

# 交通拥堵对急救医疗服务时空可达性的影响 ——以广州市为例

陈建国<sup>1</sup>, 周素红<sup>1,3</sup>, 柳林<sup>1,2\*</sup>, 肖露子<sup>1</sup>, 宋广文<sup>1</sup>

(1. 中山大学地理科学与规划学院/综合地理信息研究中心, 广州 510275; 2. 辛辛那提大学地理系, 美国 辛辛那提 OH45221-0131; 3 广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室, 广州 510275)

**摘要:**时间是急救服务的敏感因素,急救服务设施可达性的时空差异对于评估急救设施的选址及急救服务调度的效率,解决公众急救医疗需求与供给之间的矛盾,辅助政府部门的决策都至关重要。交通拥堵是常见的城市问题,尤其是在城市中心区域更为明显,由于交通拥堵带来的时间滞后对急救服务产生的影响不容忽视。本文通过浮动车GPS大数据,分析交通拥堵对广州市中心城区急救医疗设施时空可达性的影响。结果表明:①在考虑道路实际通行状况的情况下,在交通高峰期,社区的急救医疗服务平均可达时间和最长可达时间分别比采用设计时速计算增加20%和25%。②可达性存在明显的时空差异。急救医疗服务可达性以急救医院为中心,沿着路网向四周呈现衰减趋势。急救医院布局较多、路网密集区域的可达性高,反之则低。交通拥堵对路网密集、行车规则设计复杂以及存在通过性交通流的地区影响显著。③对不同阻抗系数下可达性变化的敏感性分析,发现随着阻抗系数的增大,可达性变化的趋势有所放缓,紧急医疗服务可达性的分异变小;这一变化趋势在交通平峰期表现更为明显。因此,在研究城市中心区域急救医疗服务时,考虑交通拥堵对可达性的影响,需要构建基于实时交通状况的可达性评估模型,合理选择模型参数,优化实时急救医疗服务调度,提升急救服务的效率和质量。

**关键词:**急救医疗服务;时空可达性;浮动车;大数据;交通拥堵;广州市

## 1 引言

可达性在地理学、经济学和城市规划学等领域得到广泛应用,虽然对该词的解释各不相同,但其本质都一样,即在考虑交通成本的情况下,从一个地方到达另一个地方的难易程度(McGrail et al, 2009)。在可达性的研究中,交通成本通常被认为是影响服务设施潜在利用率的重要因素。交通成本高的区域可达性低,而交通成本低的地区可达性高。可达性的度量有多种方法,简单的有通行时间、行程距离等;复杂的度量指标不仅考虑空间邻

近性,还会考虑设施的可用性,如重力模型和两步移动搜索法等。无论是简单的还是复杂的度量指标,在大多数的可达性计算中都需计算设施与需求点之间的交通成本。

交通成本测算的方法很多,欧几里得距离由于简单易用且数据容易获取,因而是一种常用的交通成本度量指标(Burns et al, 1992; Phibbs et al, 1993; 尹海伟等, 2008)。以欧氏距离衡量交通成本是假设需求点和设施点都位于均质平原上,而实际上地理空间是非均质空间,空间上的人和物的流动大多是沿着道路网络而非直线距离。在城市复杂的道

收稿日期:2015-09;修订日期:2015-12。

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41531178);国家自然科学基金优秀青年基金项目(41522104) [Foundation: Key Program of National Natural Science Foundation of China, No.41531178; National Natural Science Foundation for Outstanding Youth, No.41522104]。

作者简介:陈建国(1980-),男,湖北松滋人,博士研究生,研究方向为时空可达性,E-mail: chenjianguosysu@163.com。

通讯作者:柳林(1965-),男,湖南湘潭人,教授,博士,主要从事犯罪空间模拟、多智能体模拟、GIS应用等方面研究,  
E-mail: liulin2@mail.sysu.edu.cn。

引用格式:陈建国,周素红,柳林,等. 2016. 交通拥堵对急救医疗服务时空可达性的影响:以广州市为例[J]. 地理科学进展, 35(4): 431-439.  
[Chen J G, Zhou S H, Liu L, et al. 2016. Estimating the effect of traffic congestion on accessibility to emergency medical care services: Take Guangzhou as an example[J]. Progress in Geography, 35(4): 431-439.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.04.004

路交通系统中,从需求点到设施点之间的直线距离与路网距离往往有较大差距,尤其是当路网存在单行道或者有限行措施时。随着地理信息系统的发展和个人电脑计算能力的提高,计算需求点和设施点之间沿道路网络的距离成为可能,以路网距离作为度量交通成本的指标在一定程度上提高了可达性计算的精确度(李小马等, 2009)。

与空间距离相比,时间距离与心理距离更接近。因此当顾客选择光顾哪个设施的时候,在不考虑设施差别的基础上,往往会选择出行时间最短的,而不是距离最近的。为使可达性更接近实际情况,时间距离作为交通成本引入到可达性计算中。要获取道路的实际通行时间是一项费时费力的工作,为了简化问题,研究人员通常采用各道路的限速速度(潘竞虎等, 2012)或根据道路的等级按设计速度计算路段的通行时间(靳诚等, 2009; 王姣娥等, 2012)。

无论是采用限速速度还是设计速度作为交通成本都有一个假设前提,即人或车在道路上的行进速度是固定的,按照道路的设计速度或限速速度通行(蒋海兵等, 2010; 邓羽等, 2012; 潘竞虎等, 2012),而这显然不符合交通网络的实际情况。城市交通系统的运行存在“潮汐”现象,即交通高峰期和平峰期,在不同交通时期,道路的拥堵状况不同,车辆的通行速度也不一样。同时由于人的日常活动存在一定的节律性,同样的道路在不同时间的交通量有明显差异,导致了道路通行速度的不同。相同等级的道路,在同一时刻、不同地点的通行能力也会不同。交通成本是一个对时间敏感的指标,它会随时间和地点的不同而差异显著。交通系统、土地利用类型和社会经济环境之间复杂的相互作用,使道路交通状况的时空动态性和时空异质性特征明显。传统的空间可达性研究缺乏对交通成本动态变化的考虑,而这种变化对时间敏感的服务至关重要,因此有必要在可达性的研究中增加时间维度即时空可达性。

120急救服务是医疗体系的重要组成部分。各种危重急症、意外伤害事故以及突发的灾难等,都需要专业医护人员尽快到达现场进行紧急救助,以维持伤病员生命体征的稳定,然后再转送相应的医院进一步诊治。救护车上的医用警灯和警报就是为了让救护车以最短的时间到达救助现场而采取

的措施(Shah, 2006)。研究表明,医护人员能在尽可能短的时间内赶到事发现场并采取相应的救助措施就可以显著提高患者的存活率(Blackwell et al, 2002; Pons et al, 2005)。因此,在研究医疗急救服务的可达性时,如果采用更精确的交通成本就可能对医疗服务效率和水平作出更准确的评价。

随着中国城市化进程的快速发展,大量的人口涌入城市,导致城市的规模不断扩大,城市交通需求量猛增。同时,由于社会经济水平的提高,中国机动车拥有量急剧增加,机动化出行的比例不断上升,导致城市交通问题日益突出,尤其是大城市交通拥堵非常严重。交通拥堵导致车辆在道路上并不能按设计速度行驶,其实际通行速度往往低于设计时速。因而采用设计时速会使可达性的估计产生偏差,但是偏差多大,在什么情况下偏差更严重,如何考虑偏差优化急救服务等问题,急需检验和回答。

随着无线定位和通讯技术的不断发展,基于GPS的浮动车能够实现全天候、大范围的动态交通信息采集,使得道路实际交通状况的可达性研究成为可能。目前浮动车GPS数据在交通和城市研究领域有着广泛应用,如交通事故自动监测(Thomas, 1998)、路网运行效率监控(Berkow et al, 2009)、人的出行行为分析(Liu et al, 2010; Liu et al, 2012)、城市医疗设施的服务范围研究(Ertugay et al, 2011)以及道路通行时间的估计(Van Lint, 2006; Liu et al, 2009; Jenelius et al, 2013)等。但已有研究主要集中在探讨交通状况或者公共服务供给问题(宋正娜等, 2009; 樊立惠等, 2015),缺乏考虑交通状况对公共服务供给,特别是公共服务可达性的影响,而这对于很多公共服务可达性尤其是对时间要求严格的急救医疗服务可达性很重要。本文以广州市中心城区120急救服务系统为例,利用GIS网络分析功能,基于浮动车行驶数据估算道路通行速度,分析交通拥堵对急救医疗设施时空可达性的影响。

## 2 数据与方法

### 2.1 研究区域

中心城区往往是交通条件最复杂、道路最拥堵的区域,因此,本文选取广州市内环以内的中心城区为研究对象,以社区居委会为基本空间单元进行

医疗急救服务时空可达性分析。首先,根据高德发布的《2014年第三季度中国主要城市交通分析报告》,广州市拥堵指数列全国第三,交通拥堵非常严重;其次,广州市120由急救指挥中心统一调度,以最短的时间到达病患者所在的位置是急救指挥的主要调度原则,在无特殊情况条件下,一般不考虑其他因素;第三,近年来,广州市大力发展智能交通系统,全市16000多辆出租车全部安装GPS定位系统,可比较准确地估计各路段在不同时间的行车速度。研究区域内共有360个社区,分属越秀区、荔湾区和海珠区等3个区管辖。

## 2.2 数据来源与预处理

### 2.2.1 120急救医院数据

根据广州市急救中心网站公布的数据,广州市共有58家120急救医院(不包括从化市和增城市),其中14家位于研究区内(图1)。该区域覆盖人口142万,占120医院总覆盖人口的18%,120医院数量占总量的24%。从医院分布来看,急救医院的数量并不少,但空间分布不均衡(图2)。在东部急救医院过于集中,最近的两家医院(广东省人民医院和中山大学附属第一医院)距离仅300 m,而中部缺少急救医院。这种空间格局的形成与广州市急救医院的遴选机制有关。广州市120网络医院并非由政府指定,而是由相关医院提出申请,通过卫生主管

部门评审,合格之后纳入120医院网络。各120急救医院所拥有的急救车数量由广州市急救医疗指挥中心提供。

### 2.2.2 GPS数据

为避开节假日和天气状况对GPS数据产生的干扰,通过查阅历史天气数据发现,2013年5月6-10日,广州市均为晴天且不包含可能引发道路通行特征变化的特殊事件和公众节假日,能够表征广州市道路通行的常态特征。因此,本文以该时间段广州市出租车的运行数据为基础,经过数据清洗、地图匹配,最后采用速度—时间积分模型或距离—时间积分模型(根据GPS点的采样间隔决定),参考曾伟良等(2013)的方法对广州市路网各路段的速度进行估计。以5 min为时间间隔估计路段的行车速度,即每条路段每5 min有一个行车速度估计值,根据各路段的通行速度得出路段通行时间。由于城市交通车存在潮汐交通流,同一路段不同方向的速度也有差异,如在早高峰时段,往城市中心区的方向比出城的方向行车缓慢。因此,所用的路段通行时间也是按行车方向有所不同。为分析急救医疗服务的时空可达性,对交通时段进行了划分,包括高峰时段(7:00-9:00)和平峰时段(13:00-15:00)。

### 2.2.3 其他数据

对急救医疗时空可达性的分析还需研究区域



图1 广州市内环以内120急救医院分布

Fig.1 Distribution of Emergency Medical Service (EMS) in Guangzhou



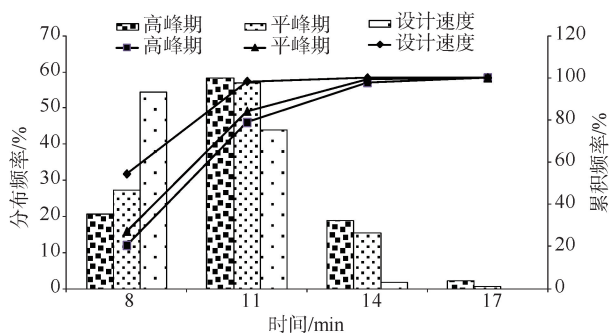


图2 急救服务时间分布

Fig.2 Travel cost distribution of Emergency Medical Service (EMS)

内各社区居委会的行政区划边界图和路网数据等。由于模型考虑了供需关系,因此人口的分布状况对可达性计算的结果有重要影响,本文的人口数据为广州市第六次人口普查数据。将以上空间数据都采用统一的空间坐标系统,用ArcGIS软件进行管理。

### 2.3 研究方法

Hansen 在 1959 年首次提出采用基于重力模型的方法度量空间可达性,并定义了设施的吸引力和交通成本的度量方式。Joseph 等(1982)在考虑供需的基础上改进了重力模型,并将其运用于基础医疗服务领域。此后,该模型在可达性的各个方向,包括就业 (Shen, 1998) 和医疗 (Yiannakoulis et al, 2013) 等都得到了广泛应用。根据广州市急救医疗中心提供的资料,各急救医院可供急救指挥中心调度的急救车为一台。当急救医疗指挥中心接到急救电话之后,就指派距离患者最近的急救医院出车救助,如果最近医院的急救车由于外出执行任务或维修不能出车,则安排距离患者第二近的急救医院出车,以此类推直到可以派出急救车。在理论上,当有医疗急救求助时,任何一家医院都有出车救助的可能。广州市急救医疗指挥中心的历史数据显示,实际运作过程中,在距离事发地点最近的前三个急救医院中通常都能派出急救车辆。因此,本文采用重力模型分析城市中心城区急救医疗时空可达性,其具体形式如下:

$$A_i = \sum_j \left[ \frac{G_j}{\sum_i \frac{P_i}{d_{ji}^\beta}} \right] \frac{1}{d_{ij}^\beta}$$

式中:  $A_i$  为社区  $i$  的可达性;  $i \in (1, \dots, 360)$ , 表示研究区域内的 360 个社区;  $j \in (1, \dots, 3)$ , 表示距离社区最近的 3 个急救医院;  $G_j$  表示急救医院的服务能力,这里为 120 医院所拥有的急救车数量;  $P_i$  为区域  $i$  内的总人口;  $d_{ij}$  和  $d_{ji}$  分别表示从社区到急救医院和从急救医院到社区的出行阻抗,在这里用出行时间表示;  $\beta$  表示出行阻抗系数。由于计算路段的通行时间考虑的行车方向,因此从社区到急救医院和从急救医院到社区的通行时间不同。

## 3 结果与分析

本文主要从以下两方面进行分析:交通拥堵对道路绝对通行时间的影响及对基于重力模型的时空可达性的影响分析。

### 3.1 交通拥堵对绝对通行时间的影响

根据《广州市社会急救医疗管理条例》的规定,广州市急救车出发时间为 6 min,即从接到急救电话到急救车出发只有 6 min。本文以 2 min 的道路通行时间为起点,将可达性分为 4 个级别,分别为 2、5、8 和 11 min,加上出车的准备时间 6 min 之后,分别为 8、11、14 和 17 min。分别统计不同交通成本下各社区到最近急救医院的时间。在设计速度的条件下,社区距离最近 120 医院的平均时间为 7.9 min,最长 11.9 min。内环区域内 95% 的居民距离最近的 120 医院为 10.8 min。在交通高峰期,广州市内环区域内 120 的平均可达时间为 9.5 min,最长时间为 14.9 min,与设计速度相比分别增加 1.6 min 和 3 min。内环区域内 95% 的居民距离最近的 120 医院为 14.4 min。在平峰时段,内环区域内的 120 平均可达时间为 9.2 min,最长时间为 14.2 min,与设计速度情况相比,分别增加 1.3 min 和 2.3 min。内环区域内 95% 的居民距离最近的 120 医院为 13.2 min。

从分布频率来看(图 2),不管在采用哪种速度计算,通行时间均在 8~11 min 分布最广;交通高峰期、交通平峰期和设计速度占全区总数的累积频率分别为 80%、84% 和 98%。从频率分布的整体走势来看,分布频率随时间的增长在数量上呈现“偏正态”的先上升后下降分布结构,在 14 min 以后下降趋势强烈。

从通行时间来看,采用道路设计速度计算的通

行时间会比实际通行时间少,但对于不同的交通时段来说,偏离的程度不同。从社区到最近 120 医院的平均时间来看,在平峰时段,采用设计时速计算所得的通行时间仅为实际道路通行时间的 85%;在交通高峰期,以设计速度计算从社区到达急救医院的最长时间为实际道路通行速度所计算通行时间的 80%。由于交通拥堵的存在,车辆不可能在道路上以设计速度行驶。以上分析表明,在计算道路的通行时间时不考虑交通状况会导致理论的道路通行时间少于实际通行时间,并且这种偏差在交通高峰期更为显著。

考虑道路的实际通行情况之后,在交通高峰期,急救医院到需求点的平均时间是不考虑交通状况时间的 1.85 倍。这与直觉相符,在城市中心区域,车辆的行车速度几乎不可能达到道路的设计速度。即如不考虑道路的通行条件,路网的通行时间会被低估。在院前急救时,越早将医生和医疗设备送到需求点越能更大限度地挽救病人的生命。是否考虑交通状况导致需求点和急救医院之间的通行时间有显著差异,因此在实际急救服务调度的过程中需要充分考虑道路的拥堵,合理调度急救车和规划行车路线。本文尚未考虑在不同交通状况下道路转弯和红绿灯处所需要的等待时间的区别,这种差异在交通拥堵的高峰期会更明显,亦即,在交通高峰期需要更长的转弯和交通信号灯等待时间,从而会导致在不同道路拥堵状况下交通时间的差异更大。

3.2 交通拥堵对可达性的影响

采用不同的道路通行速度计算所得的可达性之间不具可比性,本文根据需求点可达性的高低将需求点平均分成 4 个等级:第一等级(Q1)、第二等级(Q2)、第三等级(Q3)、第四等级(Q4),即可达性由高到低为:Q1>Q2>Q3>Q4。如表 1 所示,与设计速度相比,在高峰时段,有 206 个需求点的可达性等级未发生变化(57.22%),在平峰时段有 154 个需求点(42.78%)的可达性发生了变化。

图 3 显示了采用不同道路通行速度计算的各社区紧急医疗服务的可达性。由图 3 可知,可达性差的需求点在研究区的东北角分布较多,这可能与该区域 120 急救医院分布较少有关。由于路网形态和局部建成环境的影响,社区的急救医疗服务可达性以急救医院为中心,沿着路网向四周衰减。在 120

医院较为集中且路网密度高的区域,社区的可达性好;在 120 医院较少,同时路网较为稀疏的东北角和东南角,社区的可达性差。

图 4 为在不同速度计算方式下各社区相对可达性的变化情况。其中,黑色社区表示在考虑了道路的交通状况之后可达性等级降低的社区,白色社区表示可达性等级上升的社区,可达性没有发生变化的社区在图中未显示。此处的可达性变化是指社区在不同的道路行车时间的基础上,各社区急救医疗可达性位序的变化。因此,在考虑道路通行状况后,一些社区的可达性等级会由于其他社区可达性等级的降低而上升。

本文的研究重点不在于单个社区可达性的变化,而是交通拥堵对时空可达性空间格局的影响。采用不同的交通成本度量方式,急救设施在交通高峰期的可达性空间格局没有明显变化,但交通高峰期的可达性空间格局变化显著。图 4 中,研究区的西北部区域的急救医疗可达性对是否考虑交通拥堵不敏感,其他区域的可达性都在一定程度上受交通拥堵的影响。这种现象与城市的空间结构特征相吻合,可达性在城市支路较少、路网稀疏以及路网结构简单的区域受交通拥堵的影响小。造成这种空间格局的另一种可能的原因是可达性受交通状况影响严重的区域与海珠区交界,在交通高峰期会有大量的过境车流通过,导致行车缓慢,通行时间增加,区域的可达性降低。北部的中山路以北地区的部分社区急救医疗可达性在交通高峰期相对提升,主要是由于南部的社区可达性等级降低所致。

3.3 敏感性

在重力模型中 $\beta$ 是距离衰减系数或阻尼系数,用于表示距离对供给点和需求点之间相互作用力的大小。 $\beta$ 越大,表明距离的阻碍作用越大;反之亦

表 1 基于重力模型的时空可达性变化

Tab.1 Changes in gravity-based spatial accessibility quartiles

		高峰时段可达性				平峰时段可达性			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
设计速度 可达性	Q1	58	26	6	0	62	20	7	1
	Q2	22	39	24	5	17	40	26	7
	Q3	8	20	43	19	9	23	40	18
	Q4	2	5	17	66	2	7	17	64

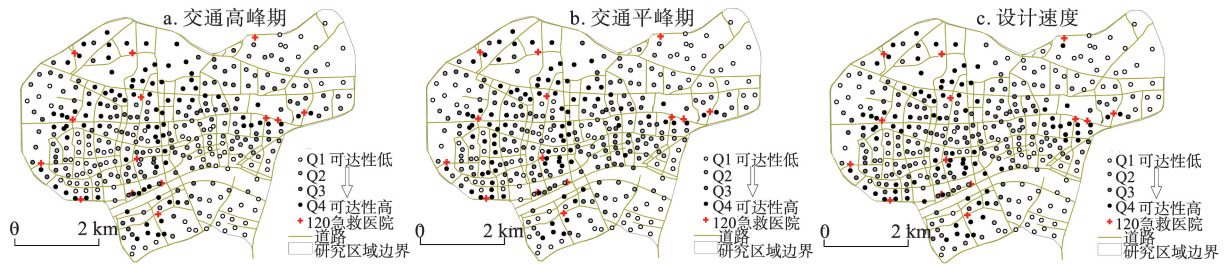


图3 EMS时空可达性等级分布

Fig.3 EMS spatial accessibility

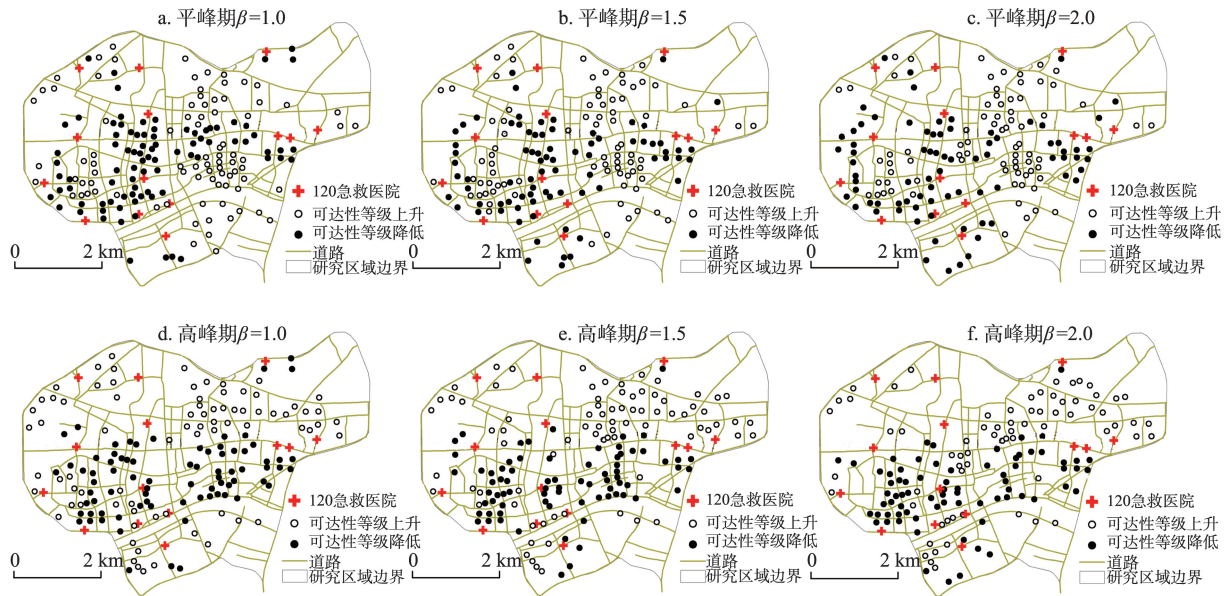


图4 不同阻抗下急救医疗服务时空可达性等级变化

Fig.4 Changes in Emergency Medical Service (EMS) spatial accessibility under different time impedances

然。在本文中的距离以时间距离度量。根据有关研究(Liu et al, 2012; Gao et al, 2013),在不同空间尺度下, $\beta$ 的取值范围不同。在城市内部,距离衰减系数通常为1~2。对不同的 $\beta$ 取值作敏感性分析的结果如图4和表2所示。

从可达性变化的社区数量上看,随着 $\beta$ 的增大,在交通平峰期,可达性等级发生变化的社区逐渐减少;在交通高峰期,可达性等级发生变化的社区变化不大。在考虑实际道路交通状况的基础上, $\beta$ 的取值对可达性的影响不大,但在不考虑拥堵的情况下,急救医疗可达性变化的社区会随着 $\beta$ 取值的增大而减少。在交通拥堵严重的交通高峰期,拥堵造成的时间滞后对 $\beta$ 的变化起到了平滑效果。

从可达性变化整体的空间格局来看, $\beta$ 的取值对急救医疗设施可达性的影响不明显(图4)。无论

表2 不同阻抗下可达性等级变化的社区数量

Tab.2 Number of census tracts of spatial accessibility change under different time impedances

	交通平峰期可达性			交通高峰期可达性		
	等级 升高	等级 不变	等级 降低	等级 升高	等级 不变	等级 降低
$\beta=1.0$	85	189	86	77	205	78
$\beta=1.5$	80	201	79	80	204	76
$\beta=2.0$	79	206	75	80	206	74

是在交通高峰期还是在平峰期,都是中山路以南地区的社区可达性等级降低而以北地区的可达性等级得以提升。随着 $\beta$ 值的增大,在中山路沿线可达性等级降低的社区数量逐渐减少,且在平峰期更为明显。中山路沿线的社区距离急救医院普遍较远,急救车到达这些社区的阻力较大,而这种情况又会



被交通拥堵带来的影响所缓和。

## 4 结论与讨论

可达性是经典的地理学研究问题,在可达性的研究中需要度量设施点与需求点之间的交通成本。欧氏距离、曼哈顿距离和网络距离是常用的交通成本测度指标,但人们选择光顾哪个设施往往是以交通时间作为重要的依据而不是路程,以时间测算交通成本更能符合设施选择的实际情况。在可达性研究中增加时间维度,发展时空可达性模型是可达性研究的趋势。本文由浮动车 GPS 数据估计道路的实时行车速度,并以此为基础分析了广州市中心城区的急救医疗时空可达性。对比分析了3种不同交通状况下各社区急救医疗服务时空可达性的变化。3种交通状况分别为:以设计时速行驶、交通高峰期和平峰期。主要结论如下:

(1) 从道路通行时间来看,在考虑了道路拥堵状况后,道路的通行时间有所增加,不同的交通时段,增加的程度不同。与采用设计速度相比,平峰期急救医疗服务的平均可达时间和最长可达时间分别增加了17%和19% (1.3 min 和 2.3 min),高峰期的平均可达时间和最长可达时间分别增加了20%和25% (1.6 min 和 3 min)。

(2) 急救医疗服务可达性以急救医院为中心,沿着路网向四周呈现衰减趋势。急救医院布局较多、路网密集区域的可达性高,反之则低。交通拥堵对路网密集、行车规则设计复杂以及存在通过性交通流的地区影响显著。

(3) 对不同阻抗系数下可达性变化的敏感性分析结果表明:随着阻抗系数的增大,可达性变化的趋势有所放缓,紧急医疗服务可达性的分异变小。这一变化趋势在交通平峰期表现更为明显。交通高峰期可达性变化的情况对抗阻系数不敏感。

对于时间就是生命的急救服务而言,考虑交通拥堵对其设施时空可达性的影响尤为重要。需构建基于实时交通状况的可达性评估模型,优化实时急救服务调度,提升服务效率和质量。本文未考虑各区域人口结构特征差异对急救医疗服务需求的影响,如在老年人口分布较多的区域和事故高发地区有更多的急救服务需求等。另外由于数据的限制,红绿灯对道路通行时间的影响也没有考虑。这

些社会经济因素与交通拥堵的耦合作用对时空可达性的影响还有待今后进一步的深入研究。

## 参考文献(References)

- 邓羽, 蔡建明, 杨振山, 等. 2012. 北京城区交通时间可达性测度及其空间特征分析[J]. 地理学报, 67(2): 169-178. [Deng Y, Cai J M, Yang Z S, et al. 2012. Measuring time accessibility with its spatial characteristics in urban areas of Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 67(2): 169-178.]
- 樊立惠, 蔺雪芹, 王岱. 2015. 北京市公共服务设施供需协调发展的时空演化特征: 以教育医疗设施为例[J]. 人文地理, 30(1): 90-97. [Fan L H, Lin X Q, Wang D. 2015. Spatial-temporal succession characteristics of public service facilities supply and demand coordinated development in Beijing: A case study of educational and medical facilities [J]. Human Geography, 30(1): 90-97.]
- 蒋海兵, 徐建刚, 祁毅, 等. 2010. 基于时间可达性与伽萨法则的大卖场区位探讨: 以上海市中心城区为例[J]. 地理研究, 29(6): 1056-1068. [Jiang H B, Xu J G, Qi Y, et al. 2010. The quantitative analysis of large scale supermarkets location based on time accessibility and Gasa rules [J]. Geographical Research, 29(6): 1056-1068.]
- 靳诚, 陆玉麒, 张莉, 等. 2009. 基于路网结构的旅游景点可达性分析: 以南京市为例[J]. 地理研究, 28(1): 246-258. [Jin C, Lu Y Q, Zhang L, et al. 2009. An analysis of accessibility of scenic spots based on land traffic network: A case study of Nanjing[J]. Geographical Research, 28(1): 246-258.]
- 李小马, 刘常富. 2009. 基于网络分析的沈阳城市公园可达性和服务[J]. 生态学报, 29(3): 1554-1562. [Li X M, Liu C F. 2009. Accessibility and service of Shenyang's urban parks by network analysis[J]. Acta Ecologica Sinica, 29(3): 1554-1562.]
- 潘竞虎, 从忆波. 2012. 中国4A级及以上旅游景点(区)空间可达性测度[J]. 地理科学, 32(11): 1321-1327. [Pan J H, Cong Y B. 2012. Spatial accessibility of scenic spot at 4A level and above in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 32(11): 1321-1327.]
- 宋正娜, 陈雯. 2009. 基于潜能模型的医疗设施空间可达性评价方法[J]. 地理科学进展, 28(6): 848-854. [Song Z N, Chen W. Measuring spatial accessibility to health care facilities based on potential model[J]. Progress in Geography, 28(6): 848-854.]
- 王姣娥, 胡浩. 2012. 基于空间距离和时间成本的中小文化

- 旅游城市可达性研究[J]. 自然资源学报, 27(11): 1951-1961. [Wang J E, Hu H. 2012. Accessibility of medium- and small-sized cultural tourist cities based on spatial distance and time cost[J]. *Journal of Natural Resources*, 27 (11): 1951-1961.]
- 尹海伟, 孔繁花, 宗跃光. 2008. 城市绿地可达性与公平性评价[J]. 生态学报, 28(7): 3375-3383. [Yin H W, Kong F H, Zong Y G. 2008. Accessibility and equity assessment on urban green space[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 28(7): 3375-3383.]
- 曾伟良, 何兆成, 沙志仁, 等. 2013. 结合卡尔曼滤波的城市路段速度估计[J]. 测绘科学, 38(1): 96-99. [Zeng W L, He Z C, Sha Z R, et al. 2013. Urban link speed estimation with Kalman filter[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 38(1): 96-99.]
- Berkow M, Monsere C M, Koonce P, et al. 2009. Prototype for data fusion using stationary and mobile data: Sources for improved arterial performance measurement[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2009: 102-112.
- Blackwell T H, Kaufman J S. 2002. Response time effectiveness: Comparison of response time and survival in an urban emergency medical services system[J]. *Academic Emergency Medicine*, 9(4): 288-295.
- Burns L R, Wholey D R. 1992. The impact of physician characteristics in conditional choice models for hospital care [J]. *Journal of Health Economics*, 11(1): 43-62.
- Ertugay K, Duzgun S. 2011. GIS-based stochastic modeling of physical accessibility using GPS-based floating car data and Monte Carlo simulation[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 25(9): 1491-1506.
- Gao S, Wang Y, Gao Y et al. 2013. Understanding urban traffic-flow characteristics: A rethinking of betweenness centrality[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(1): 135-153.
- Jenelius E, Koutsopoulos H N. 2013. Travel time estimation for urban road networks using low frequency probe vehicle data[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 53: 64-81.
- Joseph A E, Bantock P R. 1982. Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: A method and case study[J]. *Social Science & Medicine*, 16 (1): 85-90.
- Liu H X, Ma W. 2009. A virtual vehicle probe model for time-dependent travel time estimation on signalized arterials [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(1): 11-26.
- Liu L, Andris C, Ratti C. 2010. Uncovering cabdrivers' behavior patterns from their digital traces[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(6): 541-548.
- Liu Y, Kang C G, Gao S, et al. 2012. Understanding intra-urban trip patterns from taxi trajectory data[J]. *Journal of Geographical Systems*, 14(4): 463-483.
- McGrail M R, Humphreys J S. 2009. Measuring spatial accessibility to primary care in rural areas: Improving the effectiveness of the two-step floating catchment area method [J]. *Applied Geography*, 29(4): 533-541.
- Phibbs C S, Mark D H, Luft H S, et al. 1993. Choice of hospital for delivery: A comparison of high-risk and low-risk women[J]. *Health Services Research*, 28(2): 201-222.
- Pons P T, Haukoos J S, Bludworth W, et al. 2005. Paramedic response time: Does it affect patient survival[J]. *Academic Emergency Medicine*, 12(7): 594-600.
- Shah M N. 2006. The formation of the emergency medical services system[J]. *American Journal of Public Health*, 96 (3): 414-423.
- Shen Q. 1998. Location characteristics of inner-city neighborhoods and employment accessibility of low-wage workers [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 25(3): 345-365.
- Thomas N E. 1998. Multi-state and multi-sensor incident detection systems for arterial streets[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 6(5-6): 337-357.
- Van Lint J W. 2006. Reliable real-time framework for short-term freeway travel time prediction[J]. *Journal of Transportation Engineering*, 132(12): 921-932.
- Yiannakoulis N, Bland W, Svenson L W. 2013. Estimating the effect of turn penalties and traffic congestion on measuring spatial accessibility to primary health care[J]. *Applied Geography*, 39: 172-182.



## Estimating the effect of traffic congestion on accessibility to emergency medical care services: Take Guangzhou as an example

CHEN Jianguo<sup>1</sup>, ZHOU Suhong<sup>1,3</sup>, LIU Lin<sup>1,2\*</sup>, XIAO Luzi<sup>1</sup>, SONG Guangwen<sup>1</sup>

(1. School of Geography Science and Planning/Center of Integrated Geographic Information Analysis, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Department of Geography, University of Cincinnati, Cincinnati, Hamilton OH 45221-0131, USA; 3. Guangdong Key Laboratory for Urbanization and Geo-Simulation, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** Time is a sensitive factor in emergency medical service (EMS). The spatial and temporal differences of EMS accessibility are important for the assessment of siting of emergency facilities and the efficiency of emergency service dispatch. Traffic congestion is a common problem in the central areas of cities, and the impact of congestion on EMS accessibility cannot be ignored. In this study, the impact of traffic congestion on the temporal and spatial accessibility to EMS in the city of Guangzhou was analyzed by using the floating car data. The results show that: (1) During rush hours, the average and longest time between 120 hospitals and communities are 17% and 19% higher respectively than using standard road speed. (2) The accessibility of EMS to an emergency hospital as the center decays along the road network. The accessibility of EMS is high where the emergency hospital number is large and the road network is dense, and vice versa. The impact of traffic congestion on EMS accessibility is significant in areas where the road network and traffic rule are complex. (3) With the increase of time impedance, accessibility change slowed. This trend is more obvious in off-rush hours. Therefore, real-time traffic condition should be considered in research on EMS accessibility to optimize EMS scheduling and improve the efficiency.

**Key words:** Emergency Medical Service (EMS); spatial-temporal accessibility; floating car; big data; traffic congestion; Guangzhou City