

# 中东呼吸综合征疫情由韩国传入中国不同城市风险的回顾性评估与探讨

耿梦杰<sup>①†</sup>, KHAN Kamran<sup>②③†</sup>, 任翔<sup>①</sup>, GERMAN Matthew<sup>②</sup>, CREATORE Maria I.<sup>②</sup>,  
王丽萍<sup>①</sup>, 李中杰<sup>①</sup>, 高福<sup>④⑤⑥</sup>, 赖圣杰<sup>①⑦\*</sup>, 余宏杰<sup>①\*</sup>

① 中国疾病预防控制中心传染病预防控制处, 传染病监测预警中国疾病预防控制中心重点实验室, 北京 102206;

② Li Ka Shing Knowledge Institute, St. Michael's Hospital, Toronto M5B 1W8, Canada;

③ Department of Medicine, Division of Infectious Diseases, University of Toronto, Toronto M5B 1W8, Canada;

④ 中国科学院北京生命科学研究院, 北京 100101;

⑤ 中国科学院微生物研究所病原微生物与免疫学重点实验室, 北京 100101;

⑥ 中国疾病预防控制中心, 北京 102206;

⑦ Department of Geography and Environment, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, UK

\* 联系人, E-mail: yuhj@chinacdc.cn; laisj@chinacdc.cn

2015-10-21 收稿, 2016-01-10 修回, 2016-01-10 接受, 2016-03-08 网络版发表

国家杰出青年科学基金(81525023)、传染病监测预警重点实验室、国家科技重大专项(2012ZX10004-201)和加拿大卫生研究院项目资助

**摘要** 2015年5月20日, 韩国报告了首例实验室确诊的中东呼吸综合征(MERS)病例, 并发生了中东地区之外最大规模的MERS暴发疫情, 导致中国出现了由韩国传入的首例MERS病例。为了解中国不同城市的MERS疫情传入风险, 本研究分析了全球和韩国的MERS疫情流行情况, 并基于2014年6月韩国民用航空客运数据, 回顾性评估了韩国来华旅客的目的地城市和可能出现输入性疫情的相对概率。截至2015年9月2日, 全球26个国家共报告了1542例实验室确诊的MERS病例, 其中韩国报告185例。2014年6月从韩国离境的民航旅客为1978647人次, 其中697992人(35.3%)抵达中国内地和香港、澳门特别行政区。入境主要机场分布在上海、香港、北京和青岛等城市。假设韩国MERS疫情发生期间的人群出行模式与2014年6月相同且来自疫区的民航旅客人数与MERS疫情从韩国传入中国的可能性存在关联, 则韩国MERS暴发期间有1例MERS病毒感染者乘民航班机来华, 其出现在中国珠三角地区城市(香港、广州、深圳和澳门)的概率最高(23.2%), 其次为长三角地区(21.6%)以及北京周边(15.5%)和山东境内(12.2%)的城市。研究表明, 中国不同地区出现通过民航客运传入的MERS疫情的风险有所不同, 中国可有针对性地在重点入境口岸和主要目的地城市加强监测, 以尽早发现病例。

**关键词** 中东呼吸综合征, 传染病, 航线, 传入, 风险, 传播

中东呼吸综合征(Middle East respiratory syndrome, MERS)是由中东呼吸综合征冠状病毒(MERS-CoV)引起的人兽共患的呼吸道传染病。人群普遍易感, 起病急、病情进展迅速, 通常表现为肺炎等急性

呼吸道感染症状, 伴发热、咳嗽、气短, 报告病例的病死亡率约为36%<sup>[1,2]</sup>。2012年首次在沙特阿拉伯发现了MERS病例, 随后全球多个国家报告了多例本地感染或输入性病例<sup>[3~6]</sup>。目前, 多数MERS病例是由密

**引用格式:** 耿梦杰, Khan K, Ren X, et al. 中东呼吸综合征疫情由韩国传入中国不同城市风险的回顾性评估与探讨. 科学通报, 2016, 61: 1016-1024  
Geng M J, Khan K, Ren X, et al. Assessing the risk of MERS importation from South Korea into cities of China: A retrospective study (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 1016-1024, doi: 10.1360/N972015-01174

切接触导致的人际传播而感染,如在未采取有效个人防护的情况下照顾MERS患者等。医疗机构,尤其是在感染防控措施不到位的情况下,发生人间传播的可能性更大,目前已经出现多起在医疗机构发生的聚集性病例<sup>[7]</sup>。

过去1个世纪,随着现代交通工具的飞速发展和普及,大规模人口在全世界范围内快速流动,使很多国家面临着从流行地区传入病原体的威胁,例如,艾滋病、2003年严重急性呼吸综合征(severe acute respiratory syndrome, SARS)疫情、2009年甲型H1N1流感大流行、疟疾和登革热的跨国传播,以及2014年以来的西非埃博拉病毒病的传播与扩散<sup>[8~17]</sup>。MERS作为一种新发传染病,数年间已从中东扩散到其他国家,奥地利、法国、意大利等26个国家有报告病例<sup>[3]</sup>。2015年5~7月,韩国出现了MERS暴发疫情,其传染源是一名在中东旅行期间感染了MERS病毒的韩国患者,并导致中国出现了1例从韩国传入的MERS病例<sup>[6]</sup>。在此期间,泰国和菲律宾分别报告了从中东输入的MERS病例<sup>[4,5]</sup>。因此,MERS在全球可能造成更大范围的传播与扩散不可忽视,世界卫生组织(World Health Organization, WHO)呼吁各国应加强对MERS的监测与预警<sup>[4]</sup>。

随着中国经济发展,与各国在劳务、商务、留学教育等领域合作紧密,人员往来日益频繁,以往曾多次出现其他国家传染病输入中国的疫情<sup>[15,17~19]</sup>。利用国际民用航空客运数据和疫情数据,有助于预测其未来的传播扩散<sup>[20]</sup>,评估传染病的全球传播风险,能够对输入的高风险地区和目标人群采取更有效的监测策略,从而提高防控效果<sup>[8,16,21~23]</sup>。近年来,中国与韩国在旅游、文化交流、贸易等方面的合作日益密切,在韩国MERS疫情期间,中国出现了1例从韩国传入的经由香港到达中国内地的MERS病例<sup>[6]</sup>,但尚无研究定量分析韩国MERS疫情发生期间传播到中国境内的主要城市的风险。因此,本研究基于MERS疫情数据和国际航空客运数据,分析韩国来华旅客的人数、主要入境口岸和目的地,回顾性评估中国输入韩国MERS病例的风险,探索中国的高风险城市,为传染病跨国传播的防控与应对提供科学依据。

## 1 资料和方法

(i) MERS疫情流行概况分析。MERS病例数据来源于截至2015年9月2日WHO网站公布的各国根

据《国际卫生条例》(International Health Regulations, IHR)向WHO报告的MERS疫情数据<sup>[24]</sup>。本研究分析了2012年9月首次报告病例至2015年9月2日的MERS全球流行情况、分布和跨国传播情况,并绘制了2015年5~7月的韩国MERS疫情的流行曲线(区分存活和死亡病例)。

(ii) 韩国来华民航旅客人数和目的地分析。本研究的人口流动数据来自于国际航空运输协会(International Air Transport Association, IATA)的民用航空客运网络数据,该客运网络包含了全球约4000个机场和25000条航线<sup>[25]</sup>。由于韩国的MERS疫情主要发生在6月且2015年的客运数据尚无法获得,故本研究重点分析2014年6月韩国来华的客流情况,包括从韩国机场始发和转机抵达中国内地和香港、澳门特别行政区的旅客人数和目的地城市。此外,考虑到韩国不同城市人群来华目的地不同,本研究进一步分析了中国主要城市的韩国旅客来源城市。

(iii) MERS传入风险地区回顾性分析。基于韩国民航旅客来华不同目的城市的人数,评估当2015年6月有1例MERS病毒感染者从韩国离境来华(中国内地和香港、澳门特别行政区)时,出现在不同地区或城市机场的相对概率:(中国某一城市或地区抵达的韩国旅客人数/全部韩国来华旅客人数) $\times 100\%$ 。本研究的分析基于以下假设:韩国境内人群具有相同的感染MERS病毒的概率;乘机出境群体中感染者和未感染者个体到达同一目的地的概率相同;2014和2015年各月份韩国境内人群的民航出行概率和模式相同;研究期间疾病流行水平稳定;来自疫区的民航旅客人数与MERS疫情从韩国传入中国的可能性存在关联。本研究采用ESRI ArcGIS v10 绘制地图,用Microsoft Excel 2010 绘制流行曲线图。

## 2 结果

### 2.1 全球和韩国MERS疫情概况

截至2015年9月2日,全球26个国家共报告了1542例实验室确诊的MERS病例,病死率为35.3%(图1和2)。其中,沙特阿拉伯报告病例最多,为1195例(77.5%),其次为韩国185例(12.0%)和阿联酋81例(5.3%)。在26个国家中,6个国家已出现本地的病毒传播,20个国家(76.9%)仅报告了输入性病例。总体上,报告病例数有逐年增加的趋势,2012年报告9例,2013

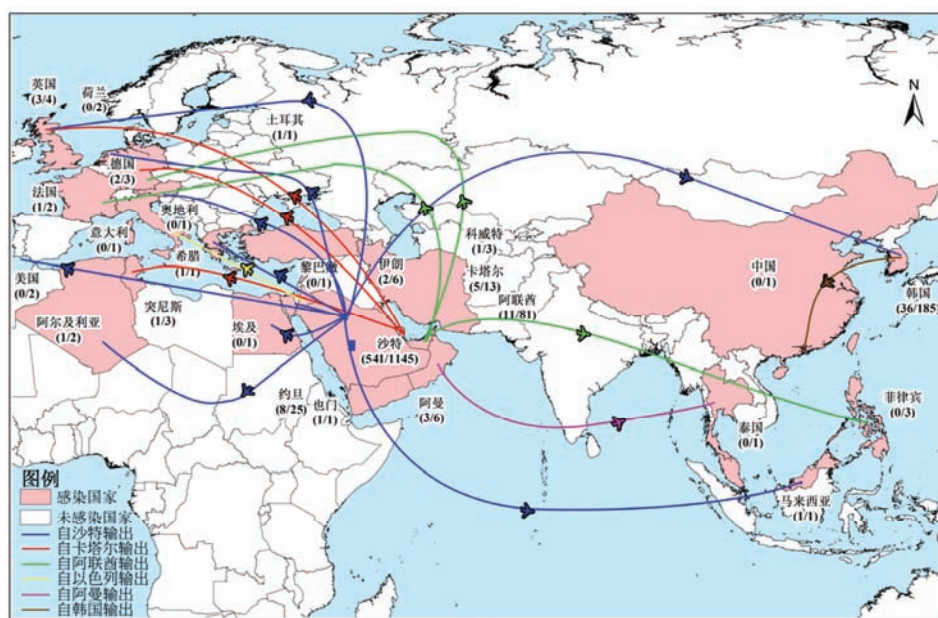


图1 (网络版彩色)全球中东呼吸综合征病例分布和传播示意图(截至2015年9月2日,  $n=1542$ ). 各国名称下方括号内数字表示死亡病例数/全部病例数  
**Figure 1** (Color online) The global Middle East respiratory syndrome cases and transmission (up to September 2, 2015,  $n=1542$ ). The figure in the brackets under the country is the death cases/the total cases

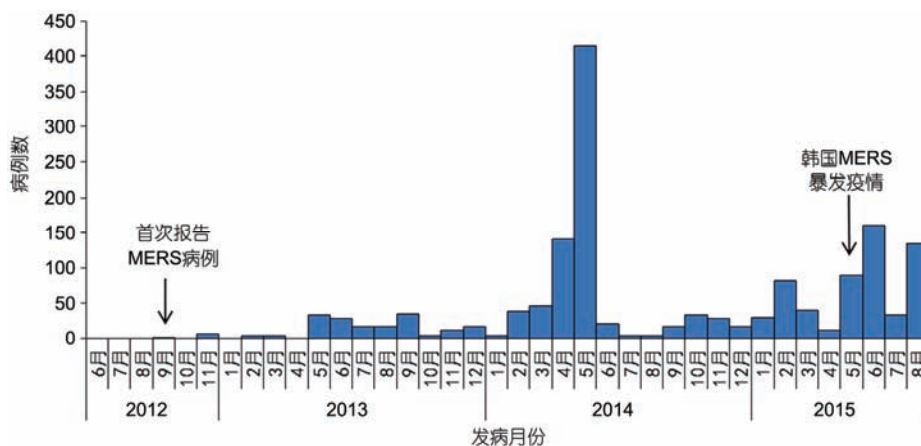


图2 (网络版彩色)全球中东呼吸综合征疫情时间分布(截至2015年9月2日,  $n=1542$ )  
**Figure 2** (Color online) The time distribution of the global Middle East respiratory syndrome (up to September 2, 2015,  $n=1542$ )

年168例, 2014年报告768例, 而2015年1月1日至2015年9月2日已报告了561例。2015年5月20日, 韩国报告了1起由输入性病例引起的MERS本地暴发疫情, 共确诊了185例病例, 报告病例的病死率为19.5%(图3)。此次韩国MERS疫情是沙特阿拉伯地区以外的最大规模MERS本地暴发。

## 2.2 韩国来华旅客人数

根据2014年6月的民航客运数据, 韩国离境民航

旅客人数共计1978647人, 其中前往西太区的旅客人数最多, 占72.9%(1442333人)。中国是韩国离境旅客的最主要目的地国家, 抵达中国内地和香港、澳门特别行政区的旅客共697992人, 占总人数的35.3%(图4)。其中, 来华入境旅客677663人(97.1%), 转机旅客人数为20329人(2.9%)。抵达旅客总人数最多和入境人数最多的前4个城市均为上海、香港、北京和青岛, 转机人数最多的前4个城市为延吉、上海、天津和香港(表1和图5)。飞抵上海、香港、北京和青岛的旅客

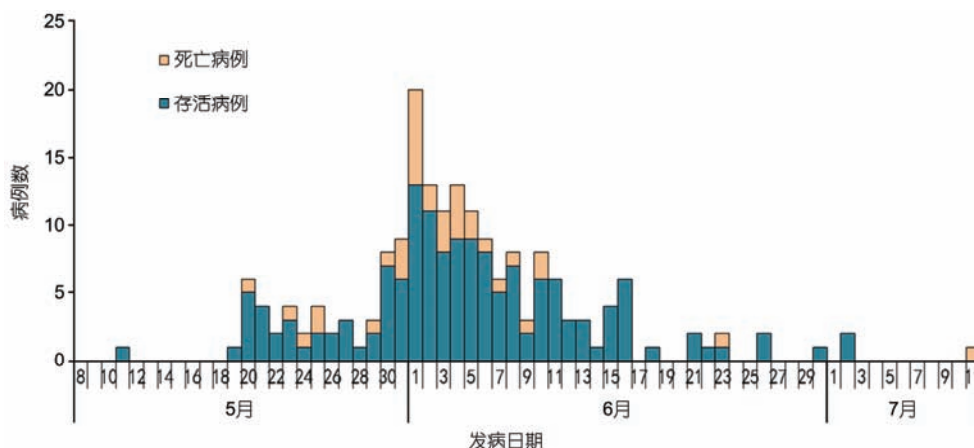


图3 (网络版彩色)2015年韩国中东呼吸综合征疫情时间分布(截至2015年9月2日,  $n=185$ ). 从2015年7月12日至9月2日, 未出现新发病例  
Figure 3 (Color online) The time distribution of Middle East respiratory syndrome in South Korea 2015 (up to 2 September 2015,  $n=185$ ). From July 12 to September 2 in 2015, there were no new cases

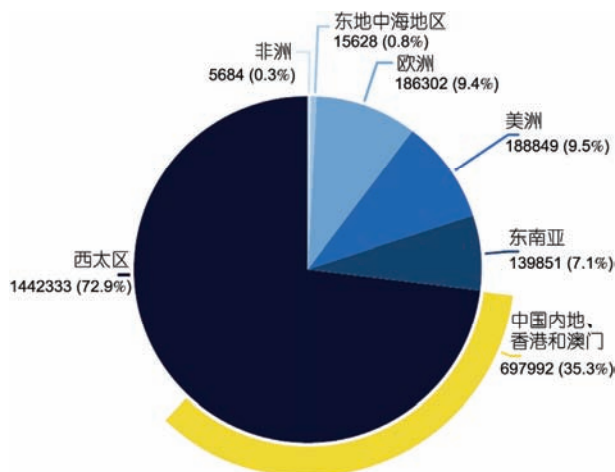


图4 (网络版彩色)2014年6月从韩国始发的旅客人数和目的地(按世界卫生组织6大区域划分,  $n=1978647$ )  
Figure 4 (Color online) Global final destinations of travellers from South Korea in June 2014 (by World Health Organization 6 regions,  $n=1978647$ )

(384510人)中, 97.5%在韩国的3个主要城市登机: 首尔(78.4%)、釜山(10.6%)和济州岛(8.5%) (表2)。

### 2.3 韩国MERS疫情输入的风险地区

根据来华旅客的区域分布(表1和图5)和本研究的假设, 若有1例韩国MERS病毒感染者乘民航航班来华时, 从中国珠三角地区输入的相对概率最高(23.2%), 包括香港(16.8%)、广州(3.0%)、深圳(1.8%)和澳门(1.6%); 其次, 为长三角地区的城市(21.6%), 包括上海(18.8%)和杭州(2.8%); 然后, 为北京周边

城市(15.5%, 北京和天津)和山东境内的城市(12.2%, 青岛、烟台和济南)。对于韩国来华旅客最多的4个城市(香港、上海、北京和青岛), 若MERS病毒感染者从韩国首尔登机, 则较大的概率抵达香港(34.9%); 若从韩国釜山登机, 则很可能出现在上海(30.4%)和北京(29.5%); 若MERS病毒感染者从韩国济州岛出发, 则较高的概率传入到上海(67.0%)(表2)。

## 3 讨论

MERS作为一种新发传染病, 自2012年9月出现首例病例以来, 报告病例数逐年增加且在全球有进一步传播扩散的趋势。韩国作为中国的近邻, 在旅游、文化交流、贸易等方面的合作日益密切, 人员来往非常频繁。本研究发现, 中国是韩国民航旅客最主要的目的地国家之一, 韩国来华人员的主要入境机场分布在上海、香港、北京、青岛等城市。回顾性分析发现, 基于来华旅客的区域分布和研究假设, 若韩国MERS病毒感染者飞抵中国, 出现在珠三角地区的概率最高(23.2%), 其次为长三角地区(22.3%)以及北京周边(15.5%)和山东境内的城市(12.2%), 并且不同地区的韩国旅客来源城市有所不同(表2)。实际上, 2015年5月在韩国尚未采取有力的疫情控制措施情况下, 中国珠三角地区出现了1例韩国MERS病毒感染者从首尔抵达香港, 再传入中国内地的案例, 进一步验证了本研究的结果。此外, 本文的分析方式和结果也可用于指导和评估韩国MERS及其他传染病传入中国的风险。



表 1 2014 年 6 月韩国旅客来华的主要城市和MERS输入相对概率

Table 1 Total direct and indirect travellers volumes from South Korea to China final destination cities, June 2014

| 城市 | 入境人数   | 转机人数  | 人数合计   | MERS输入相对概率(%) <sup>a</sup> |
|----|--------|-------|--------|----------------------------|
| 上海 | 129795 | 1111  | 130906 | 18.8                       |
| 香港 | 116205 | 1039  | 117244 | 16.8                       |
| 北京 | 80840  | 804   | 81644  | 11.7                       |
| 青岛 | 54224  | 492   | 54716  | 7.8                        |
| 天津 | 25772  | 1082  | 26854  | 3.8                        |
| 大连 | 26150  | 656   | 26806  | 3.8                        |
| 沈阳 | 25557  | 542   | 26099  | 3.7                        |
| 广州 | 20443  | 484   | 20927  | 3.0                        |
| 杭州 | 19211  | 460   | 19671  | 2.8                        |
| 烟台 | 18595  | 262   | 18857  | 2.7                        |
| 延吉 | 15556  | 2035  | 17591  | 2.5                        |
| 长春 | 15769  | 553   | 16322  | 2.3                        |
| 长沙 | 12887  | 276   | 13163  | 1.9                        |
| 西安 | 12215  | 477   | 12692  | 1.8                        |
| 南京 | 11989  | 578   | 12567  | 1.8                        |
| 深圳 | 12134  | 188   | 12322  | 1.8                        |
| 济南 | 12118  | 47    | 12165  | 1.7                        |
| 其他 | 68203  | 9243  | 77446  | 11.1                       |
| 合计 | 677663 | 20329 | 697992 | 100                        |

a) \*: 假设当月有1例MERS病毒感染者从韩国离境来华(中国内地和香港、澳门)时, 出现在中国不同城市机场的相对概率(中国某一城市或地区抵达的韩国旅客人数/全部韩国来华旅客人数)×100%)

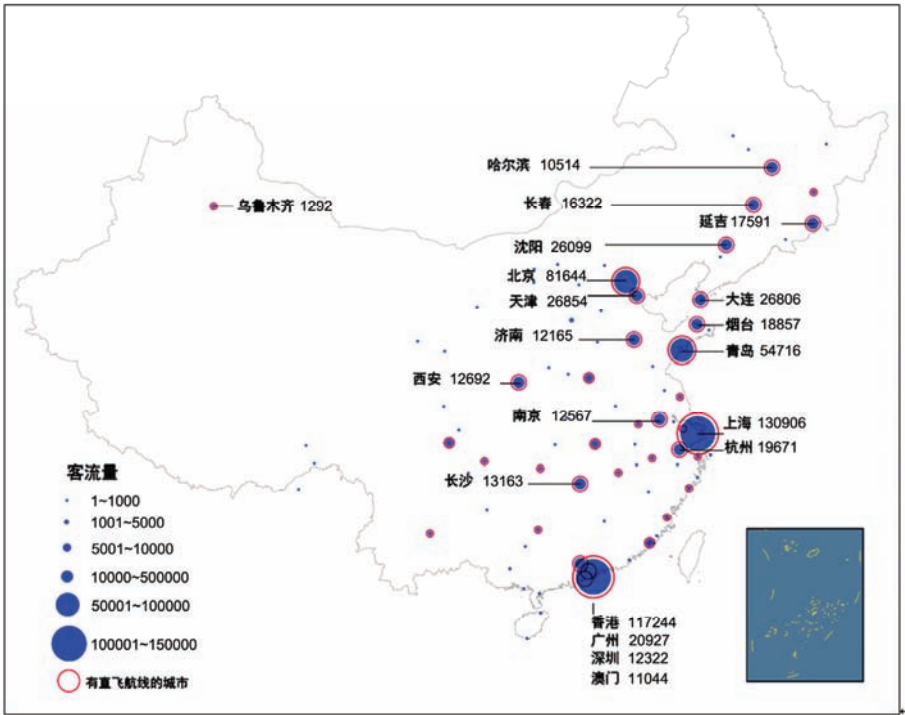


图 5 (网络版彩色)2014 年 6 月韩国旅客来华的目的地城市和人数

Figure 5 (Color online) Final destinations of travellers from South Korea in June 2014

表2 2014年6月来华韩国旅客的主要登机城市和入境城市  
Table 2 City of last transit or embarkation for travellers from South Korea into top China destinations cities, June 2014

| 登机城市  | 韩国来华旅客最多的4个城市 |        |       |       | 合计<br>(构成比%)  |
|-------|---------------|--------|-------|-------|---------------|
|       | 上海            | 香港     | 北京    | 青岛    |               |
| 韩国首尔  | 90959         | 105217 | 57202 | 47956 | 301334 (78.4) |
| 韩国釜山  | 12399         | 9628   | 12002 | 6703  | 40732 (10.6)  |
| 韩国济州岛 | 21940         | 1720   | 9086  | 0     | 32746 (8.5)   |
| 韩国大邱  | 2812          | 0      | 1540  | 0     | 4352 (1.1)    |
| 韩国务安郡 | 1903          | 0      | 760   | 0     | 2663 (0.7)    |
| 韩国清州  | 0             | 0      | 861   | 0     | 861 (0.2)     |
| 韩国襄阳郡 | 855           | 0      | 0     | 0     | 855 (0.2)     |
| 其他    | 38            | 679    | 193   | 57    | 967 (0.3)     |
| 合计    | 130906        | 117244 | 81644 | 54716 | 384510 (100)  |

为应对MERS疫情, 2012年以来中国已制定了相关的中东呼吸综合征疫情防控方案, 开展了实验室检测能力的储备和培训工作<sup>[2]</sup>, 要求做好口岸城市和往来韩国航班的中东呼吸综合征疫情防控工作<sup>[26,27]</sup>, 发布了关于防止中东呼吸综合征传入中国的公告<sup>[28]</sup>. 在韩国中东呼吸综合征确诊病例经香港机场到达深圳口岸入境广东省惠州市后, 中国相关机构迅速部署, 加强中东呼吸综合征口岸防控工作<sup>[29]</sup>. 对口岸发现的可疑病例及其密切接触者, 按规定采取相应处置措施, 加强可疑病例相关信息的报告工作; 对有症状者, 如果有疫情发生国家地区旅行史和中东呼吸综合征病例或疑似病例接触史, 应转交指定医院诊治<sup>[29]</sup>. 本研究表明, 出入境检验检疫部门和疾病预防控制机构可有针对性地在韩国来华旅客的主要入境城市和目的地城市, 如北京、上海、香港和青岛等重点城市或地区, 开展可疑病例和密切接触者的监测.

此外, 每年中国公民赴沙特朝觐人数较多, 中国与中东地区主要疫情发生地的人员往来频繁, 不能排除疫情再次输入中国的风险<sup>[18]</sup>. 虽然疫情的传播扩散情况难以被预测, 但是利用过去的疫情数据以及人群的流动数据可以评估疫情输入的高风险地区,

也可作为早期预警系统和控制措施的形成提供相关的基础和依据<sup>[16,19,20]</sup>.

本研究存在一定的局限性. (i) 由于无法获得旅客的人口统计学信息, 本研究假设所有人群的MERS病毒感染风险相同. 然而, 参与医疗救治、实验室检测、疫情控制以及在出现疫情的医院就诊的人群存在较高的感染风险. (ii) 限于不能及时获得最新客运量和航线数据, 本研究仅利用2014年6月的数据回顾性预测传入的风险, 可能无法反应实际动态变化的旅客情况, 而且感染MERS病毒的患者出行的概率与健康人群应该有所差异, 尤其是疫情中、后期, 当地政府加强了病例和密切接触者的隔离和病例救治, 有效控制了疫情扩散. (iii) 入境者与过境者感染风险可能有所差异, 但由于缺乏相关的研究数据, 故本研究未能在输入风险估计中赋予不同的权重, 并且中国与韩国无接壤且水路距离较远, 本研究亦尚未考虑陆路和水路来华旅客的情况. (iv) 由于目前未完全阐明MERS的重要流行病学特点和传播途径, 并仅发生了1起MERS输入中国的疫情, 故本研究未建立基于MERS传播动力学的疫情传入风险评估和定量验证模型.

## 4 结语

2015年韩国MERS疫情是在2012年9月MERS首次发现以来中东地区以外发生的最大规模的暴发<sup>[8,30,31]</sup>. 中国与韩国是近邻, 双方交流日益密切, 基于既往航空旅行数据, 本研究的回顾性评估结果表明, 中国是韩国民航旅客主要目的地国家, 若韩国MERS病毒感染者来华, 有较大可能性传入中国珠三角地区的城市、长三角地区和北京周边城市, 而2015年实际发生的输入性疫情亦一定程度上说明了该情况. 本研究采用的方法也适用于评估其他传染病输入风险, 通过加强与相关国家和组织的合作, 使中国有针对性地在几个较大的主要入境口岸和目的地城市开展高风险人群监测, 及早发现和降低国家间传染病的传播风险, 对指导疫情防控工作具有一定参考价值.

## 参考文献

- 1 World Health Organization (WHO). Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV). [2015-06]. <http://www.who.int/media-centre/factsheets/mers-cov/en/>
- 2 National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. The Notice about issuing the program of the pre-

- vention and control of Middle East respiratory syndrome coronavirus (in Chinese). (2nd ed). [2015-06]. <http://www.moh.gov.cn/jkj/s3577/201506/f47f22f52614406798df6363d3e2d199.shtml> [国家卫生和计划生育委员会. 关于印发中东呼吸综合征疫情防控方案(第二版)的通知. [2015-06]]
- 3 World Health Organization (WHO). Summary of current situation, literature update and risk assessment. [2015-07]. [http://www.who.int/csr/disease/coronavirus\\_infections/risk-assessment-7july2015/en/](http://www.who.int/csr/disease/coronavirus_infections/risk-assessment-7july2015/en/)
- 4 World Health Organization (WHO). WHO calls for stepping up vigil for MERS, Thailand confirms case. [2015-07]. <http://www.searo.who.int/mediacentre/releases/2015/1605/en/>
- 5 World Health Organization (WHO). Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV)—the Philippines. [2015-12]. <http://www.who.int/csr/don/08-july-2015-mers-philippines/en/>
- 6 World Health Organization (WHO). Summary and risk assessment of current situation in Republic of Korea and China. [2015-06-19]. [http://www.who.int/csr/disease/coronavirus\\_infections/risk-assessment-19june2015/en/](http://www.who.int/csr/disease/coronavirus_infections/risk-assessment-19june2015/en/)
- 7 Park H Y, Lee E J, Ryu Y W, et al. Epidemiological investigation of MERS-CoV spread in a single hospital in South Korea, May to June 2015. *Euro Surveill*, 2015, 20: 21169
- 8 Huang Z, Tatem A J. Global malaria connectivity through air travel. *Malar J*, 2013, 12: 269
- 9 Brockmann D, Helbing D. The hidden geometry of complex, network-driven contagion phenomena. *Science*, 2013, 342: 1337–1342
- 10 Centers for disease control and prevention. 2014 Ebola outbreak in West Africa-case counts. [2014-10-18]. <http://www.cdc.gov/vhf/ebola/outbreaks/2014-west-africa/case-counts.html>
- 11 WHO. Situation reports: Ebola response roadmap. [2014-11-14]. [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/143216/1/roadmapsitrep\\_14nov2014\\_eng.pdf?ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/143216/1/roadmapsitrep_14nov2014_eng.pdf?ua=1)
- 12 Khan K, Arino J, Hu W, et al. Spread of a novel influenza A (H1N1) virus via global airline transportation. *N Engl J Med*, 2009, 361: 212–214
- 13 Khan K, Memish Z A, Chhabra A, et al. Global public health implications of a mass gathering in Mecca, Saudi Arabia during the midst of an influenza pandemic. *J Travel Med*, 2010, 17: 75–81
- 14 Poutanen S M, Low D E, Henry B, et al. Identification of severe acute respiratory syndrome in Canada. *N Engl J Med*, 2003, 348: 1995–2005
- 15 Lai S, Hang Z, Zhou H, et al. The changing epidemiology of dengue in China, 1990–2014: A descriptive analysis of 25 years of nationwide surveillance data. *BMC Med*, 2015, 13: 100
- 16 Tatem A J. Mapping population and pathogen movements. *Int Health*. 2014, 6: 5–11
- 17 Li Z J, Yang Y C, Xiao N, et al. Malaria imported from Ghana by returning gold miners, China, 2013. *Emerg Infect Dis*, 2015, 21: 864–867
- 18 National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. The notice about further strengthening the treatment and prevention and control of the nosocomial infection of the Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV)(in Chinese). [2015-06]. <http://www.nhfpc.gov.cn/yzygj/s3593g/201506/406012948be04c738de7c04944786f0d.shtml> [国家卫生和计划生育委员会. 关于进一步做好中东呼吸综合征医疗救治和院感防控准备工作的通知. [2015-06]]
- 19 Lemey P, Rambaut A, Drummond A J, et al. Bayesian phylogeography finds its roots. *PLoS Comput Biol*, 2009, 5: e1000520
- 20 Tatem A J, Rogers D J, Hay S I. Global transport networks and infectious disease spread. *Adv Parasitol*, 2006, 62: 293–343
- 21 Zhang Q, Lai S J, Zheng C J, et al. The epidemiology of *Plasmodium vivax* and *Plasmodium falciparum* malaria in China, 2004–2012: From intensified control to elimination. *Malar J*, 2014, 13: 419
- 22 Lai S J, Miniota J, Wang L P, et al. Assessing potential airlines and the risk of Ebolavirus importation from west African countries into China (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2014, 59: 3572–3580 [赖圣杰, Miniota J, 王丽萍, 等. 西非埃博拉病毒病传入中国的可能航线和风险估计. 科学通报, 2014, 59: 3572–3580]
- 23 Bogoch I I, Creatore M I, Cetron M S, et al. Assessment of the potential for international dissemination of Ebola virus via commercial air travel during the 2014 west African outbreak. *Lancet*, 2015, 385: 29–35
- 24 World Health Organization. Emergencies preparedness, response. Coronavirus infections. [2015-09]. [http://www.who.int/csr/don/archive/disease/coronavirus\\_infections/en/](http://www.who.int/csr/don/archive/disease/coronavirus_infections/en/)
- 25 International Air Transport Association. 2013 annual review. [2014-10-18]. <http://www.iata.org/about/documents/iata-annual-review-2013-en.pdf>
- 26 General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. The Emergent notice about strengthening the prevention and control of the infectious diseases epidemiology of the port cities (in Chinese). [2015-05]. [http://www.chinacdc.cn/jkzt/crb/szkb\\_8131/jszl\\_2275/201506/t20150616\\_115948.htm](http://www.chinacdc.cn/jkzt/crb/szkb_8131/jszl_2275/201506/t20150616_115948.htm) [国家质量监督检验检疫总局. 关于切实加强传染病疫情口岸防控工作的紧急通知. [2015-05]]

- 27 Civil Aviation Administration of China. Strengthen the prevention and control of MERS on the flights coming from the Republic of Korea (in Chinese). [2015-06]. [http://www.caac.gov.cn/A1/201506/t20150612\\_78664.html](http://www.caac.gov.cn/A1/201506/t20150612_78664.html) [中国民用航空局. 加强往来韩国航班 MERS 疫情防控工作. 2015]
- 28 General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, and China National Tourism Administration. The notice about preventing the importation of the MERS (in Chinese). [2014-07]. [http://www.aqsiq.gov.cn/xxgk\\_13386/tsxx/bmts/201407/t20140715\\_417606.htm](http://www.aqsiq.gov.cn/xxgk_13386/tsxx/bmts/201407/t20140715_417606.htm) [国家质量监督检验检疫总局, 国家卫生和计划生育委员会, 国家旅游局. 关于防止中东呼吸综合征传入我国的公告. [2014-07]]
- 29 General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Strengthening the control and prevention of the MERS in port cities (in Chinese). [2015-05]. [http://bgt.aqsiq.gov.cn/zjxx/201506/t20150611\\_442173.htm](http://bgt.aqsiq.gov.cn/zjxx/201506/t20150611_442173.htm) [国家质量监督检验检疫总局. 加强中东呼吸综合征口岸防控工作. [2015-05]]
- 30 World Health Organization (WHO). Novel coronavirus infection-update. [2013-05-14]. [http://www.who.int/csr/don/2013\\_05\\_4\\_ncov/en/](http://www.who.int/csr/don/2013_05_4_ncov/en/)
- 31 World Health Organization (WHO) guidelines for investigation of cases of human infection with Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV). [2013-07]. [http://www.who.int/csr/disease/coronavirus\\_infections/MERS-CoV\\_investigation\\_guideline\\_ul13.df?ua=1](http://www.who.int/csr/disease/coronavirus_infections/MERS-CoV_investigation_guideline_ul13.df?ua=1)



# Assessing the risk of MERS importation from South Korea into cities of China: A retrospective study

GENG MengJie<sup>1</sup>, KHAN Kamran<sup>2,3</sup>, REN Xiang<sup>1</sup>, GERMAN Matthew<sup>2</sup>, CREATORE Maria I.<sup>2</sup>, WANG LiPing<sup>1</sup>, LI ZhongJie<sup>1</sup>, George Fu Gao<sup>4,5,6</sup>, LAI ShengJie<sup>1,7</sup> & YU HongJie<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Division of Infectious Disease, Key Laboratory of Surveillance and Early-warning on Infectious Disease, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China;

<sup>2</sup> Li Ka Shing Knowledge Institute, St. Michael's Hospital, Toronto M5B 1W8, Canada;

<sup>3</sup> Department of Medicine, Division of Infectious Diseases, University of Toronto, Toronto M5B 1W8, Canada;

<sup>4</sup> Beijing Institutes of Life Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

<sup>5</sup> CAS Key Laboratory of Pathogenic Microbiology and Immunology, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

<sup>6</sup> Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China;

<sup>7</sup> Department of Geography and Environment, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, UK

On May 20<sup>th</sup>, 2015, the Republic of Korea reported its first laboratory-confirmed case of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) infection, followed by the largest outbreak of MERS-CoV outside of the Middle East, which included a case imported from South Korea into China.

To understand the risk of MERS importation into China, we analyzed the epidemic situation of MERS globally, especially in South Korea, using the data of MERS cases notified to the World Health Organization. Then the volumes and travel destinations of passengers from South Korea to China were explored based on the historic flight itinerary data in June 2014. The relative probability of MERS importation from South Korea to cities in China was retrospectively assessed with the assumptions: (i) the same probability of MERS-CoV infection in the population of South Korea; (ii) an equal chance of traveling from South Korea to the cities in China between the infected and uninfected population; (iii) the same mobility pattern of air travelers in 2014 and 2015; (iv) the epidemic of MERS was stable during the study period in 2015; (v) the volume of air traveler from South Korea has a potential correlation with the importation risk of MERS-CoV from the Republic of Korea to China.

As of September 2<sup>nd</sup>, 2015, 26 countries have reported 1542 laboratory-confirmed MERS cases, including 185 cases in the Republic of Korea. In June 2014, a total of 1978647 passengers departed from the Republic of Korea by airplane, of which 697922 (35.3%) travelers arrived in the mainland of China, Hong Kong and Macao Special Administrative Region of China. The primary airports of entry into China were located in Shanghai, Hong Kong, Beijing, and Qingdao. With the assumptions of this study, if a passenger with MERS-CoV infection traveled from South Korea to China, there was a highest probability (23.2%) of entry into the cities in Pearl River Delta (Hong Kong, Guangzhou, Shenzhen and Macao) with a secondary probability to cities in Yangtze River Delta (21.6%), Beijing and Tianjin (15.5%), and cities in Shangdong province (12.2%). Among the four primary destinations (Hong Kong, Shanghai, Beijing and Qingdao) of the travelers from South Korea, the entry airport will be most likely located in Hong Kong (34.9%) for the case departing from Seoul, and Shanghai (30.4%) and Beijing (29.5%) for the infected passenger departing from Busan, and Shanghai (67.0%) if the case leaved from Jeju Island of South Korea. In reality, we found that Hong Kong was the entry point of the imported MERS case from Seoul of South Korea, then travelling to the mainland of China via ground transportations.

This study shows that there was a variable risk of MERS importation from South Korea into Chinese cities via commercial air travel, which can provide relative basis for assessing the high risk areas of the importation of MERS and the development of the pre-warming system and the control methods. China could heighten surveillance at the primary points of entry and leading destination cities of China, as a means to detect individuals with MERS-CoV infection at the earliest possible stage.

**MERS, infectious disease, airline, importation, risk, transmission**

doi: 10.1360/N972015-01174