之间的差异, 采用单因素方差分析并多重两两比较, 结果见表5, 小脑与大脑半球的各个脑叶之间的CBV值的差异均有统计学意义, 小脑灰质与大脑半球内除了额叶之外的各个脑叶灰质之间的CBF值的差异有统计学意义, 不同脑区内的灰质与灰质

之间，白质与白质之间的TTP值的差异均无统计学意义。

表2 左右对应脑区灰质与灰质、白质与白质间配对t检验结果

部位	CBV		TTP		CBF		MTT	
	t	P	t	P	t	P	t	P
小脑灰质	-0.219	0.827	0.378	0.707	0.086	0.932	0.200	0.842
小脑白质	0.594	0.555	-1.080	0.284	0.280	0.781	0.710	0.480
额叶灰质	0.356	0.723	-0.674	0.503	-0.718	0.475	0.908	0.368
额叶白质	1.220	0.228	-1.191	0.238	1.049	0.299	1.178	0.244
颞叶灰质	-0.871	0.387	-1.841	0.071	-1.031	0.307	0.143	0.886
颞叶白质	-1.533	0.131	1.447	0.153	-1.690	0.097	0.193	0.848
枕叶灰质	-1.473	0.146	-0.982	0.330	-0.807	0.423	0.495	0.623
枕叶白质	-0.089	0.929	0.471	0.640	0.704	0.484	-1.124	0.266
顶叶灰质	0.360	0.720	-1.785	0.080	-0.366	0.716	1.572	0.122
顶叶白质	-1.372	0.175	-1.038	0.304	-1.444	0.154	-1.300	0.199
尾状核	0.071	0.944	-1.581	0.119	1.814	0.075	-1.941	0.057
豆状核	1.466	0.154	-0.313	0.755	0.756	0.453	0.774	0.442
背侧丘脑	-1.597	0.116	-1.459	0.150	-0.876	0.385	0.111	0.912

注：检验水准 $\alpha=0.05$ 。

表3 小脑、额、颞、枕、顶叶各脑区灰白质随机区组检验结果

影响因素	CBV		TTP		CBF		MTT	
	F	P	F	P	F	P	F	P
不同脑区	31.893	0.000	0.089	1.000	16.282	0.000	3.898	0.000
灰质/白质	297.946	0.000	13.986	0.000	196.561	0.000	0.651	0.420
交互效应	20.381	0.000	0.662	0.744	9.739	0.000	3.275	0.001

注：交互效应为(不同脑区)与(灰质/白质)。

表4 小脑、额、颞、枕、顶叶对应灰质与白质配对t检验结果

部位	CBV		TTP		CBF		MTT	
	t	P	t	P	t	P	t	P
小脑灰白质	7.763	0.000	-0.268	0.789	11.389	0.000	-3.377	0.001
额叶灰白质	21.434	0.000	-8.100	0.000	16.699	0.000	4.807	0.000
颞叶灰白质	13.652	0.000	-8.046	0.000	9.980	0.000	1.274	0.205
枕叶灰白质	-2.014	0.046	-3.562	0.001	-0.873	0.385	-4.801	0.000
顶叶灰白质	30.774	0.000	-15.226	0.000	29.486	0.000	7.764	0.000

注：检验水准 $\alpha=0.05$ 。

3 讨论

CTP于1991年由Miles^[3]首先提出，以对比剂为示踪剂来获得组织的灌注信息，评价靶器官局部血流灌注的变化及其血流动力学的信息^[4]。主要的灌注参数有CBV、CBF、MTT及TTP，综合反映脑血流动力学的状态，帮助发现早期脑梗死病灶，了解其程度、范围，提高疾病诊断的准确性^[5]。

以往公认单光子发射计算机断层成像^[6](SPECT)的脑组织血流灌注值为正常值；相对于SPECT，CT设备更加普及，全脑CTP的Z轴覆盖更宽，检查速度更快，成像质量更高，但正常人群的CT灌注脑血流动力学研究的报道^[7]并不多见。由于CTP的X线辐射损害较大^[8]，用于正常人群违反医学伦理，因此，正常人群CTP资料的收集较为困难。本研究利用我院丰富的4D CTA病例数据，筛选出正常者而获得；过程中使用本

项目经费支持了当天的MR检查，并严格执行了患者知情同意的规定，通过了我院伦理委员会的审查。

研究正常人群CT灌注的特征不仅为了区分正常与异常，更重要的是确定恰当的异常灌注的阈值；由于个体、年龄等生理差异，以及不同的成像方法、计算模型等技术差异，灌注参数的绝对值的范围变化较大，实际应用时多采用患侧/对侧灌注参数的相对值^[9]。本研究结果显示，在左右侧对应脑区之间，各参数的差异均无统计学意义，这也是应用相对值所依据的理论基础。然而，本研究数据的某些值存在较大的标准差，比如两侧枕叶白质对应部位的CBV均数分别为2.600和2.605，但是其标准差为0.7565、0.7045；某些个例的对应数值差别也较明显，分析原因可能是血管结构变异而导致个体的侧支循环差异所致，TTP及MTT值更容易受影响^[10]，此时

表5 不同脑区灰质间及白质间单因素方差分析及多重比较结果

部位	CBV的P值		TTP的P值		CBF的P值		MTT的P值	
	灰质	白质	灰质	白质	灰质	白质	灰质	白质
不同脑区多组间	0.000	0.000	0.636	0.732	0.001	0.000	0.050	0.000
小脑与额叶	0.003	0.000	0.260	0.197	0.169	0.000	0.210	0.000
小脑与颞叶	0.001	0.000	0.360	0.122	0.009	0.000	0.747	0.010
小脑与枕叶	0.001	0.122	0.909	0.441	0.050	0.042	0.005	0.138
小脑与顶叶	0.000	0.000	0.421	0.083	0.002	0.000	0.272	0.000
额叶与颞叶	1.000	0.000	0.833	0.795	0.970	0.018	0.350	0.007
额叶与枕叶	1.000	0.000	0.215	0.604	1.000	0.000	0.120	0.000
额叶与顶叶	0.999	0.005	0.749	0.657	0.882	0.136	0.876	0.468
颞叶与枕叶	1.000	0.000	0.303	0.436	0.993	0.000	0.013	0.274
颞叶与顶叶	0.999	0.000	0.912	0.854	1.000	0.000	0.437	0.001
颞叶与顶叶	1.000	0.000	0.358	0.336	0.950	0.000	0.087	0.000

注：方差齐时LSD法，方差不齐时Tamhane法。

测量的相对值就存在偏倚。在临床工作中，还会遇到对应的两侧脑区都有病灶的情况，还有报道认为颈动脉内膜剥脱术后者不适合应用相对值测量^[11]。所以，正常人群脑灌注的特征仍然能为临床评价脑灌注异常提供参考。

脑灌注成像技术为明确不同脑区的灌注参数的特点及差异提供了证据。虽然各灌注参数还没有达成统一的阈值与标准^[12]，但是同一种灌注成像方法的结果仍然可以反映出不同脑区的灌注参数的特点及血流动力学的分布趋势。本研究资料显示，正常成人小脑灰质的区域平均脑血流量(rCBV)的均值最高，左右侧均值分别为(2.728±0.5893)、(2.740±0.5374)mL/100g，灰质的CBV及CBF均值大于白质，而灰质的TTP均值小于白质。在以双侧 $\alpha=0.05$ 的检验水准下，左右对应脑区的灌注参数的差异没有统计学意义。对于同一脑区的灰质与白质之间，小脑灰/白质的TTP、枕叶灰/白质的CBF及额叶灰/白质的MTT值的差异无统计学意义($P=0.789$ 、 0.385 、 0.205)，其余对应灰白质间的差异均有统计学意义。

不同脑区灰质的特点为：小脑灰质与大脑半球各叶灰质间的CBV值的差异有统计学意义($P<0.05$)；小脑灰质与除了额叶以外的大脑半球灰质的CBF值的差异有统计学意义($P<0.05$)；枕叶灰质与小脑、颞叶灰质的MTT值的差异有统计学意义($P<0.05$)，不同脑区灰质与灰质之间的TTP值的差异均无统计学意义。

不同脑区白质的特点为：不同脑区白质与白质之间的TTP值的差异均无统计学意义，而CBV、CBF及MTT值在大多数脑区的白质之间的差异都有统计学意义。可以认为，正常成人的大脑半球与小脑灰质或白质之间灌注状态不同。而TTP值无论在不同的脑区之间，还是在不同灰白质之间都有较好的一致性；CBV及CBF值在大脑半球的不同区域之间一致性较好，但是在小脑与大脑半球的脑区间存在差异。

全脑CTP可快速、无创地评价脑血流动力学变化，研究正常人脑血流灌注的特征有助于CTP技术的临床应用。然而

本研究有一定的局限性：首先，样本的年龄段主要为中老年，尚不确定能否代表青年人群中的脑灌注分布特征；其次，虽然有报道认为大龄人群的脑皮层CBF值会减小^[13]，但本研究样本量有限，没有进行年龄段分组及性别分组，这些因素对本研究结论是否有影响还有待于更大的样本量进一步研究。

参考文献

- [1] Kim D J, Krings T. Whole-brain perfusion CT patterns of brain arteriovenous malformations: A pilot study in 18 patients[J]. AJNR J Am Neuroradiol, 2011, 32(12): 2061-2066.
- [2] 近藤. 无症状性脑血管病変の对应颈动脉病変の治療[J]. 日内会杂志, 2000, 86(4): 781-785.
- [3] Miles K A. Measurement of tissue perfusion by dynamic computed tomography[J]. Br J Radiol, 1991, 64(761): 409-412.
- [4] Miles K A. Perfusion imaging with tomography: Brain and beyond[J]. Eur Radiol, 2006, 16(11): 37-43.
- [5] Koome M, Churilov L, Chen Z, et al. Computed tomography perfusion as a diagnostic tool for seizures after ischemic stroke[J]. Neuroradiology, 2016, 58(6): 577-584.
- [6] 高宙, 胡疏, 陈清, 等. 血管神经性头痛患者脑血流灌注影像特点及临床研究[J]. 罕少疾病杂志, 2010, 17(6): 1-4.
- [7] 赵静霞, 李春岩, 时高峰, 等. 正常成人多层螺旋CT灌注成像的脑血流动力学研究[J]. 中华放射学杂志, 2004, 38(3): 254-258.
- [8] Ringelstein A, Lechel U, Fahrendorf D M, et al. Radiation exposure in perfusion CT of the brain[J]. J Comput Assist Tomogr, 2014, 38(1): 25-28.
- [9] Duan Y X, Li G, Yang Y J, et al. Changes in cerebral hemodynamics after carotid stenting of symptomatic carotid artery[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(4): 744-748.
- [10] Shuaib A, Butcher K, Mohammad A A, et al. Collateral blood vessels in acute ischaemic stroke: a potential therapeutic target[J]. Lancet Neurol, 2011, 10(10): 909-921.
- [11] 朱远, 杨晓莹, 李智勇, 等. 颈动脉内膜剥脱术患者脑CT灌注变化情况研究[J]. 中华放射学杂志, 2018, 52(5): 363-368.
- [12] Bivard A, Levi C, Spratt F N, et al. Perfusion CT in acute stroke: a comprehensive analysis of infarct and penumbra[J]. Radiology, 2013, 267(3): 543-550.
- [13] Deverdun J, Akbaraly T N, Charroud C, et al. Mean arterial pressure change associated with cerebral blood flow in healthy older adults[J]. Neurobiol Aging, 2016, 46(10): 49-57.

(收稿日期：2020-05-13)