

코로나19 팬데믹 기간 여러 국가에서 발표한 확진자 및 사망자의 보고율에 대한 혈청역학적 비교 연구

이상원^{1*}, 류보영¹, 박신영¹
¹질병관리청 위기대응분석관

A seroepidemiological comparative study of reported cases and deaths with actual reporting rates during the COVID-19 pandemic across multiple countries

Sangwon Lee, PhD^{1*}, Boyeong Ryu, MPH¹, Shin Young Park, MPH¹

¹Director General for Public Health Emergency Preparedness, Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA), Cheongju, Korea

Abstract

Objectives: The COVID-19 pandemic that began in 2020 is the largest pandemic since the 1918 influenza pandemic, causing significant loss of life worldwide. To accurately understand and prepare for future pandemics, it is important to have a detailed understanding of the number of COVID-19 cases worldwide, as well as an assessment of the reliability of the reported incidence and mortality data from each country.

Methods: This study compared COVID-19 incidence, mortality, case fatality rates reported by 11 countries with the COVID-19 infection induced antibody seropositivity rates obtained from 15 surveys conducted in those countries.

Results: Based on patient incidence statistics reported by various countries from the start of the pandemic in 2020 up to March 7, 2023, patient incidence and mortality rates are higher in high-income countries and lower in low- and middle-income countries. Conversely, the case fatality rate is lower in high-income countries and higher in low- and middle-income countries. However, it is important to note that these results may be due to different reporting rates in each country. The analysis found that the estimated reporting rates of COVID-19 in low- and middle-income countries were estimated to be between 0.4% and 1.3%, while the estimated reporting rates in high-income countries were estimated to be between 15.1% and 78.5%.

Conclusion: Among the high-income countries, those with a high proportion of patients from 2020 to the end of 2021 who required hospitalization had higher case fatality rates.

keywords: COVID-19, seroepidemiology, confirmed case, deaths, reporting rates

Introduction

코로나19는 1918년 이후 인류에게 찾아온

최대규모의 감염병 대유행 사건이었다. 전세계에서 많은 환자와 사망자가 발생하였으며, 많은 인명피해 뿐 아니라 대규모 경제적 손실을 초래하였다. 모든 국가에서 감염병 전파 차단을 위해 시행한 사회적 거리두기는 감염병 차단을 위해 반드시 필요한 조치였으나, 이로 인해 이전에 겪어보지 못했던 불편들을 경험하기도 하였다[1,2].

코로나19 대유행은 전세계적으로 국가별로 매일 일일 발생과 사망이 실시간 발표되고 비교되는 첫 번째 사건이기도 했다. 매일 발표되는 환자와 사망자 상황 정보를 접하며 사회적 반응과, 대응 수단이 마련되기도 하였고, 여론이 달라지기도 하였다.

코로나19 환자수 사망자 수는 특정 국가의 코로나19 상황을 반영하기도 하고 보건의료 상황을 알리는 지표처럼 사용되기도 하였다. 그런데 그간 발표되고 인용된 발생과 사망에 대한 자료들은 과연 신뢰할 수 있는 수준이며 수정없이 그대로 해석될 수 있는 것일지에 대한 의문이 있다[3]. 각 국가마다 감염병 신고에 대한 사회 문화적 상황이 다르며 정부 인식도 달라서, 코로나19의 발생과 사망 보고율을 아무런 검증없이 모두 같다고 간주하기는 어렵다.

질병을 보다 정확히 이해하고 앞으로를 대비하기 위해 그간 세계적으로 얼마나 많은 코로나19 환자가 발생하였는가에 대한 세밀한 판단은 반드시 필요한 것이나, 각 국가가 보고한 발생과 사망의 자료의 신뢰성에 대한 평가는 아직 이루어지지 않은 상황이다. 따라서 각 국가별 보고된 발생과 사망의 보고와 질병발생상황을 재평가하여 코로나19의 질병 특성을 보다 정확히 이해하기 위해 본 연구를 시행하게 되었다.

Methods

발생률, 사망률, 치명률 비교

코로나19가 최초 보고된 2020년 1월부터 2023년 3월7일까지 각국의 발표를 집계한 Our world in data[4]의 자료를 확인하여, 주요 국가소득수준 그룹별, 대륙별, 국가별 발생률, 사망률, 치명률을 비교하였다.

추정 보고율 분석

2023년까지 각 국가에서 시행한 실제 감염자 확인 항체 (Infection induced antibody) 조사 연구와 연구기간 중 보고되어 공식 발표된 환자 수를 비교하여 보고율을 추정하였다. 추정 보고율은 인구당 환자발생률을 분자로, 감염추정 혈청양성률을 분모로 산출하였다. 항체양성률 측정 시점에 해당되는 되는 발표환자 수는 모두 연구기간의 중앙기간 발표환자 수로 하였다.

연구로서 발표된 혈청양성률 검사는 백신접종 이전 시기는 손가락 끝에서 채취한 말초 혈액의 코로나19 스파이크 항체검사를, 백신접종 이후에는 자연감염에 의한 (Infection-induced) 코로나19 뉴클레오캡시드 항체검사가 사용되었다.

추정 보고율과 백신접종률, 치명률 상관성

항체조사를 통해 혈청양성률이 분석된 국가 중 각 대륙별 국가를 선정(아시아 3, 아프리카 1, 유럽 4, 북미 2, 오세아니아 1) 하여 추정 보고율과 백신접종률, 치명률의 상관성을 비교하였다.

Results

보고 발생률

World Bank 분류 기준 고소득 (high income), 중상위 소득 (Upper middle income), 중하위 소득 (lower middle income), 저소득 (Low income) 국가에서 2020년 1월부터 2023년 3월 7일 기간까지 보고된 100만명당 누적발생률은, 소득이 높은 국가에서 높았으며, 반대로 소득이 낮은 국가에서 발생이 낮은 것으로 보고되었다. 또한 동기간 누적사망률도 소득이 높은 국가에서 높고, 소득이 낮을수록 낮은 것으로 보고되었다 (Fig 1, 2).

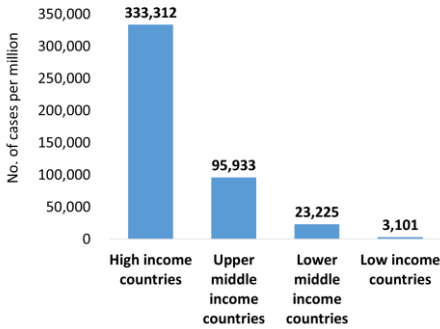


Fig 1. Reported cumulative confirmed COVID-19 cases per million people by Economies, 2020-2023.3.27 refer to our world in data (<https://ourworldindata.org/coronavirus>).

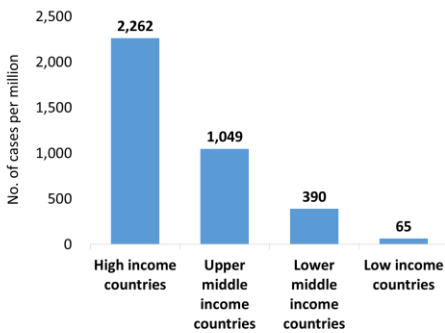


Fig 2. Reported cumulative confirmed COVID-19 death per million people by Economies, 2020-2023.3.27) refer to our world in data (<https://ourworldindata.org/coronavirus>).

그러나 치명률의 경우 발생률 및 사망률과는

반대로 소득이 낮은 국가에서 높고, 소득이 높은 국가에서 낮은 것으로 보고되고 있다 (Fig 3). 대륙별 발생률과 사망률은 북미 및 유럽국가에서 높고, 아시아와 아프리카 국가에서 낮은 것으로 보고되었다 (Table 1).

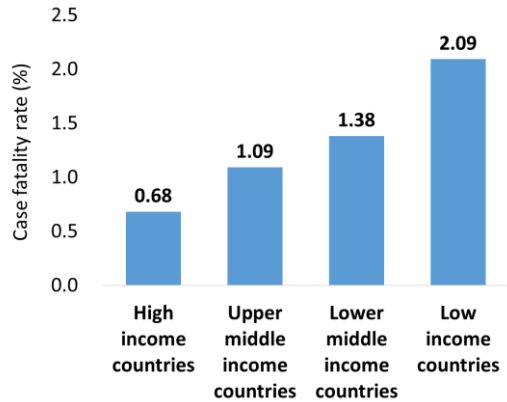


Fig 3. Reported COVID-19 case fatality rate by Economies, 2020- 2023.3.27) refer to our world in data (<https://ourworldindata.org/coronavirus>).

추정 보고율

2020년 이후 발표된 발생률과 여러 나라에서 조사된 감염항체 양성률 (Infection induced antibody)을 비교하여 살펴보면, 중저소득 국가 (방글라데시, 인도네시아 자카르타, 이집트)는 **Table 1.** Reported cumulative covid19 case, death and case fatality rate by continent, 2020-2023.3.27) refer to our world in data (<https://ourworldindata.org/coronavirus>)

	Cumulative confirmed COVID-19 cases per million	Cumulative confirmed COVID-19 deaths per million	Case fatality rate of COVID-19 (%)
Europe	331,320	2,717	0.82
Oceania	311,808	562	0.18
North America	204,406	2,638	1.29
South America	155,624	3,093	1.99

A seroepidemiological comparative study of reported cases and deaths with actual reporting rates

Asia	62,449	344	0.55
Africa	9,149	181	1.98

2021년 상반기까지 WHO 보고 발생률은 0.2%~0.5% 이었다. 그러나 혈청역학적 조사에서는 인구의 19.2%~67.3% 감염을 추정할 수 있어 실제 보고율은 0.4%~1.3% 수준이었다. 2020~2021년 고소득 국가(프랑스, 독일, 미국, 한국)의 보고 발생률은 자연감염에 의한 혈청 양성률의 차이가 상대적으로 적었으며, 해당 기간 혈청양성률 대비 보고율은 35.3%~63.0% 이었다.

2022년에도 고소득 국가의(프랑스, 독일, 미국, 한국, 스위스 제네바, 스페인 나바라, 호주, 캐나다) 혈청양성률 대비 보고율은 15.1%~78.5%으로 2020~2021년 중저소득 국가의 추정 보고율보다 높았다. 혈청양성률 대비 가장 보고율이 높은 국가는 대한민국(78.5%) 였으며, 그 다음은 호주(58.8%), 스위스(57.0%) 순이었다 (Table 2).

이번 분석에 선정된 국가 중 추정보고율 (Estimated reporting rate)이 높은 국가들은 대체로 기초 백신접종률 (initial vaccination rate, 인구내 2

회이상의 접종을 마친 사람들의 비율)이 높으며 치명률이 낮은 특성이 있었다. 백신접종률과 치명률은 가장 높은 상관성은 ($R^2=0.7767$)을, 추정 보고율과 치명률은 그 다음의 상관성을 ($R^2=0.5612$), 추정보고율과 백신접종률은 그 다음의 상관성 ($R^2=0.2719$)을 가지고 있는 것으로 나타났다 (Fig 4).

고소득 국가 중 치명률이 상대적으로 낮은 국가(0.1%대)는 대한민국, 호주였으며, 추정 보고율이 각각 77.0%, 58.8%로 다른 고소득 국가에 비해 높고, 전체 사망 중 오미크론 우세화 이전 (2020년~2021년)까지 발생 및 사망자 비율이 각각 16.3%, 12.5%로 낮았다. 그 외 미국을 제외한 국가(치명률 0.32%~1.12%)는 모두 전체 사망의 비율이 오미크론 우세화 이전시

기에 높았고, 발생 비율은 오미크론 우세화 시기에 높았으며, 추정 보고율은 한국, 호주보다 낮은 수준(15.1%~57.0%)을 보였다. 미국의 경우 상대적으로 높은 치명률을 보였는데(1.09%) 전체 발생 및 사망의 비율이 모두 오미크론 우세화 이전 시기에 각각 73.7%, 51.9%로 높게 나타났다으며, 추정보고율은 39.2%였다.(Table 3).

Table 2. Seroprevalence studies and estimated reporting rates for COVID-19 infection in 11 countries.

Country	Surveillance period	Surveillance design	Target Antibody	No. participant	Test positivity	Reported incidence	Estimated** reporting rate
France [5]*	2020.May	Clinical Lab	Spike	2,879	4.93%	2.16%	43.8%
Germany [6]*	2020.Oct-Nov	Nation wide	Spike	15,122	1.7%	0.6%	35.3%
United States [7]	2020.Nov	Clinical Lab	Nucleocapsid	63,111	8.0%	3.2%	40.0%
Bangladesh [8]*	2020.Oct-2021.Feb	Community	Nucleocapsid	3,220	67.3%	0.3%	0.4%
Indonesia.Jakarta [9]*	2021.Mar	Community	Spike	4,919	44.5%	0.5%	1.1%
Republic of Korea [10]	2021.Jan-Apr	Nation wide	Nucleocapsid	2,248	0.27%	0.17%	63.0%
Egypt [11]	2021.Jun	Blood donor	Nucleocapsid	990	19.2%	0.24%	1.3%
United States [7]	2022.Feb	Clinical Lab	Nucleocapsid	45,509	58.2%	22.8%	39.2%
Swiss.Geneva [12]	2022.Apr-May	Community	Nucleocapsid	2,521	72.4%	41.3%	57.0%
Spain. Navarre [13]	2022.May	Community	Nucleocapsid	1,461	58.9%	25.6%	43.5%

Republic of Korea [14]	2022.Aug-Sep	Nation wide	Nucleocapsid	9,901	57.6%	45.2%	78.5%
Australia [15]	2022.Aug-Sep	Blood donor	Nucleocapsid	5,005	65.0%	38.2%	58.8%
Republic of Korea [17]	2022.Dec	Nation wide	Nucleocapsid	7,528	70.0%	53.9%	77.0%
Canada [18]	2023.Feb	Blood donor	Nucleocapsid	15,445	78.5%	11.9%	15.1%

* The survey was conducted before the COVID-19 vaccination

** Estimated reporting rate (%) = Cumulative incidence rate of COVID-19 / SARS-CoV-2 antibody seroprevalence rate

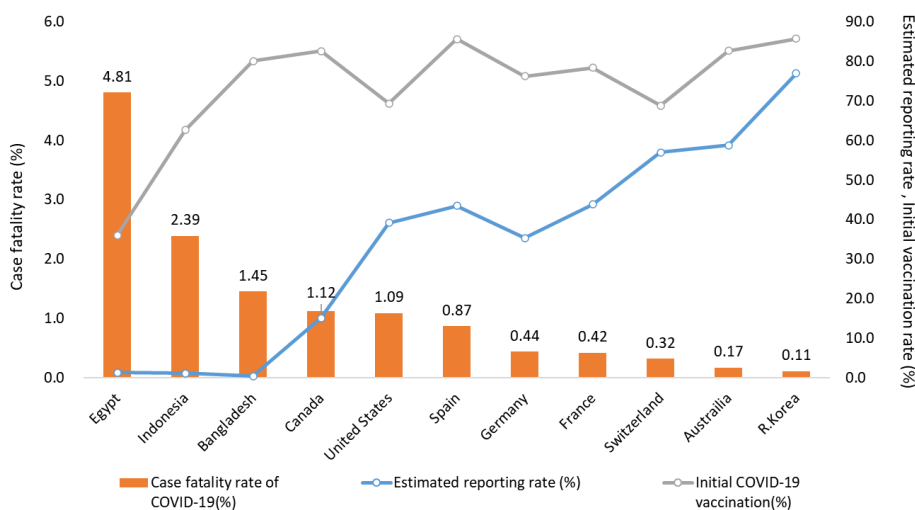


Fig 4. Comparison of COVID-19 case fatality, vaccination coverage, and estimated reporting rates in 11 countries.

Table 3. Comparison of COVID-19 incidence, mortality, and case fatality rates over time in high-income countries

	Case fatality rate (%)	Mortality / Million	Proportion of deaths (%)		Proportion of cases (%)		Estimated* reporting rate (%)
			20.1-21.12	22.1-22.3.7	20.1-21.12	22.1-23.3.7	
Canada	1.12	1,338	58.2	41.8	44.2	55.8	15.1
United States	1.09	3,285	73.7	26.3	51.9	48.1	39.2
Spain	0.87	2,512	76.8	23.2	46.1	53.9	43.5
Germany	0.44	2,022	70	30	18.6	81.4	35.3
France	0.42	2,497	75	25	24.1	75.9	43.8
Switzerland	0.32	1,595	85.5	14.5	29.9	70.1	57
Australia	0.17	742	12.5	87.5	3	97	58.8
Republic of Korea	0.11	657	16.3	83.7	2	98	77

* Estimated reporting rate (%) = Cumulative incidence rate of COVID-19 / SARS-CoV-2 antibody

seroprevalence rate

Discussion

의학과 위생학이 발달한 현대 사회에서 거의 모든 국가들이 법정감염병에 대한 신고 및 보고 의무를 부과하고 있으며 거의 대다수의 국가는 이를 주기적으로 발표하고 있다. 각 국가에서 보고된 환자와 사망자 수는 세계보건기구를 통해 확인되거나, Our world in data와 같은 전문적인 인터넷 통계분석 기관을 통해 전세계적으로 실시간 공유된다 [4].

각국에서 발표한 자료에 따르면 소득이 높은 국가에서 높은 코로나19 발생률이 보고되고, 소득이 적은 국가에서 낮은 것으로 보고되었다. 또한 동기간 사망률도 소득이 높을수록 사망률이 높고, 소득이 낮을수록 사망률이 낮은 것으로 보고되었다. 그러나 이는 일반적으로 소득이 높은 국가일수록 보건의로 및 방역 인프라가 발달하며, 발생률과 사망률이 낮다는 일반적 통념과는 반대되는 것으로, 이렇게 보고된 원인에 대한 해석과 판단이 필요하다 [19]. 뿐만 아니라 국가의 코로나19 발생률과 사망률에는 연령 구조, 사회·경제적, 정치적 상황, 보건의료체계 등 여러가지 요인이 동시에 영향을 줄 수 있다 [20,21]. 이러한 여러 측면 중 본 연구 결과 기간 각 국에서 시행된 혈청역학적 결과를 토대로 재해석하면 저소득 국가의 경우 환자발생률과 사망률이 낮은 것이라기 보다, 추정보고율이 고소득 국가에 비해 매우 낮은 것으로 기인한 것으로 해석될 수 있다. 왜곡된 환자발생 보고는 실제 발생과는 거리가 먼 분석과 발표로 잘못된 방역정책이 판단되었을 가능성과 국민에게 올바른 메시지를 전달하지 못했을 가능성이 있기 때문에 위험하다.

치명률은 소득이 높은 국가에서 낮고, 소득이 낮은 국가에서 높은 것으로 보고되었는데, 이는 다섯가지 요인이 관련된 것으로 해석된다.

첫째 소득이 높은 국가의 의료인프라 및 보건 영양학적 수준이 보다 저소득 국가보다 높으며, 둘째 소득이 높은 국가의 백신접종률이 높아 백신으로 인한 치명률 저감효과가 발생하였을 가능성이 있다. 다음으로 검사에 의해서 발견되는 환자의 비율이 저소득 국가에 비하여 상대적으로 높아 확진환자 대비 사망자 수가 적은 것도 영향이 있다. 넷째는, 본 연구에서 분석된 3개 저소득 국가를 살펴보면 병원성이 강한 델타 변이까지의 기간동안 절반 이상의 국민이 감염되었을 가능성이 있어 보다 치명률이 높아졌을 가능성이 있다. 다섯째로는 치명률에 영향을 준 요인 중 하나는 백신접종률이다. 대체로 백신접종률이 높은 국가에서 치명률이 낮음을 알 수 있다. 백신접종률이 높은 저소득 국가 중 일부는 치명률이 상대적으로 높게 나타난 경우도 있는데 의료 인프라와 함께 사용된 백신의 종류도 치명률에 영향을 주었을 것으로 추정된다.

백신접종률이 높은 고소득 국가에서 보고된 치명률에 영향을 줄 수 있는 요인은 보고율과, 전체 코로나19 확진자 중 병원성이 높은 코로나19 최초 발생에서 델타변이까지 기간(2020년~2021년)동안 발생한 확진자의 비중이다. 2020년 1월에서 2023년 3월7일까지 환자 중 상대적으로 병원성이 높은 2020년부터 2021년 기간 델타변이 우세화 시기까지 발생자 비중이 40%를 넘는 미국, 캐나다의 경우 전체 치명률이 1%를 상회하는 반면, 같은 기간동안 환자발생이 3%이하인

대한민국, 호주의 경우 전체 치명률(대한민국 0.11%, 호주 0.17%)과 사망률(대한민국 657명 호주 742명/100만명)이 모두 낮았다.

따라서 백신에 의한 보호대책을 마련할 수 없고, 치명률도 높은 유행기간동안 적극적 사회적 거리두기를 통해 가능한 환자발생을 억제하고, 병원성이 낮아지고 충분한 백신접종을 완료한 이후에는 점진적으로 사회적 거리두기를 완화하는 전략은 전체 사망자 감소에 유효하다 할 수 있다. 다만, 돌봄자가 필요하고, 사회적 거리두기를 이행하기 어려운 취약집단에 대한 보호도 함께 고려되어야 할 것이다.

본 연구는 코로나19 팬데믹 기간 혈청역학적 연구 기반 확진자 및 사망자 보고율을 국가간 비교했다는 점에 의의가 있으나 일부 국가에 제한적이고, 인구학적 특성 등 세부요인에 대한 분석이 불가하였다. 향후 더 많은 국가에서 혈청역학적 연구가 진행됨에 따라 분석국가를 확대하고, 발생, 사망률 및 치명률에 영향을 미치는 세부요인을 반영한 추가 분석이 필요하겠다.

Conclusion

코로나19 팬데믹 기간동안 각국에서 발표한 환자발생 상황은 고소득 국가에서 발생률과 사망률이 높고, 중저소득 국가에서 낮았다. 그러나 그 원인은 본래의 질병발생 상황을 대표하지 않고 각 국가별 보고율이 서로 상이한 것이 원인으로 해석된다. 본 조사 결과 환자발생률이 낮은 것으로 보고된 국가에서 보고율이 낮은 것으로 추정되며, 반면 치명률은 높았다. 또한 전체 발생 환자 중 최초 유행시작부터 델타변이 우세화 시기까지 발생한 환자의 비율이 높고 보고율이 낮은 국가에서 보다 치명률이 높았다. 질병에 대한 정확한 보고와 공유는 전세계적으로 매

우 중요한 보건이슈이며, 유효한 백신이 없고 치명률이 높은 기간의 사회적 거리두기를 통한 완화전략은 유효하다 할 수 있다.

References

1. Both LM, Zoratto G, Calegario VC, Ramos-Lima LF, Negretto BL, Hauck S, et al. COVID-19 pandemic and social distancing: economic, psychological, family, and technological effects. *Trends Psychiatry Psychother.* 2021;43(2):85-91. Epub 20210521.
2. Hammerstein S, König C, Dreisörner T, Frey A. Effects of COVID-19-Related School Closures on Student Achievement-A Systematic Review. *Frontiers in Psychology.* 2021;12.
3. Mulchandani R, Babu GR, Kaur A, Singh R, Lyngdoh T. Factors associated with differential COVID-19 mortality rates in the SEAR nations: a narrative review. *IJID Regions.* 2022;3:54-67.
4. Our world in data. [cited 2023.3.10] Available from <https://ourworldindata.org/coronavirus>.
5. Le Vu S, Jones G, Anna F, Rose T, Richard J-B, Bernard-Stoecklin S, et al. Prevalence of SARS-CoV-2 antibodies in France: results from nationwide serological surveillance. *Nature Communications.* 2021;12(1):3025.
6. Neuhauser H, Rosario AS, Butschalowsky H, Haller S, Hoebel J, Michel J, et al. Nationally representative results on SARS-CoV-2 seroprevalence and testing in Germany at the end of 2020. *Scientific Reports.* 2022;12(1):19492.
7. Wiegand RE, Deng Y, Deng X, Lee A, Meyer WA, III, Letovsky S, et al. Estimated SARS-CoV-2 antibody seroprevalence trends and relationship to reported case prevalence from a repeated, cross-sectional study in the 50 states and the District of Columbia, United States – October 25, 2020-February 26, 2022. *The Lancet Regional Health – Americas.* 2023;18.
8. Raqib R, Sarker P, Akhtar E, Nurul Huda TM, Haq MA, Roy AK, et al. Seroprevalence of SARS-CoV-2 infection and associated factors among Bangladeshi slum and non-slum dwellers in pre-COVID-19 vaccination era: October 2020 to February 2021. *PLOS ONE.* 2022;17(5):e0268093
9. Ariawan I, Jusril H, N Farid M, Riono P,

A seroepidemiological comparative study of reported cases and deaths with actual reporting rates

- Wahyuningsih W, Widyastuti W, et al. SARS-CoV-2 Antibody Seroprevalence in Jakarta, Indonesia. 2022. 2022;17(3):6. Epub 2022-08-31.
10. 대한민국 정책브리핑. “국내 코로나 19 항체 보유율 0.27%...2248 명서 6 명 확인”, 2021.5.28. [cited 2023.3.23]. Available from <https://www.korea.kr/special/policyFocusView.do?newsId=148888045&pkgId=49500742> (Korean)
 11. Eldesoukey N, Gaafar T, Enein AA, Eyada I, Khirat S, ElShahawy A, et al. SARS-CoV-2 antibody seroprevalence rates among Egyptian blood donors around the third wave: Cross-sectional study. *Health Science Reports*. 2022;5(3):e634.
 12. Zaballa M-E, Perez-Saez J, de Mestral C, Pullen N, Lamour J, Turelli P, et al. Seroprevalence of anti-SARS-CoV-2 antibodies and cross-variant neutralization capacity after the Omicron BA.2 wave in Geneva, Switzerland: a population-based study. *The Lancet Regional Health – Europe*. 2023;24.
 13. Castilla J, Lecea Ó, Martín Salas C, Quílez D, Miqueleiz A, Trobajo-Sanmartín C, et al. Seroprevalence of antibodies against SARS-CoV-2 and risk of COVID-19 in Navarre, Spain, May to July 2022. *Eurosurveillance*. 2022;27(33):2200619.
 14. 질병관리청, 실외 마스크 착용 자율 전환 및 전국단위 코로나 19 항체양성률 조사 결과 발표 보도자료. 2022. 9.23. [cited 2023.3.23]. Available from https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20501010000&bid=0015&list_no=720760&cg_code=&act=view&nPage=30 (Korean)
 15. Australian COVID-19 Serosurveillance Network. Seroprevalence of SARS-CoV-2-specific antibodies among Australian blood donors: Round 3 update, 3 November 2022. Available from <https://kirby.unsw.edu.au/sites/default/files/COVID19-Blood-Donor-Report-Round3-Aug-Sep-2022.pdf>
 16. UK Health Security Agency. COVID-19 vaccine surveillance report Week 48 1 December 2022. Available from https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/134074/vaccine-surveillance-report-week-48-2022.pdf
 17. 질병관리청, 전국단위 코로나 19 항체양성률 2 차 조사 결과 발표(1.13.금). 2023.1. 13. [cited 2023.3.23]. Available from https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20501010000&bid=0015&list_no=721678&cg_code=&act=view&nPage=7 (Korean)
 18. Canadian blood service. Covid19 immunity task force, COVID-19 Seroprevalence Brief Report Report #31A: February 1 - February 14, 2023, Survey. Available from <https://www.covid19immunitytaskforce.ca/wp-content/uploads/2023/03/covid-19-brief-report-february-2023-march-08-2023.pdf>
 19. McCartney G, Hearty W, Arnot J, Popham F, Cumbers A, McMaster R. Impact of Political Economy on Population Health: A Systematic Review of Reviews. *Am J Public Health*. 2019 Jun;109(6):e1-e12. doi: 10.2105/AJPH.2019.305001. PMID: 31067117; PMCID: PMC6507992.
 20. Brown PA. Country-level predictors of COVID-19 mortality. *Scientific Reports*. 2023;13(1):9263. doi: 10.1038/s41598-023-36449-x.
 21. Chang D, Chang X, He Y, Tan KJK. The determinants of COVID-19 morbidity and mortality across countries. *Scientific Reports*. 2022;12(1):5888. doi: 10.1038/s41598-022-09783-9.