

# 에볼라 바이러스의 전염경로와 공기 중 전파가능성에 대한 고찰

김윤희\*

사랑이 가득한 약국

(2015년 12월 22일 접수 · 2016년 5월 26일 수정 · 2016년 5월 27일 승인)

## A Study on the Transmission Route and the Potential for Transmission of Airborne Ebola

Yoon Hee Kim\*

Sarang-i Gadeukhan Pharmacy, Mapo-Gu, Seoul 03941, Republic of Korea

(Received December 22, 2015 · Revised May 26, 2016 · Accepted May 27, 2016)

### ABSTRACT

#### Keywords:

Ebola virus

EVD (Ebola virus disease)

Filoviridae

Transmission

Airborne

Ebola virus is a general term of viruses within the family Filoviridae, genus Ebolavirus. Cases of Ebola virus disease outbreaks have risen up to 18,000 as of December 2014 since the first outbreaks in 1976. It has been known that Ebola virus is spread through direct contact with the blood, secretions or bodily fluids of a person who is sick with or has died from Ebola. The virus in blood and body fluids can enter another person's body through broken skin or unprotected mucous membranes in. However, it is constantly claimed that Ebola virus could gain the ability to spread through the air. Large numbers of studies have proposed that Ebola virus could become airborne. The verification for the transmission is not clear yet. Therefore, the potential for airborne transmission could be considered. This study presents the transmission route of Ebola virus known as a widely-accepted theory and the result of experiments about the potential for airborne transmission, and finally addresses the question of whether it is appropriate for it to be regarded as a acceptable hypothesis.

### 에볼라 바이러스 개요

에볼라 바이러스는 마버그 바이러스(Marburg virus)와 함께 필로바이러스과에 속하는 단일가닥 RNA 바이러스이다. 에볼라는 1976년 아프리카 콩고민주공화국의 한 강에서 처음 발견되었고 바이러스의 이름도 그 강의 이름을 따서 불리기 시작했다. 에볼라 바이러스는 Zaire, Sudan, Cote d'Ivoire, Reston 등 5개 아종(subtypes)이 알려져 있고, 필리핀에서 기원한 Reston 아형을 제외하고 모두 아프리카에서 기원한 바이러스들이다. 현재 Reston을 제외한 나머지

4종의 에볼라 바이러스가 인간에게 질병을 일으키는 것으로 알려져 있다. 그중 최근 아프리카에서 발발한 에볼라 사태의 주종으로 지목되고 있는 Zaire 에볼라 바이러스는 출혈열을 일으키는 종들 중에 가장 독성이 강한 병원균이다. 보고에 의하면 이 바이러스에 감염되면 치사율이 90%에 이른다고 한다.<sup>1)</sup> 에볼라 바이러스로 인한 출혈열 유행은 대개의 경우 한 명의 초발 환자가 자연환경에서 동물 숙주로 부터 바이러스를 옮아온 뒤 직접적 접촉을 통해 주위의 사람들에게 바이러스를 전파하여 발생한다. 이 질환의 숙주는 아직 명확하게 확인되지 않았으나 과일박쥐가 숙주일

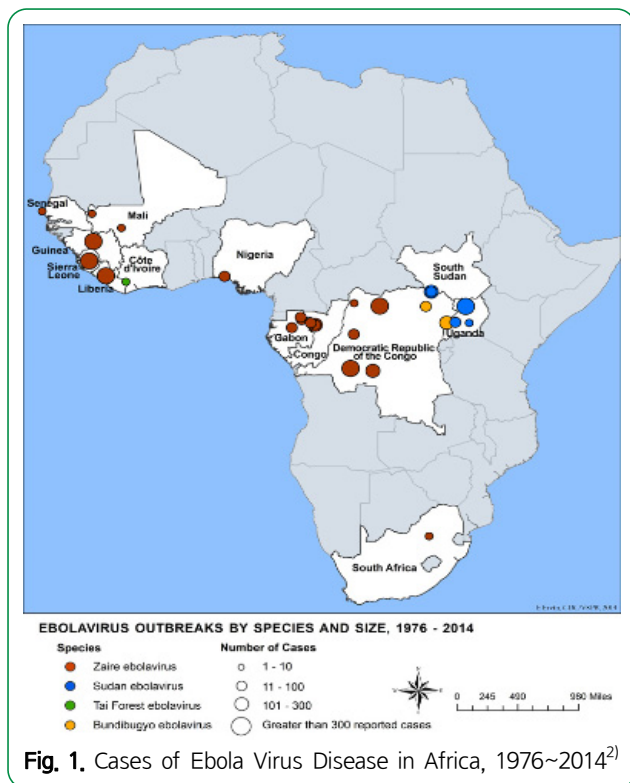


Fig. 1. Cases of Ebola Virus Disease in Africa, 1976~2014<sup>2)</sup>

가능성이 높은 것으로 보고되어 있다.

## 1. 에볼라 바이러스 발발의 역사

2014년 3월 서아프리카 기니에서 발열과 구토, 심한 설사를 하는 환자에게 에볼라 바이러스 질병이 확인되었다 (Fig. 1).

과거 에볼라 바이러스 질병은 대개 아프리카 중심부에서 발생하였고, 서아프리카에서는 1994년 Ivory Coast에서 단 한 명만이 발병한 적이 있다. 2014년 12월 현재 약 1만 8000명이 발병한 2014년 서아프리카 에볼라 바이러스 질병의 유행은 역사상 가장 큰 규모이다. 기니, 시에라리온, 라이베리아와 나이지리아의 라고스에서 발병이 확인되었으며, 초기 치사율은 약 60%였지만 국제적인 공조를 통해 현재는 치사율이 점점 줄어들고 있는 추세이다. 이번에 유행을 일으킨 에볼라 바이러스는 과거 아프리카 중심부에서 유행하였던 Zaire 에볼라 바이러스 아형으로 확인되었다 (Table 1).<sup>3)</sup>

## 2. 증상

초기 증상은 경미하고 독감과 비슷하다. 열, 인후통, 근육통으로 시작하여 구토, 설사, 피부발진으로 빠르게 진행된다. 증상의 시작은 대개 바이러스에 감염 후 2일에서 3

Table 1. Known Cases and Outbreaks of Ebola Virus Disease<sup>4)</sup>

Country	Town	Cases	Deaths	Species	Year
Dem. Rep. of Congo	multiple	66	49	Zaire ebolavirus	2014
Multiple countries	multiple	17942	6388	Zaire ebolavirus	2014
Uganda	Luwero District	6*	3*	Sudan ebolavirus	2012
Dem. Rep. of Congo	Isiro Health Zone	36*	13*	Bundibugyo ebolavirus	2012
Uganda	Kibaale District	11*	4*	Sudan ebolavirus	2012
Uganda	Luwero District	1	1	Sudan ebolavirus	2011
Dem. Rep. of Congo	Luebo	32	15	Zaire ebolavirus	2008
Uganda	Bundibugyo	149	37	Bundibugyo ebolavirus	2007
Dem. Rep. of Congo	Luebo	264	187	Zaire ebolavirus	2007
South Sudan	Yambio	17	7	Zaire ebolavirus	2004
Republic of Congo	Mbomo	35	29	Zaire ebolavirus	2003
Republic of Congo	Mbomo	143	128	Zaire ebolavirus	2002
Republic of Congo	Not specified	57	43	Zaire ebolavirus	2001
Gabon	Libreville	65	53	Zaire ebolavirus	2001
Uganda	Gulu	425	224	Sudan ebolavirus	2000
South Africa	Johannesburg	2	1	Zaire ebolavirus	1996
Gabon	Booue	60	45	Zaire ebolavirus	1996
Gabon	Mayibout	37	21	Zaire ebolavirus	1996
Dem. Rep. of Congo	Kikwit	315	250	Zaire ebolavirus	1995
Côte d'Ivoire (Ivory Coast)	Tai Forest	1	0	Tai Forest ebolavirus	1994
Gabon	Mekouka	52	31	Zaire ebolavirus	1994
South Sudan	Nzara	34	22	Sudan ebolavirus	1979
Dem. Rep. of Congo	Tandala	1	1	Zaire ebolavirus	1977
South Sudan	Nzara	284	151	Sudan ebolavirus	1976
Dem. Rep. of Congo	Yambuku	318	280	Zaire ebolavirus	1976

\*Numbers reflect laboratory confirmed cases only.

주 사이에 일어난다. 21일 이후에도 아무런 증상이 나타나지 않는다면 감염에서 벗어난 것으로 간주된다.<sup>5)</sup> 위장 관련 증상들(오심, 위통, 구토, 설사), 신경계통 증상들(두통, 극심한 피로감, 혼수), 호흡기 증상(기침, 호흡곤란), 그리고 저혈압이나 쇼크, 부종과 같은 심혈관계 증상도 함께 발생할 수 있다. 발병하고 5~7일째에 대개 구진 같은 피부 발진이 나타나고 이후에 피부가 벗겨지는데 이 시기부터 피부와 점막에서 출혈 경향을 확인할 수 있다. 회복하는 경우에는 발병 10~12일 후부터 열이 내리고 증상이 호전을 보일 수 있으나, 해열되었다가도 다시 발열이 재발하는 경우도 있다.<sup>6)</sup>

## 3. 병태생리학적 기전

에볼라 바이러스는 점막이나 손상된 피부조직에 접촉되어 감염된다. 일단 감염되면 내피세포, 간세포 그리고 대식세포나 단핵백혈구, 수지상세포와 같은 면역세포가 주 감

염 타겟이 된다. 바이러스에 감염되고 나면 면역세포가 바이러스를 림프노드 근처로 옮겨 거기서 증식이 일어나도록 하는데, 그곳으로부터 바이러스가 혈류와 면역계로 들어가게 되고 온몸으로 퍼지게 된다.<sup>7)</sup> 대식세포가 가장 먼저 바이러스에 감염되고 이것이 프로그램화된 세포의 죽음을 초래한다.<sup>8)</sup> 림프구와 같은 백혈구는 프로그램화된 세포의 죽음으로 혈액 내에 림프구의 비정상적인 저농도를 야기한다.<sup>7)</sup> 이것이 에볼라 바이러스에 감염된 사람의 면역 반응이 약해지는 원인이다. 에볼라 바이러스는 혈액을 타고 다른 장소로 이동할 때 대식세포에 의해 탐식된다. 그런데 에볼라 바이러스를 탐식한 대식세포는 혈액응고를 촉진하는 단백질을 분비해 전신의 혈관에 작은 혈전들을 형성하고 장기에 공급되는 혈액을 차단한다.<sup>1)</sup> 또한 대식세포는 다른 염증성 신호단백질과 NO (nitrous oxide)를 생성하는데, 이것들이 혈관 벽을 손상시켜 혈액을 누출시킨다. 이와 같은 혈관손상은 에볼라 출혈열의 주요 증상 중 하나이지만, 모든 환자들이 외출혈(눈, 코, 기타 개구부에서 피가 흘러나오는 것) 증상을 보이는 것은 아니다.

### 전염방식

에볼라 바이러스는 전염력이 매우 강하며 치사율도 매우

높다. 인간의 바이러스 최초 감염은 감염된 원숭이 또는 과일박쥐의 피나 체액에 접촉하여 전염되는 것으로 추정된다. 과일박쥐는 바이러스의 매개체이면서 증상이 나타나지 않은 채 전파시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 사람이 에볼라 바이러스에 감염되면(박쥐나 원숭이와 같은 바이러스를 보유한 동물을 통해 인간이 최초로 감염되는 것을 *spillover*라고 한다), 이후 사람들 사이의 전염이 가능해진다. 감염된 사람의 혈액이나 체액과 접촉(사망한 사람의 사체 포함)하거나 오염된 물체와의 접촉, 예를 들어 오염된 의료기기나 주사기 바늘과의 접촉을 통해 전염이 이루어진다. 체액이란 침, 객담, 토사물, 배설물, 눈물, 유즙, 소변과 정액 등을 포함한다.<sup>9)</sup> 따라서 장갑, 수술용 마스크, 보호복을 착용하지 않은 의료진 또한 질병에 감염될 수 있다. 질병에서 회복된 남성 생존자는 약 2개월 동안 정액을 통해 질병을 옮길 수 있는 것으로 알려져 있다.<sup>10)</sup> 그리고 환자가 회복되고 난 3개월 후에 정액에서 바이러스가 검출된 경우에 구강성교를 포함한 성교를 통해 바이러스가 전파될 수 있는지는 확실하지 않다. 따라서 에볼라에서 회복된 남성들의 경우 3개월 동안은 구강성교를 포함한 성교 행위를 피하는 것이 좋다.<sup>11)</sup> Fig. 2에서는 박쥐가 바이러스의 매개체이며 동시에 숙주임을 설명하고 있다. 현재까지 확인된 5개의 에볼라 바이러스 아류들 중 4개는 사람에게 전염이 가능하다(Fig. 2).

### Ebolavirus Ecology

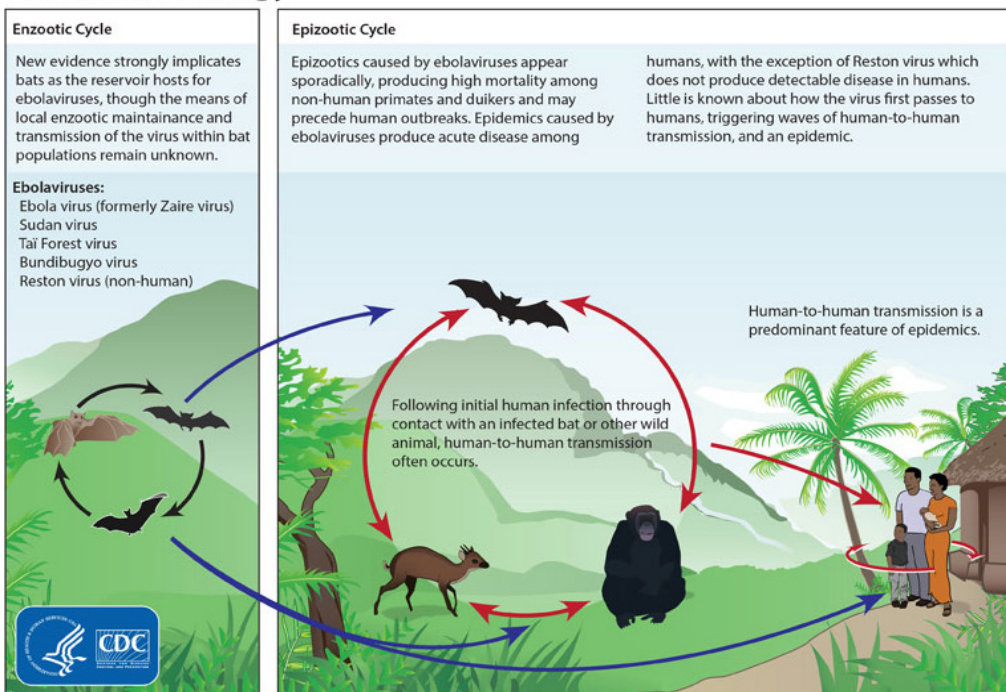


Fig. 2. Ebolavirus Ecology<sup>12)</sup>



이와 같이 직접적인 접촉(direct contact)을 통한 바이러스의 전염을 입증하는 많은 연구결과들이 나와 있다.<sup>13-19)</sup> 그 외의 전염경로에 대한 주장이나 가설 또한 지속적으로 제기되고 있는데, 그 중 하나가 수중 전염 가능성이다.

에볼라 바이러스는 다른 바이러스와는 달리 숙주 외부에서 견딜 수 있는 시간이 짧다. 겨우 몇 시간 정도인 것으로 보인다.<sup>20)</sup> 에볼라 바이러스는 높은 나트륨 농도를 지닌 체액에서만 적응할 수 있는데 생체의 나트륨농도에서 벗어나면, 예를 들어 생수나 수돗물에서는 겨우 몇 분 안에 파괴된다고 알려져 있다.<sup>22)</sup> 이점이 에볼라 바이러스가 수중 전염의 가능성이 희박하다는 가설의 주요 근거이다.

### 공기 전염 가능성

공기를 통한(airborne) 에볼라 바이러스의 전파에 대한 가설들이 있지만 인간 대 인간의 공기 전염에 대해 검증된 결과는 없다. 공기 중 전염이 되지 않는다는 가설의 주요 근거는 바이러스가 영장류의 폐와 호흡기에서 낮은 농도를 보이기 때문에 이것이 새로운 감염을 일으키기에는 부족하다는 점이다.<sup>21)</sup> 연구에 의하면 돼지에서 영장류로는 직접적인 접촉 없이도 전염이 가능한데 이것은 에볼라 바이러스가 사람이나 영장류와는 달리 돼지에 있어서는 혈류가 아니라 폐에서 높은 농도로 존재할 수 있기 때문이다.<sup>22)</sup> 하지만 실험실 환경에서 돼지 외 동물들 사이에서도 공기로 이동하는 입자들(airborne particles)에 의해 전염될 수 있다는 여러 연구 결과들이 있다.

한 실험에서는 닫힌 상자 안에 동물의 머리를 집어넣고 상자 안에 에볼라 바이러스가 있는 에어로졸을 분무해서 동물이 바이러스에 감염된 것을 확인했다.<sup>23,24)</sup> 또 다른 실험에서는 한 우리에 근육주사를 통해 바이러스를 감염시킨 원숭이를 놓고, 3미터 떨어진 곳에 있는 우리에는 감염되지 않은 붉은털 원숭이를 두었는데, 실험 결과 두 우리에 있는 붉은털 원숭이들이 모두 바이러스에 감염된 것을 확인했다. 바이러스를 접종한 원숭이는 22일 만에 죽었고, 3미터 떨어진 곳에 있던 붉은털 원숭이 중 한 마리는 접종 원숭이가 죽은 지 10일 만에, 또 다른 붉은털 원숭이는 그 다음날 죽었다. 죽은 원숭이들은 대식세포와 섬유화된 혈전에 많은 양의 에볼라 바이러스 항체 물질을 가지고 있었다. 간, 비장, 림프노드, 부신수질, 소장과 신장에는 더 많은 양의 세포외, 세포내 에볼라 바이러스 항체를 확인할 수 있었다(Fig. 3). 붉은털 원숭이의 폐간질과 폐포 격벽에서 매우 짙은 항체 양성반응이 있었고, 기관지 상피와 폐포 대식세포 그리고 혈관내 섬유 혈전에서는 가끔 양성 반응이 보였다

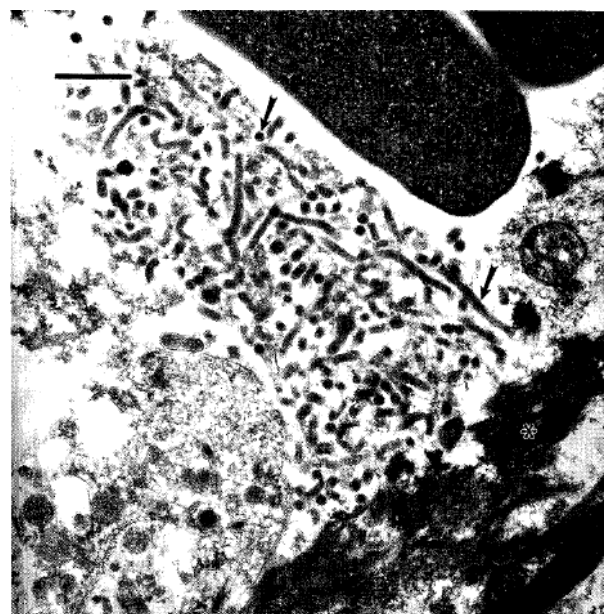


Fig. 3. Monkey spleen aggregate of Filovirus particles<sup>26)</sup>

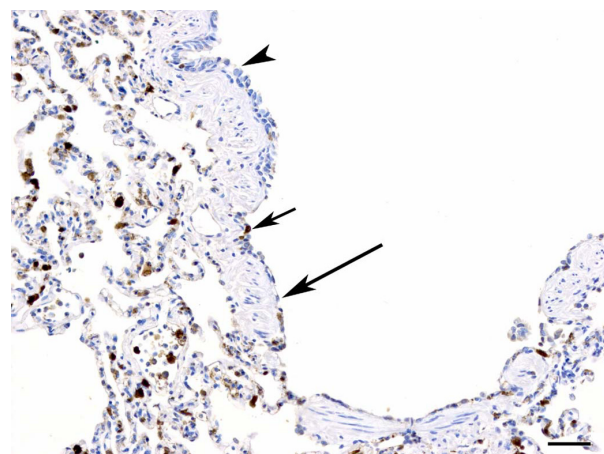


Fig. 4. Segmental attenuation and loss of respiratory epithelium in the bronchiolar wall (large arrow) with some areas of the lungs relatively unaffected (arrowhead). Immunostaining for Ebola virus antigen was detected in occasional respiratory epithelial cells (small arrow) as well as within alveolar and septal macrophages<sup>27)</sup>

(Fig. 4). 이런 패턴은 원숭이가 에어로졸화된 에볼라 바이러스에 노출되어 감염된 것으로 보는 의견과 일치한다. 저자들은 논문에서 formit (비생체 접촉 매개물 - 바이러스를 옮길 수 있는 무생물체)이나 접촉을 매개하는 작은 물방울로 인한 전염의 가능성은 매우 낮고 airborne 전염일 가능성이 매우 높다고 주장했다.<sup>25)</sup>

한 연구에서는 기니피그를 이용해 바이러스의 전파모델



**Fig. 5.** The experiment within a ventilated cage system. Infected animals were placed on the left side, and naive animals were on the right side. Airflow was from the left to the right.<sup>29)</sup>

(transmission model)을 제안하고 이 모델을 이용해 바이러스 확산 메커니즘을 제시했다. 이 연구에서는 감염된 폐와 기관들에 대한 현미경 실험과 생존율 데이터 분석을 통해 기니피그의 점막감염이 에볼라 바이러스의 전이에 대한 효과적인 모델임을 보였고, 이를 통해 직접 접촉 없이도 바이러스의 전이가 가능함을 보였다(Fig. 5).<sup>28)</sup>

Airborne 전염의 가능성을 암시하는 바이러스 발발 지역에 대한 조사 결과도 있다. 이에 따르면 어떤 감염 환자들은 다른 감염 환자와의 직접적인 접촉 없이 감염되었다고 한다. 특히 에볼라가 발발한 아프리카 콩고의 Kikwit 지역에서 316명의 감염 환자들 중 12명은 기존 감염 환자들과의 위험한 접촉 없이 감염된 것으로 파악되었다.<sup>30)</sup>

미네소타 대학에서 감염병 연구 정책 센터 과장인 Michael Osterholm 박사는 2014년 9월 11일자 뉴욕타임즈를 통해 “에볼라 바이러스는 비록 지금은 직접 접촉으로 체액을 통해서만 전염되나 (나중에는) 변이를 통해 공기 전염이 가능한 바이러스가 될 수 있다”며 에볼라 바이러스의 airborne 전염가능성을 제시했다.<sup>31)</sup>

또한 2014년 8월에는 중국 무장경찰종합병원 응급구조의 학센터 주임인 왕리샹이 “에볼라 바이러스의 전염 경로가 완전하게 밝혀지지 않은 상황에서 몇 가지 공기 전염 가능성이 있다”고 주장했다. 왕 주임은 “공기 중에 떠다니는 작은 물방울이 공기 전염의 매개체이며 기침, 재채기, 대화 등을 통한 분비물이 감염을 일으킬 수 있다”, “마른 단백질과 병원체가 결합된 미세한 핵이 공기 중에 있는 기체에 붙어 떠돌아다니며 바이러스를 전염시킨다”, “과거 사스(SARS-중증급성호흡기증후군)처럼 에볼라 바이러스도 이런 방식으로 인체에 옮길 수 있다”고 말했다. 그는 또한 “먼지로도

전파 가능성이 있다”며 “보균자의 혈액, 분비물, 구토물, 배설물 등이 땅에 떨어져 마른 뒤 먼지 형태로 떠돌다가 다른 사람의 호흡기를 통해 바이러스를 전파할 수 있다”고 주장했다. 왕 주임은 에볼라 바이러스가 널리 퍼진 서아프리카의 주민들이 숨진 가족의 옆을 지키면서 시신을 닦고 포옹하거나 입맞춤하는 풍습을 갖고 있다면서 이런 밀접한 접촉이 전염 확산의 원인으로 작용한 것으로 추정하기도 했다.<sup>32)</sup>

## 결론

바이러스의 역사는 매우 오래되었다. 바이러스는 끊임없이 변이를 일으킨다. 그것이 정상적인 과정이다. 변이는 바이러스가 복제 될 때마다 발생하며 대부분은 변이를 감지할 수 없고 바이러스에 아무런 영향을 미치지 않는다. 모든 바이러스들처럼 에볼라 바이러스도 돌연변이를 일으킬 때 다른 동물들에게 쉽게 전파되도록 감염방식을 특별하게 변화시킬 수 있다. 그렇게 감염경로를 변화시키는 돌연변이는 때때로 수백만 년을 거치면서 일어나기도 한다. 에볼라의 경우에도 이를 위해서는 아주 장기간에 걸친 중복적인 변이가 필요할 것이라고 학자들은 보고 있다. 그러나 이 보고서는 현재에도 붉은털 원숭이 실험에서와 같이, 감염된 동물의 피와 체액에 대한 직접적인 접촉(direct contact)을 통해서만 에볼라 바이러스가 전염될 수 있는 것이 아니라 공기 중으로도 전염이 가능하다는 가설을 배제시킬 수 없다는 것을 보여주고 있다. 그러므로 모든 전염 경로에 대한 확실한 검증은 이루어지지 않은 상태라고 볼 수 있으며 다른 경로 또한 고려 대상이 될 수 있음을 알 수 있다.

2014년 10월 8일, 미국에서 첫 에볼라 환자인 토마스 던컨이 사망했다. 그를 돌보았던 보건전문가는 열이 발생했고 테스트 결과 바이러스 양성이었다. 그 해 여름부터 시작된 루머-CDC (미국 질병 관리 통제 센터)에서 에볼라 바이러스가 변이를 일으켜 공기 중 전염이 된다는 것을 인정했다는 내용-가 이 사건 이후 사람들에게 더 이상 루머가 아닐지도 모른다는 공포를 불러 일으켰다. 던컨을 돌보던 간호사 사건은 미국에서 에볼라가 감염된 최초 사례였는데 그녀는 모든 보호복을 착용한 상태에서 던컨을 돌보았음에도 불구하고 에볼라에 감염되었다. 환자를 돌보는 과정에서 어떤 오류가 있었는지 알 수 없지만 과연 공기 중 전염 가능성을 완전히 제외시킬 수 있는 것인지에 대해 많은 사람들에게 의심을 불러 일으켰다.

2014년 발생한 갑작스런 에볼라 사태는 전 세계를 당황하게 했다. 에볼라 바이러스에 대한 정확한 정보가 부족했고 전염경로에 대한 적절한 숙지가 이루어지지 않아 순식간에 질병이 확산되었다. 2014년 11월 26일, 세계보건기구(WHO)는 지난해 12월 이후 기니, 시에라리온, 라이베리아 등 서아프리카 3국을 포함한 8개국에서 1만 5,935명이 에볼라 바이러스에 감염됐으며 이 가운데 5,689명이 숨졌다고 밝혔다. 2014년 12월 12일 현재 감염자는 전 세계적으로 1만 8,000명이 넘는 상태이다. WHO 전염병 대응담당 국장 이사벨 뉘탈 박사는 유럽 유엔본부에서 가진 기자회견에서 “에볼라 바이러스는 공기를 통해 감염되지 않는다”며 “감염자 체액에 직접적인 접촉이 없으면 전염 우려가 매우 적은 이 병의 실체를 정확히 알아야 한다”고 밝혔지만 여전히 확실한 근거를 제시하지 못하고 있다.

정부와 각 나라의 보건기구가 질병에 대한 원인과 전염 경로에 대한 정확한 정보를 국민들에게 제공하고 인지하도록 하는 것은 어떤 질병이 발생하였을 때 그에 대한 대비를 비용 측면에서 효율적으로 하도록 할 뿐 아니라 불필요한 루머와 이로 인한 공포와 같은 사회적 불안을 줄일 수 있게 한다. 또한 보건인력에게 적합한 가이드라인을 제시하는 일은 안전하게 자신을 지킬 수 있다는 믿음으로 환자를 돌볼 수 있게 할 것이다. 그러기 위해서는 전염경로에 대한 확실한 근거를 제시할 수 있는 더 많은 연구가 이루어져야 하겠다.

## 참고문헌

- 1) Goeijenbier M, van Kampen JJ, Reusken CB, et al. Ebola virus disease: a review on epidemiology, symptoms, treatment and pathogenesis. *Neth J Med* 2014;72(9):442-8.
- 2) Centers for Disease Control and Prevention, Outbreaks. Nov. 2014.  
<http://www.cdc.gov/vhf/ebola/outbreaks/history/distribution-map.html>
- 3) 에볼라 출혈열 [ebola hemorrhagic fever] (서울대학교병원 의학정보, 서울대학교병원)
- 4) Centers for Disease Control and Prevention, Outbreaks.  
<http://www.cdc.gov/vhf/ebola/outbreaks/history/distribution-map.html>
- 5) Reynolds KA. Is Ebola a waterborne virus? Nov. 2014.
- 6) Wikipedia, Ebola virus, Ebola hemorrhagic fever.
- 7) Funk DJ, Kumar A. Ebola virus disease: an update for anesthesiologists and intensivists. *Can J Anaesth* 2015; 62(1):80-91.
- 8) Chippaux JP. Outbreaks of Ebola virus disease in Africa: the beginnings of a tragic saga. *J Venom Anim Toxins Incl Trop Dis* 2014 Oct 3;20(1):44.
- 9) CDC. Q&A on Transmission, Ebola. September 2014. Retrieved 3 October 2014.
- 10) World Health Organization. Ebola virus disease Fact sheet No. 103. September 2014.
- 11) Centers for Disease Control and Prevention, Transmission,  
<http://www.cdc.gov/vhf/ebola/transmission/index.html>
- 12) Centers for Disease Control and Prevention, Transmission.
- 13) Dowell SF, et al. Transmission of Ebola hemorrhagic fever: a study of risk factors in family members, Kikwit, Democratic Republic of the Congo, 1995. *Commission de Lutte contre les Epidemies a Kikwit. J Infect Dis.* 1999;179(Suppl 1):S87-91.
- 14) Roels TH, Bloom AS, Buffington J, et al. Ebola hemorrhagic fever, Kikwit, Democratic Republic of the Congo, 1995: risk factors for patients without a reported exposure. *J Infect Dis.* 1999 Feb;179 Suppl 1:S92-7.
- 15) Kerstiens B, Matthys F. Interventions to control virus transmission during an outbreak of Ebola hemorrhagic fever: experience from Kikwit, Democratic Republic of the Congo, 1995. *J Infect Dis* 1999;179(Suppl 1):S263-7.
- 16) Ebola haemorrhagic fever in Sudan, 1976. Report of a WHO/International Study Team. *Bulletin of the World Health Organization.* 1978;56(2):247-270.
- 17) Muyembe-Tamfum JJ, Kipasa M, Kiyungu C, et al. Ebola outbreak in Kikwit, Democratic Republic of the Congo: discovery and control measures. *J Infect Dis.* 1999;179(Suppl 1):S259-62.
- 18) Francesconi P, Yoti Z, Declich S, et al. Ebola hemorrhagic fever transmission and risk factors of contacts, Uganda. *Emerg Infect Dis.* 2003 Nov;9(11):1430-7.
- 19) Wamala JF, Lukwago L, Malimbo M, et al. Ebola hemorrhagic fever associated with novel virus strain, Uganda,



- 2007-2008. *Emerg Infect Dis.* 2003;9(11):1430-7.
- 20) Kelly A. Reynolds, MSPH. PhD: Is Ebola a waterborne virus? Nov. 2014.
- 21) Irving WL. Ebola virus transmission. *Int J Exp Pathol.* 1995 Aug;76(4):225-6.
- 22) <http://www.virology.ws/2014/09/27/transmission-of-ebola-virus>
- 23) Johnson E, Jaax N, White J, et al. Lethal experimental infections of rhesus monkeys by aerosolized Ebola virus. *Int J Exp Pathol.* 1995 Aug;76(4):227-36.
- 24) Reed DS, Lackemeyer MG, Garza NL, et al. Aerosol exposure to Zaire ebolavirus in three nonhuman primate species: differences in disease course and clinical pathology. *Microbes Infect.* 2011;13(11):930-6.
- 25) Jaax N, Jahrling P, Geisbert T, et al. Transmission of Ebola virus (Zaire strain) to uninfected control monkeys in a biocontainment laboratory. *Lancet* 1995;346(8991-8992): 1669-71.
- 26) Jaax N, et al. Transmission of Ebola virus (Zaire strain) to uninfected control monkeys in a biocontainment laboratory. *The Lancet.* 1995.
- 27) THana MW, et al. Transmission of Ebola virus from pigs to non-human primates. *Scientific Reports*, 2012.
- 28) Wong G, Qiu X, Richardson JS, et al. Ebola virus transmission in guinea pigs. *J Virol.* 2015 Jan 15;89(2):1314-23.
- 29) Gary W, et al. Ebola virus transmission in guinea pigs. *Journal of Virology*, 2014.
- 30) Roels TH, et al. Ebola hemorrhagic fever, Kikwit, Democratic Republic of the Congo, 1995: risk factors for patients without a reported exposure. *The Journal of Infectious Diseases.* 1999.
- 31) New York Times, article, Michael Osterholm, Sep 11, 2014.
- 32) 중국 전문가. 에볼라, 공기전염 가능성 있다, 연합뉴스, 8월 23일, 2014.