



주간 건강과 질병

PHWR

Public Health Weekly Report

Vol. 17, No. 30, August 1, 2024

Content

연구 논문

1267 코로나바이러스감염증-19 접촉추적격리 정책 국제 비교 및 정책 효과 시뮬레이션 연구

정책 보고

1285 우리나라 예방접종의 성과와 앞으로의 방향

질병 통계

1294 청소년 주관적 건강인지율 추이, 2014-2023년

Supplements

주요 감염병 통계



KDCA

Korea Disease Control and
Prevention Agency

Aims and Scope

주간 건강과 질병(*Public Health Weekly Report*) (약어명: *Public Health Wkly Rep*, PHWR)은 질병관리청의 공식 학술지이다. 주간 건강과 질병은 질병관리청의 조사·감시·연구 결과에 대한 근거 기반의 과학적 정보를 국민과 국내·외 보건의료인 등에게 신속하고 정확하게 제공하는 것을 목적으로 발간된다. 주간 건강과 질병은 감염병과 만성병, 환경기인성 질환, 손상과 중독, 건강증진 등과 관련된 연구 논문, 유행 보고, 조사/감시 보고, 현장 보고, 리뷰와 전망, 정책 보고 등의 원고를 게재한다. 주간 건강과 질병은 전문가 심사를 거쳐 매주 목요일(연 50주) 발행되는 개방형 정보열람(Open Access) 학술지로서 별도의 투고료와 이용료가 부과되지 않는다.

저자는 원고 투고 규정에 따라 원고를 작성하여야 하며, 이 규정에 적시하지 않은 내용은 국제의학학술지편집인협회(International Committee of Medical Journal Editors, ICMJE)의 Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly Work in Medical Journals (<https://www.icmje.org/>) 또는 편집위원회의 결정에 따른다.

About the Journal

주간 건강과 질병(eISSN 2586-0860)은 2008년 4월 4일 창간된 질병관리청의 공식 학술지이며 국문/영문으로 매주 목요일에 발행된다. 질병관리청에서 시행되는 조사사업을 통해 생성된 감시 및 연구 자료를 기반으로 근거중심의 건강 및 질병관련 정보를 제공하고자 최선을 다할 것이며, 제공되는 정보는 질병관리청의 특정 의사와는 무관함을 알린다. 본 학술지의 전문은 주간 건강과 질병 홈페이지(<https://www.phwr.org/>)에서 추가비용 없이 자유롭게 열람할 수 있다. 학술지가 더 이상 출판되지 않을 경우 국립중앙도서관(<http://nl.go.kr>)에 보관함으로써 학술지 내용에 대한 전자적 자료 보관 및 접근을 제공한다. 주간 건강과 질병은 오픈 액세스(Open Access) 학술지로, 저작물 이용 약관(Creative Commons Attribution Non-Commercial License: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)에 따라 비상업적 목적으로 사용, 재생산, 유포할 수 있으나 상업적 목적으로 사용할 경우 편집위원회의 허가를 받아야 한다.

Submission and Subscription Information

주간 건강과 질병의 모든 논문의 접수는 온라인 투고시스템(<https://www.phwr.org/submission>)을 통해서 가능하며 논문투고 시 필요한 모든 내용은 원고 투고 규정을 참고한다. 주간 건강과 질병은 주간 단위로 홈페이지를 통해 게시되고 있으며, 정기 구독을 원하시는 분은 이메일(phwrcdc@korea.kr)로 성명, 소속, 이메일 주소를 기재하여 신청할 수 있다.

기타 모든 문의는 전화(+82-43-719-7557, 7552, 7562), 팩스(+82-43-719-7569) 또는 이메일(phwrcdc@korea.kr)을 통해 가능하다.

발행일: 2024년 8월 1일

발행인: 지영미

발행처: 질병관리청

편집사무국: 질병관리청 질병감시전략담당관
(28159) 충북 청주시 흥덕구 오송읍 오송생명2로 187 오송보건의료행정타운
전화. +82-43-719-7557, 7552, 7562, 팩스. +82-43-719-7569

이메일. phwrcdc@korea.kr

홈페이지. www.phwr.org

편집제작: ㈜메드랑

(04521) 서울시 중구 무교로 32, 효령빌딩 2층
전화. +82-2-325-2093, 팩스. +82-2-325-2095

이메일. info@medrang.co.kr

홈페이지. <http://www.medrang.co.kr>

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

편집위원장

최보울

한양대학교 의과대학

부편집위원장

곽진

전북대학교 의과대학

손현진

동아대학교 의과대학

류소연

조선대학교 의과대학

염준섭

연세대학교 의과대학

박지혁

동국대학교 의과대학

하미나

단국대학교 의과대학

편집위원

고현선

가톨릭대학교 의과대학 서울성모병원

권윤형

질병관리청

김동현

한림대학교 의과대학

김성순

질병관리청

김수영

한림대학교 의과대학

김용우

질병관리청 국립보건연구원

김윤희

인하대학교 의과대학

김은진

질병관리청

김중곤

서울의료원

김호

서울대학교 보건대학원

박영준

질병관리청

백선경

질병관리청

사무국

김시우

질병관리청

이정민

질병관리청

원고편집인

하현주

(주)메드랑

송경준

서울대학교병원운영 서울특별시보라매병원

송진수

서울대학교 의과대학

신다연

인하대학교 자연과학대학

안정훈

이화여자대학교 신산업융합대학

엄중식

가천대학교 의과대학

오경원

질병관리청

오주환

서울대학교 의과대학

유석현

가톨릭대학교 의과대학

유영

고려대학교 의과대학

유효순

질병관리청

이경주

국립재활원

이선희

부산대학교 의과대학

이우환

아주대학교 의과대학

이재갑

한림대학교 의과대학

이혁민

연세대학교 의과대학

이형민

질병관리청

전경만

삼성서울병원

정은옥

건국대학교 이과대학

정재훈

가천대학교 의과대학

최선화

국가수리과학연구소

최원석

고려대학교 의과대학

최은화

서울대학교어린이병원

허미나

건국대학교 의과대학

이은영

질병관리청

박희빈

질병관리청

이희재

질병관리청



코로나바이러스감염증-19 접촉추적격리 정책 국제 비교 및 정책 효과 시뮬레이션 연구

이정진¹, 김연수¹, 이강주¹, 남기룡¹, 테오스¹, 정승필¹, 이우주¹, 오주환², 황승식^{1*}, 김다솔³

¹서울대학교 보건대학원 보건학과, ²서울대학교 의과대학 의학과, ³질병관리청 감염병위기관리국 위기관리총괄과

초 록

코로나바이러스감염증-19(코로나19) 감염병 팬데믹 시기에 여러 국가에서 시행한 접촉추적격리(contact-tracing, isolation, and quarantine, TTIQ) 정책은 감염병 유행 통제에 있어 상당한 효과를 보인 것으로 평가된다. 그러나 접촉자 추적 정책 및 정책 운용에 대한 표준화된 지침과 지표가 존재하지 않는다. 본 연구는 세계 주요 국가들에서 코로나19에 대응하는 접촉, 경제적 보상 정책 및 정책 평가 모형을 분석 및 검토하였다. 국내 데이터로 Coronavirus disease 2019 Agent-based Simulator (Covasim) 모형을 적용하여 정책 효과 시뮬레이션을 실시하였다. 적극적 선별검사 정책과 상반되는 클러스터 전략을 채택한 일본, 디지털 대응으로 접촉추적격리 업무의 효율성을 높인 싱가포르와 홍콩, 강력한 봉쇄정책으로 시간을 벌고자 한 호주와 뉴질랜드 등 주요국을 조사하였다. Covasim 모형 분석 결과, 접촉자 추적 비율을 60% 이상으로 상승시킬 때 절약되는 코로나19 검사 건수는 크지 않은 것으로 보아 일정 이상의 접촉자 추적 비율을 유지하는 것이 중요하다. 본 연구에서 도출된 수용도를 높이기 위한 고려 사항들을 보완한다면 접촉추적격리 정책은 효과적인 감염병 예방 전략이 될 수 있으며, 미래 신종 감염병을 대비하기 위해 표준화된 접촉추적격리 정책 평가 지표를 개발하여 준비해야 한다.

주요 검색어: 코로나바이러스감염증-19; 접촉추적격리; 보건정책 평가 지표; Covasim

서 론

접촉추적격리(contact-tracing, isolation, and quarantine, TTIQ)란 감염병 확산을 통제하는 Test, Trace, Isolate, and Quarantine (TTIQ) 전략에서 검사(Test), 접촉자 추적(Trace), 확진자 격리(Isolation and Quarantine) 과정 중 접촉자 추적부

터의 과정을 말한다. 2020년부터 본격적으로 시작된 코로나 바이러스감염증-19(코로나19) 팬데믹 때 한국을 비롯한 여러 나라에서 격리와 밀접 접촉 동선 추적을 공중보건 조치로 선택하였다. 코로나19는 증상이 발현되기 전부터 감염력이 있기에 확진자의 격리와 밀접 접촉자 추적 관리를 통해 추가 확산을 억제하여 발생 규모를 줄이는 전략을 사용하였다.

Received February 13, 2024 Revised June 21, 2024 Accepted June 25, 2024

*Corresponding author: 황승식, Tel: +82-2-880-2715, E-mail: cyberdoc@snu.ac.kr

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



KDCA

Korea Disease Control and Prevention Agency

핵심요약

① 이전에 알려진 내용은?

코로나바이러스감염증-19 감염병 팬데믹 때 전 세계 여러 국가에서 접촉추적격리(contact-tracing, isolation, and quarantine, TIQ) 정책을 실행하여 감염병 확산을 통제하고자 하였다.

② 새로이 알게 된 내용은?

주요국 정책의 특징과 긍정적 또는 부정적 평가의 원인을 검토하여 접촉추적격리 정책 운용 시 고려 사항을 도출하였다. Covasim 모형의 국내 데이터 적용을 통해 정책 시행 효과를 평가할 수 있다.

③ 시사점은?

접촉추적격리 정책은 수용도를 높이기 위한 고려 점들을 보완한다면 효과적인 감염병 예방 전략이 될 수 있다. 미래 신종 감염병을 대비하여 표준화된 접촉추적격리 정책 평가 지표를 개발하여 효율적인 정책 효과 시뮬레이션을 할 수 있도록 준비해야 한다.

그러나 때에 따라 수집된 데이터를 일반 대중 또는 접촉자에게 공개하게 되어 개인정보 보호에 대한 우려가 컸다. 그뿐만 아니라 표준화된 접촉추적격리 정책 지침이 존재하지 않고, 신종 우려 변이 또는 신종 감염병 등장 시 정책 운용에 대한 표준화된 지표가 존재하지 않는다. 본 연구는 세계 주요 국가들에서 코로나19에 대응하는 접촉추적격리 과정이 어떻게 이루어졌는지 고찰하고 관련된 디지털 기술의 사용, 정책 평가 등을 분석하여 신종 감염병 유행 시 초기에 효과적으로 활용할 수 있는 접촉추적격리 방안을 제안하고자 하였다.

접촉추적격리에 대해 영국에서 Fetzer와 Graeber [1]가 시행한 연구에 의하면 접촉자 추적은 보수적으로 추정하여도 6주 동안 재발 감염률을 63% 감소시키고 관련 사망률도 66% 감소시켰다. 현재 접촉자 추적 체계 운영 및 평가에 대한 공식적 지침은 존재하지 않는다. Vogt 등[2]은 체계적 문헌 고찰을 통하여 2020년 12월까지의 문헌을 검토하였다. 9개의 논문,

1개의 연구에서 총 153가지의 지표를 활용하였고, 약 2/3는 과정지표(확진자 조사, 접촉자 확인, 접촉자 검사), 약 1/3은 산출지표(확진자 격리, 접촉자 격리)였다. 확진자 수 감소로 지표로 삼는 문헌은 없었다. Hossain 등[3]은 2021년 11월까지의 문헌을 검토하였다. 검토한 코로나19 접촉 추적 논문들은 사례 예방 건수, 사망 예방 건수, 실시간 감염재생산지수(time-varying reproduction number, Rt), 감염재생산지수(R_0)를 사용하였다. 이를 통해 접촉추적격리에 대한 합의된 평가 지표의 필요성을 확인하였다.

방 법

1. 주요 국가 선정 기준

한국과의 비교의 적합성을 고려하여 국가를 선정하였다. 상대적으로 코로나19 접촉추적격리 정책이 잘 시행된 것으로 평가되거나, 경제 규모 및 국제 사회에서의 입지가 견고하거나, 지리적 국경 특성이 한국과 유사한 국가들을 선정하였으며, 이외 대륙의 대표성과 조사의 용이성을 특징으로 가진 국가들도 선정하였다. 동아시아권 국가로 일본, 싱가포르, 홍콩, 국경의 특성을 고려하여 호주, 뉴질랜드, 대만, 기타 기준(경제력, 인구, 긍정적 정책 평가 등)으로 미국, 캐나다, 독일, 스웨덴, 르완다, 남아프리카공화국을 택하였다.

2. 자료 조사 방법

World Health Organization 홈페이지 및 선정된 13개국의 보건당국 등의 주요 정부 기관 홈페이지 방문 후 시기별 자료 및 아카이브 된 자료를 확인하였다. 학술 문헌 및 해당 국가의 대표 언론의 온라인 뉴스 기사들을 검색하였다. 코로나19 감염병 관련 계량 지표들은 Our World in Data (<https://ourworldindata.org/>) 조직에서 제공하는 자료들을 활용하였다. 위키피디아(<https://en.wikipedia.org/>)에 국가별로 정리된 코로나19 내용의 참조문헌을 활용하여 눈덩이 효과

(snowballing) 검색 기법을 활용하였다. 예를 들어, 위키피디아에서 싱가포르의 코로나19 타임라인 페이지에 참조문헌으로 게재된 정부 리포트 또는 뉴스 기사를 활용하여 해당 시기의 확진자 추이 및 정책 변화 특이점 등을 조사하였다. 조사 시 언어 장벽이 있는 일본, 홍콩, 대만, 독일, 스웨덴의 경우에는 구글 번역기를 활용하여 국가 홈페이지를 확인하였다.

3. COVID-19 Agent-based Simulator 모형 적용 방법

국내 자료에 대해 행위자 기반 python (파이썬) 모형인 Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Agent-based Simulator (Covasim)를 적용하였다. 성별, 연령 및 인구 특성에 맞추어 행위자 및 행위자들 간의 접촉 네트워크를 생성한 후, 감염자와의 접촉으로 인하여 개별 행위자들의 감염병 진행 양상을 시뮬레이션하는 방법이다. 입력 자료로는 2020년 11월 1일부터 12월 23일까지의 Our World in Data에서 수집한 일별 코로나19 현황 자료(신규 검사 수, 신규 확진자 수, 신규 사망자 수), 질병관리청 홈페이지 등에서 확인할 수 있는 연령별 코로나19 누적 감염 현황 자료(연령, 누적 검사 수, 누적 확진자 수, 누적 사망자 수), 사회적 거리두기를 표현하기 위한 이동성(mobility) 자료(기준일 대비 학교, 직장, 지역 사회, 주거지역, 장기 요양시설로의 이동량 비율, 대부분 구글 Mobility에서 이용 가능), 통계청 등에서 수집 가능한 연령분포, 가구원 수 분포, 학교 종류별 분포, 연령별 취학률, 연령별 고용률, 종업원 구분별 직장 수, 노인요양시설 거주자 및 직원 분포가 활용되었다.

여기에 학교, 직장, 가정 내 접촉 행렬을 지정하게 되면, Covasim에서 입력 자료의 분포에 맞추어 행위자를 생성한 후, 정의된 네트워크 및 감염 전파 프로세스에 따라 개별 행위자의 감염병 진행 양상을 시뮬레이션하게 된다. Covasim의 장점은 다양한 중재 효과를 시뮬레이터 안에서 표현하여 결과에 반영할 수 있다는 것인데, 이동량에 따라 일별 검사 숫자 및 확진자 접촉한 노출군 검사 및 격리 확률에 따라 감염 재생

산 지수가 어떻게 달라지는지 살펴볼 수 있다.

결 과

1. 접촉추적격리 전략 검토 결과

1) 접촉자 추적 정책

선제적 선별검사 정책과 상반되는 클러스터 전략이 코로나19 팬데믹 초기부터 일본에서 적용되었다. 무분별한 검사를 통제하여 의료체계의 부담을 줄일 수 있다고 평가되기도 하지만 초기의 대응이 미흡하다고 평가되기도 한다. 2021년 1월 확진자의 급증으로 인해 클러스터 전략의 효과성에 의문이 제기되었으며, 2022년 2월 오미크론 변이 확산 시 확진자의 급증을 막지 못하였다.

홍콩은 접촉추적격리 정책 참여에 대한 법적 강제성을 부여하여 참여를 유도하였다. 국경 출입제한 및 접촉추적격리로 2021년 말까지 총 네 차례의 유행을 억제하였으나, 2022년 1월 오미크론 변이로 인한 대규모 유행을 막지 못하였다. 독일은 확산 초기부터 일자리와 경제적 관계의 보존을 강조한 결과, 사회적 질서가 대체로 유지되었으며 여러 차례의 유행 동안 다른 유럽 국가들보다 1인당 발병률이 낮았다.

미국은 전반적으로 접촉추적격리 정책이 저조하였다. 국민의 비협조, 인력 부족, 역학조사 연락 거부 등의 원인이 있다. 접촉추적격리가 검사 등 기타 대응 방책과 함께 자원이 조달되어 접촉추적격리에 쓰이는 인력이 지자체별로 상이하였으며, 추적 관련 연방정부의 지침이 오랜 기간 부재하였다[4].

스웨덴은 지속가능성에 초점을 두어 팬데믹 상황에서도 일상을 유지하려는 노력을 기울였다. 그러나 초기에 정부가 검사 및 접촉 추적 격리의 개입을 했더라면 코로나19로 인한 사망자와 확진자를 줄일 수 있었다는 평가를 받았다[5]. 다만 팬데믹 이전에 정부의 보건정책에 대한 국민의 신뢰도가 높았기 때문에 해당 정책을 펼 수 있었던 것으로 보인다.

다수의 국가에서 스마트폰 앱을 활용하여 전자 출입 체

크인, 블루투스 접촉 알림 등 접촉자 추적을 실시하였다. 2020년 6월에 COVID-19 Contact-Confirming Application (COCOA) 앱을 배포한 일본은 사생활 침해 우려로 접촉 장소와 시간 정보를 제외하고 단순 밀접 접촉 사실만 제공하는 등 기능을 제한하였다. 강제성이 없어 사용률이 저조하였고 정부에 대한 불신까지 더해져 COCOA 앱은 코로나19 대응에 효과적이지 못했다고 평가된다[6]. 대만은 공공장소 출입 시 QR 코드를 스캔하여 정부 기관으로 정보가 전송되었다. 하지만 2021년도 이후로 개인정보 유출 우려로 스캔하지 않는 문화가 확산되었고 개인정보에 대한 규정이 불완전하여 접촉추적 격리 정책의 실패로 평가된다.

호주도 접촉자 추적 앱을 개발하였으나 주 별로 앱을 따로 설치해야 하거나 실제 확진자 판별에 이용된 건이 소수인 문제가 있어 효과를 거두지 못하였다. 뉴질랜드의 접촉 추적 앱은 QR코드 출입과 통합되어 있어 반필수적으로 설치해야 하였다. 하지만 설치자의 대다수가 앱을 활성화하지 않았고 개인정보 보안 문제가 명확히 해결되지 않아 실제 접촉 추적에 실효성이 없었다고 평가된다.

싱가포르는 2020년 1월 첫 확진자 발생 이후 개발을 시작하여 3월에 Trace Together 앱을 배포하였다. 2023년 1월 기준 국민의 99%가 앱 또는 실물 토큰을 사용 중이었다. 추적 업무 수행의 효율성을 높이기 위하여 디지털 플랫폼을 활용하기도 하였다. 기존의 상업적 서비스 Zendesk를 변형한 Zendemic 시스템을 적용하여 보건부 콜센터 직원 등 모든 직원이 하나의 인터페이스를 보며 최신화 정보에 접근할 수 있어 업무 효율을 높였다[7].

전통적인 역학조사와 디지털 역학조사를 병행한 영국은 모든 확진자의 접촉자를 추적하지 않고 우선순위를 지정하는 방식으로 변화하였다. 2020년 5월에 Test and Trace 시스템이 세워졌다. 위험 사례 및 복잡한 클러스터 발생은 Public Health England가, 일반 사례는 Test and Trace의 디지털 시스템이 관리하였다. 그러나 기존 체계에서 해당 체계로 이행

하기까지의 3개월 공백 기간 중 코로나19 사망률이 가장 높아 비판받았다. 또 Test and Trace 출범으로 접촉자 추적을 강화하였음에도 이후에 확진자 증가를 통제하기 위하여 락다운(lockdown)을 실시하였기에 운영 효용이 비판받았다.

캐나다의 COVID Alert 앱은 확진 시 보건 담당자로부터 받은 일회성 코드를 앱에 입력해야 하는 책임이 환자에게 있었다는 점이 큰 장애물로 평가된다. 국민이 앱을 어떻게 사용할지에 대한 구상은 있었으나 그것이 어떠한 공중보건 결과(public health outcome)로 이어질지에 대한 구상이 부재한 것이 앱 활용 정책의 제한점으로 꼽힌다.

2) 격리 정책

조사 국가 대다수는 코로나19 확진자 및 밀접 접촉자가 확인된 뒤 일정 기간 자가 또는 시설에서 격리하도록 권장 또는 의무화하였다. 2003년 Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS) 확산의 경험을 기반으로 대만은 2009년 설립된 Central Epidemic Command Center (CECC)를 중심으로 2020년 1월 첫 확진자부터 접촉자 추적을 시행하였다[8]. 이는 국민의 해외 출입국 정보가 National Health Institute와 통합되어 있었기 때문에 가능하였다. 위험국으로부터 입국한 국민은 시설 격리를 거쳤다. 국내 락다운은 시행하지 않았으며, 확진자 및 접촉자가 일정 기간 격리한 이후 일상생활을 하도록 하였다. 홍콩도 락다운 정책을 적용하지 않았으며, 검사를 강화하여 접촉 추적의 효율을 높이려 하였다. 2020년 11월 제정된 질병 예방 및 통제 규정에 따라 지정 기한까지 의무 코로나19 검사를 받도록 하는 검사 통지를 발송하여 확진 사례 의심 또는 클러스터 의심 시 검사를 시행하였다. 확진자의 격리로 인한 경제적 손해 배상 차원에서 일회성 경제적 보상을 하였고, 병가에 대한 경제적 부담을 낮추어 부당해고를 방지하였다.

싱가포르는 2020년에 정부 주관 해커톤 프로젝트의 결과물인 Homer 앱을 격리 정책에 활용하였다. 사용자들의 위치

정보 모니터링을 통해 지역별 및 개인별 Stay-home Notice와 Quarantine Order 알림을 전송하였다. 격리 수칙 위반 여부도 모니터링하여 순응도를 관리하였다. 기존의 유급 병가 제도를 통해 격리로 인한 경제적 손실을 보상하였고, 저임금 가정 및 격리로 일하지 못하는 근로자를 둔 고용자를 추가적으로 지원하였다. 지원 대상자는 격리 수칙을 준수한 자에 한하였다. 독일과 스웨덴도 기존의 유급휴가 및 상병 수당 제도를 확대하여 코로나19로 인한 격리 정책을 보조하였다.

호주는 2021년 오미크론 변이 확산 전까지 철저한 접촉자 추적을 통한 격리 및 확산 방지를 원칙으로 한 강력한 봉쇄 정책을 펼쳤다. 호주 보건당국은 2021년 12월에 확진자 증가에 따른 접촉추적격리 정책의 유효성이 떨어짐을 발표하고 거리두기 정책을 통한 감염병 관리 단계로 넘어갔다. 락다운 시행으로 대비책을 마련하기 위한 시간을 확보할 수 있었으나 취약계층에 대한 배려가 부족했고, 학교를 닫지 말았어야 하며, 준비를 통해 락다운 기간을 최소화 했어야 한다는 지적을 받았다. 호주와 유사한 격리 정책을 펼친 뉴질랜드는 두 개의 섬으로 나뉘어 있다는 지리적 이점과 인구가 호주의 1/5 수준이라는 점으로 인해 2021년까지 호주보다 성공적 방역을 한 것으로 평가된다. 시민의식 및 정부에 대한 신뢰도 기여 요인으로 평가된다. 두 국가 모두 유급 병가 제도를 시행하여 격리 시 경제적 손해를 막았으며, 잦은 락다운 봉쇄로 인한 손해

는 급여로 보상하였다. 자발적으로 코로나19 검사를 받게 하도록 결과가 나오기까지 격리하는 것에 대한 인센티브 금액을 지원하였다. 미국과 캐나다 또한 코로나19 팬데믹으로 인한 유급 병가 제도를 도입하여 경제적 보상을 하였다.

2. COVID-19 Agent-based Simulator를 이용한 접촉추적격리 정책 시뮬레이션

사회적 거리두기를 모두 해제한 100% 이동량을 가정하면 접촉자 추적 비율을 20%, 50% 및 100%로 변화시킬 때 감염 확산 추세를 꺾기 위해서는(감염재생산지수를 1 이하로 감소시키기 위해서는) 코로나19 검사를 매일 70만, 35만 및 30만 건 정도 시행해야 하는 것으로 나타났다. 이동량이 80%인 경우 접촉자 추적 비율을 20%, 50% 및 100%로 변화시킬 때 감염 확산 추세를 꺾기 위해서는 코로나19 검사를 매일 25만, 20만 및 15만 건 정도를 시행해야 하는 것으로 나타났다. 또한, 이동량에 관계 없이 접촉자 추적 비율을 60% 이상으로 상승시킬 때 절약을 위한 코로나19 검사 건수는 크지 않은 것으로 나타났다(그림 1).

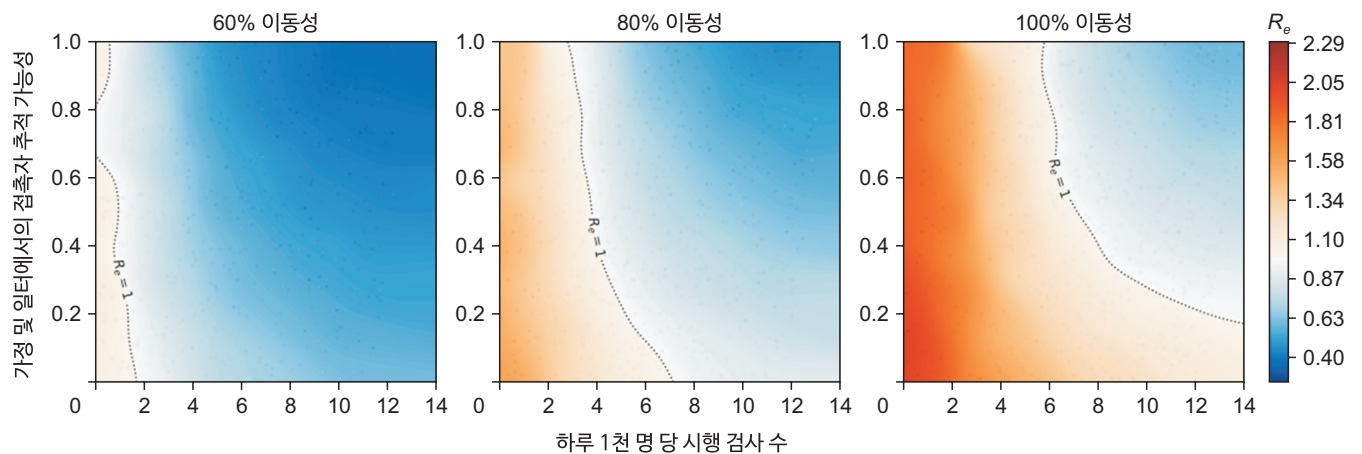


그림 1. Covasim 분석 결과(비약물적 개입에 따른 감염 지표 변화)
Covasim=coronavirus disease 2019 Agent-based Simulator.

논 의

1. 연구 결과 요약

접촉자 추적 정책 중 일본의 클러스터 전략은 초기 대응이 적극적이지 못하였으나 팬데믹 중반 이전까지는 효과적인 것으로 평가된다. 추적 정책에 법적 강제성을 부여하여 일부 유행을 성공적으로 억제한 홍콩과 더불어 스웨덴과 같이 팬데믹의 장기화를 고려하여 소극적인 개입만을 택한 사례도 있었다. 일본, 대만, 호주, 뉴질랜드를 비롯하여 접촉 추적 앱의 사용률이 저조하고 개인정보 유출 우려로 추적 효과를 거두지 못하였다. 반면 싱가포르의 디지털 플랫폼을 활용하여 추적 업무의 효율을 높였다. 영국은 전통적인 역학조사와 디지털 역학조사를 병행하며 접촉자 추적의 우선순위를 지정하였다. 캐나다와 달리 싱가포르, 독일은 단기간 내에 정부 주도의 모집으로 추적 인력난을 해소하였다. 대다수 국가가 격리 정책으로 확진자 또는 접촉자가 일정 기간 자가 또는 시설에서 격리하도록 하였다. 한국, 대만, 홍콩, 일본을 제외하고 확진자 급증에 따라 지역적 혹은 국가적 락다운을 일부 기간 실시하였다. 격리로 인한 경제적 손실에 대한 보상은 기존의 유급 병가 제도를 확대 또는 신규 제도를 도입하여 이루어졌고 격

리 수칙 순응도를 높이기 위한 인센티브를 지급하기도 하였다 (싱가포르). Covasim을 이용한 정책 시뮬레이션은 이동량에 따라 확산을 억제하는 데 필요한 검사 규모를 도출하였고, 접촉 추적 비율을 60% 이상으로 늘리는 것은 효율적이지 않음을 보였다.

2. 기존 문헌과의 비교 및 한국과 조사 국가 간 비교

접촉추적격리 정책의 효용성을 다룬 Fetzer와 Graeber [1]의 연구는 보수적 추정에도 접촉자 추적이 재발 감염률과 관련된 사망률을 60% 이상 감소시키는 효과가 있음을 보였다. 본 연구에서 조사한 국가 중 일본, 홍콩, 독일, 싱가포르, 호주와 뉴질랜드의 사례로 보아 접촉추적격리 정책을 시행한 결과 일부 대규모 유행 억제가 성공적이었다. 세계보건기구는 2020년에 발간한 디지털 접촉자 추적 관련 문헌에서 충분한 기술 인프라가 갖추어진 국가에서 개인정보 보호법이 마련되어 있고, 정부에 대한 신뢰가 일정 수준 이상이면 디지털 접촉 추적을 고려할 수 있다고 하였다[9]. 일본, 대만, 호주, 뉴질랜드의 사례로 보였듯이 개인정보 관련 규정이 명시되어있지 않거나 정부에 대한 신뢰가 낮은 경우에 접촉 추적 앱이 효과적으로 활용되지 못하였다. 반면 해당 요소들이 모두 충족된 싱가포

표 1. 국가별 접촉추적격리 정책의 특징 및 한국과의 대응에서의 차이

정책 특징	국가	한국과의 대응 차이
강력한 봉쇄정책을 통한 유행 대비	호주, 뉴질랜드, 대만	국경의 폐쇄성을 고려한 강력한 봉쇄정책의 감염병 통제
밀접 접촉자 및 확진자에 대한 격리 지원	호주, 뉴질랜드, 독일	유급휴가 및 재정적 지원 제도 도입으로 격리 촉진
클러스터 전략을 통한 접촉자 추적	일본	적극적 검사를 통한 추적과 사회경제적 비용 및 효과 비교
신속한 디지털 대응으로 인력 보완	싱가폴	역학조사 과정에서 IT기술을 도입하여 부족한 인력을 보완하고 효율성 높임
격리의 빠른 법적 의무화	홍콩	팬데믹 초기 빠르게 법적으로 격리를 의무화하여 전파 억제
접촉추적격리를 위한 단기인력수용 및 관리 체계	독일	지방정부와 중앙기관의 협력을 통한 접촉조사원의 훈련과 파견 시스템
이전 감염병 대응 경험을 통한 정책 준비도	르완다, 남아공	감염병 대응 경험을 통해 신종 감염병에 선제적 대응
일상 제한과 감염병 전파 통제 사이의 균형	스웨덴	강제성 최소화하고 시민의 자발적 참여 촉구를 통한 감염병 대응
접촉추적격리 정책의 적용 미흡	미국	연방 차원에서의 강제성 있는 정책 없이 주 별로 대응 방식에 큰 차이

르에서는 디지털 접촉추적격리가 성공적임을 확인하였다. 또 2021년에 접촉자 추적 시스템의 윤리적 측면을 다룬 문헌에서는 디지털 접촉추적격리 시스템이 공공 신뢰, 개인정보 보호 등의 윤리적 과제에 직면한다고 하였다[10]. 앱 설계 및 개발, 구현 차원에서 디지털 추적에 대한 윤리적 고려가 중요하다고 하였다. 이러한 사항을 모두 고려하였을 때 정부 및 규정에 대한 신뢰를 바탕으로 디지털 접촉추적격리 정책 순응도가 높아질 것이다.

2021년에 세계보건기구는 접촉자 추적의 성공을 위해 지역사회의 긴밀하고 일관된 참여를 강조하였다. 취약계층의 배려, 계획 단계에서의 신뢰 등을 언급하였다. 호주의 격리 정책 중 계획보다 길어진 막대한 시행에 대한 평가들(취약계층에 대한 고려, 학교를 닫지 말았어야 한 것 등)로 보아 세계보건기구의 권고안과 같이 지역사회 단계에서의 고려 사항들을 적용하면 접촉추적격리 정책의 부작용을 줄일 수 있을 것이다.

표 1은 각국의 접촉추적격리 정책의 특징에 따른 한국과의 대응 차이를 나타낸다. 호주와 뉴질랜드, 대만은 국경의 폐쇄성을 이용하여 강력한 봉쇄정책으로 확산을 통제하였다. 한국은 유일하게 국경을 맞대고 있는 국가가 폐쇄적인 특성의 북한이기에 사실상 앞선 국가들과 유사한 지리적 특징을 지닌다. 하지만 호주의 봉쇄정책은 본래 단기간 내 감염을 식별, 격리할 것을 목표로 하였으나 실제로는 장기간 봉쇄한 사례가 다수였다. 따라서 이러한 정책을 한국에 적용하기 위해서는 도심 인구 밀집, 교통 발달 등을 신중하게 검토해야 한다.

호주, 뉴질랜드, 독일은 유급휴가 및 재정적 지원 제도의 도입으로 접촉추적격리 참여를 촉진했다(표 1). 한국도 코로나19로 입원 또는 격리한 환자들에게 재정적 지원을 하였고, 저소득층과 소상공인 등을 위한 재정적 지원을 제공하였다. 하지만 한국은 코로나19 팬데믹 이전에 미국과 함께 유급 병가 제도를 운용하지 않는 경제협력개발기구 국가 2개 중 하나였으며, 팬데믹 동안 국가 차원의 유급 병가 제도를 도입하지 않았다[11]. 싱가포르의 경우 역학조사 과정에서 디지털 기술

을 도입하여 부족한 인력을 보완하고 효율성을 높인 점이 특징적이다(표 1). 한국 또한 신용카드와 휴대전화 기록, 폐쇄회로 텔레비전(closed-circuit television, CCTV) 데이터를 활용한 추적을 활용하여 효과를 거둔 것으로 평가받는다.

3. 의의와 한계

본 연구는 주요 국가들의 코로나19 감염병에 대한 접촉추적격리 정책에 대한 국제 비교 및 각국 정책에 대한 통합적인 평가를 시행하여 접촉추적격리 정책 개발 및 적용에 있어 가이드를 제공한다. 팬데믹 때 다수의 국가들이 도입하였거나 도입하고자 한 디지털 접촉추적격리 방법의 한계, 일부 성공 사례 및 적용 시 유의해야 할 점들을 논의하였다. 접촉추적격리 정책의 효과를 숫자로 확인할 수 있는 수학적 모델링은 기존에 존재하지 않았으나 Covasim 모형은 정책 시행 효과를 평가할 수 있다는 의의를 지닌다. 기존의 한국 모델링 연구는 대부분 가상의 숫자를 사용했지만, 본 연구의 Covasim 적용 결과는 대부분 실제 데이터를 포함하고 있다.

반면, 접촉추적격리 정책에 있어 주요한 국가를 대부분 포함하였으나 국가 선정의 임의성으로 비교가능성이 떨어진다는 한계가 있다. 각국의 코로나19 팬데믹 당시(2020년, 2021년)의 자료 수집 시 과거 자료에 대한 접근성이 다소 낮았다. 국가기관 홈페이지 아카이브에 저장되어 있지 않은 자료는 확인할 수 없었다. 또한 공개되어있는 자료들이 당시의 상황을 정확하게 반영하였는지 검증할 필요성이 있다. 추후 연구 시 해당 국가 현직자 또는 전문가와의 인터뷰를 통하여 조사한 자료의 정보를 보완해야 한다. 조사 국가들의 정책 비교 시 표준화되어 있는 비교 방법이 부재하여 접촉추적격리, 관련된 경제적 보상 및 디지털 기술의 활용, 정책 시뮬레이션 등의 세부 주제들을 선정하여 연구를 수행하였다. 개별 국가 조사 시 참고했던 주 자료는 해당 국가 국가기관의 보도자료 및 발표 자료이므로 정책의 문제점이 배제된 문헌이 많이 검토되었으며, 접촉추적격리 정책의 외부효과는 대체로 고려하지 못하였

다.

Covasim 모형 연구는 무작위로 추출한 개인들을 연결한 지역사회 개념으로 접촉 네트워크를 생성하였기에 여러 인원이 모여서 발생하는 집단 감염을 반영할 수 없다는 한계점이 있다. 다중이용시설이 밀집된 한국의 특성상 이를 반영하는 것은 중요하다. 또 Covasim 모형의 주요 결과변수는 감염 재생산 지수 등 감염지표이다. 정책 결정에서 중요한 경제적 비용을 고려할 수 없다는 한계점이 있다. 미비한 데이터의 무작위 생성 및 적용 시 각종 가정을 하였기에 현실과의 차이가 존재할 수 있다. 따라서 해당 모형을 정책 결정에 있어 참고하되 현실적 사회 맥락 등을 고려해야 한다.

4. 시사점

본 연구는 접촉추적격리 정책이 수용도를 높이기 위한 고려 사항들을 보완한다면 효과적인 감염병 예방 전략이 될 수 있음을 시사한다. 다음과 같은 고려 사항을 보완할 수 있다: 1) 체계적이고 광범위한 상병 수당 제고 운영, 2) 접촉추적격리 정책 순응도를 높이기 위한 인센티브 마련, 3) 봉쇄정책 적용 시 취약계층 및 각종 지역사회 집단에 대한 고려, 4) 디지털 접촉추적격리 도구 개발 시 윤리적 이슈 고려 및 개인정보 규정 명시 등.

또한, 미래 신종 감염병을 대비하여 표준화된 접촉추적격리 정책 평가 지표를 개발하여 효율적인 정책 효과 시뮬레이션을 할 수 있도록 준비해야 한다. Covasim 모형은 각종 데이터를 활용하여 이동성, 접촉자 추적 등의 수준에 따라 정책결정자들이 알고자 하는 매개변수(확산 억제를 위해 필요한 검사 건수, 절약할 수 있는 검사 건수 등)를 계산할 수 있다. 신종 감염병 유행 시 신속하게 각종 시뮬레이션을 적용 및 참고하여 적절한 정책을 택하기 위해서는 평가 지표들을 마련해야 할 것이다.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: This research was funded by Korea Centers for Disease Control and Prevention Agency (No. 2022-08-007).

Acknowledgments: None.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: WJL, JHO, SSH. Data curation: CJL, YSK, GJL, KRN, BDT, SPJ, WJL, JHO, SSH. Formal analysis: CJL, YSK, GJL, KRN, BDT, SPJ, WJL, JHO, SSH. Funding acquisition: SSH. Investigation: CJL, YSK, GJL, KRN, BDT, SPJ, WJL, JHO, SSH. Methodology: WJL, JHO, SSH. Project administration: DSK. Resources: CJL, YSK, GJL, KRN, BDT, SPJ, WJL, JHO, SSH. Software: SPJ, WJL. Supervision: WJL, JHO, SSH. Visualization: SPJ, WJL. Writing – original draft: CJL. Writing – review & editing: WJL, JHO, SSH.

References

1. Fetzer T, Graeber T. Measuring the scientific effectiveness of contact tracing: evidence from a natural experiment. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2021;118:e2100814118.
2. Vogt F, Kurup KK, Mussleman P, et al. Contact tracing indicators for COVID-19: rapid scoping review and conceptual framework. *PLoS One* 2022;17:e0264433.
3. Hossain AD, Jarolimova J, Elnaiem A, Huang CX, Richterman A, Ivers LC. Effectiveness of contact tracing in the control of infectious diseases: a systematic review. *Lancet Public Health* 2022;7:e259-73.
4. Simmons-Duffin S. Why contact tracing couldn't keep up with the U.S. COVID outbreak [Internet]. NPR; 2021 [cited 2024 Jan 10]. Available from: <https://www.npr.org/sections/health-shots/2021/06/03/1002878557/why-contact-tracing-couldnt-keep-up-with-the-u-s-covid->

outbreak

5. Kretzschmar ME, Rozhnova G, Bootsma MCJ, van Boven M, van de Wijgert JHHM, Bonten MJM. Impact of delays on effectiveness of contact tracing strategies for COVID-19: a modelling study. *Lancet Public Health* 2020;5:e452-9.
6. Nakamoto I, Jiang M, Zhang J, et al. Evaluation of the design and implementation of a peer-to-peer COVID-19 contact tracing mobile app (COCOA) in Japan. *JMIR Mhealth Uhealth* 2020;8:e22098.
7. From private to public sector with Tim Groleau, lead software engineer [Internet]. *Medium*; 2022 [cited 2024 Jan 10]. Available from: <https://medium.com/open-government-products/from-private-to-public-sector-with-tim-groleau-lead-software-engineer-3e5b3adad5b7>
8. Lee PC, Chen SC, Chiu TY, Chen CM, Chi C. What we can learn from Taiwan's response to the COVID-19 epidemic [Internet]. *BMJ Opinion*; 2020 [cited 2024 Jun 21]. Available from: <https://blogs.bmj.com/bmj/2020/07/21/what-we-can-learn-from-taiwans-response-to-the-covid-19-epidemic/>
9. World Health Organization (WHO). Ethical considerations to guide the use of digital proximity tracking technologies for COVID-19 contact tracing [Internet]. WHO; 2020 [cited 2024 Feb 7]. Available from: https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-Ethics_Contact_tracing_apps-2020.1
10. Park H. Ethical challenges of COVID-19 contact tracing system and challenges of AI ethics education. *J Ethics* 2021;133:27-52.
11. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Paid sick leave to protect income, health and jobs through the COVID-19 crisis [Internet]. OECD; 2020 [cited 2024 Jan 11]. Available from: https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=134_134797-9iq8w1fnju&title=Paid-sick-leave-to-protect-income-health-and-jobs-through-the-COVID-19-crisis

Comparative Analysis of International Coronavirus Disease 2019 Contact-Tracing, Isolation, and Quarantine (TIQ) Policies and Simulation of Policy Effects

Chloe Jeongjin Lee¹, Yeonsu Kim¹, Gangju Lee¹, Kiryong Nam¹, Benimana Dieudonne Theos¹, Seungpil Jung¹, Woojoo Lee¹, Juhwan Oh², Seung-sik Hwang^{1*}, Dasol Kim³

¹Department of Public Health Science, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea, ²Department of Medicine, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea, ³Division of Emergency Preparedness and Response, Department of Infectious Disease Emergency Preparedness and Response, Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea

ABSTRACT

Contact-tracing and isolation policies implemented by many countries during the novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic have demonstrated significant effectiveness in disease containment. However, there are no standardized guidelines or indicators for contact-tracing policies in the face of new infectious diseases or variants of concern. The present study reviewed contact-tracing and isolation processes, economic incentives, and policy evaluation models for COVID-19 in major countries. In addition, a policy-effect simulation was conducted using a COVID-19 Agent-based Simulator (Covasim) model applied to domestic data. The present study introduces cases from 13 countries including Japan, Singapore, and Australia. The Covasim model analysis suggests that maintaining a certain level of contact-tracing is crucial, because the savings in COVID-19 tests when increasing the contact-tracing rate to >60% are not substantial. When supplemented by the issues raised in this study, contact-tracing, isolation, and quarantine (TIQ) policy can be an effective strategy for infectious disease prevention. Moreover, standardized evaluation metrics for TIQ policies should be developed to prepare for emerging infectious diseases. During the COVID-19 pandemic, many countries have implemented TIQ policies to control spread of the disease. Based on a review of the countries' policies and their respective evaluations, we determined the elements to be considered when implementing such policies. The Covasim model adopted from domestic data can be used to evaluate policy effectiveness. TIQ policy that increases participation and acceptance could be an effective strategy for controlling infectious diseases. Standardized TIQ policy evaluation indicators must be developed for efficient policy simulations of future novel infectious disease outbreaks.

Key words: Coronavirus disease 2019; Contact tracing; National Health Policy; Computational modeling

*Corresponding author: Seung-sik Hwang, Tel: +82-2-880-2715, E-mail: cyberdoc@snu.ac.kr

Introduction

Contact-tracing, isolation, and quarantine (TIQ) refers to

the process that occurs after testing in the Test, Trace, Isolate, and Quarantine (TTIQ) strategy, a public health approach to prevent the spread of infectious diseases. Since the onset of the

Key messages

① What is known previously?

During the coronavirus disease 2019 pandemic, many countries implemented contact-tracing, isolation, and quarantine (TIQ) policies in an effort to control the spread of the disease.

② What new information is presented?

Based on a review of countries' policies and their respective evaluations, we determined elements to consider when implementing such policies. The Covasim model adopted with domestic data can evaluate policy effectiveness.

③ What are implications?

TIQ policy supplemented to increase participation and acceptance can be an effective strategy for controlling infectious diseases. We need to develop standardized TIQ policy evaluation indicators for efficient policy simulations of future novel infectious diseases.

novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic in 2020, various countries, including Republic of Korea (ROK), have implemented isolation and close contact-tracing to control spread of the disease. Owing to the contagious nature of COVID-19, even before symptoms arise, strategies such as isolating confirmed cases and tracing the movement of close contacts, have been used to reduce the scale of the outbreak.

However, privacy concerns arose when the collected data were disclosed to the general public or contacts. There are no standardized guidelines for contact-tracing and isolation policies or standardized metrics for policy implementation with the emergence of new variants of concern or novel infectious diseases. The present study aimed to examine how contact-tracing and isolation processes were performed in major countries in response to COVID-19. It analyzed digital technology

usage and policy evaluations and proposes effective approaches for contact-tracing and isolation during the initial stages of a novel infectious disease outbreak.

Research conducted in the United Kingdom by Fetzner and Graeber [1] suggests that contact-tracing, even with conservative estimates, can reduce recurrence rates by 63% and the related mortality rate by 66% over a period of 6 weeks. Currently, there are no official guidelines for the operation and evaluation of contact-tracing systems. Vogt et al. [2] conducted a systematic literature review of 153 indicators from nine studies and one study up to December 2020. Approximately two-thirds were process indicators (investigation of confirmed cases, identification of contacts, and testing of contacts), and one-third were outcome indicators (isolation of confirmed cases and isolation of contacts). None of the studies used the decrease in the number of confirmed cases as an indicator. Hossain et al. [3] reviewed the relevant literature published up to November 2021. The reviewed studies addressing COVID-19 contact-tracing used metrics such as prevented cases, prevented deaths, time-varying reproduction numbers (R_t), and basic reproduction number (R_0). This highlights the need for agreed-upon evaluation indicators of contact-tracing and isolation.

Methods

1. Criteria for Selecting Major Countries

Countries were selected based on their suitability for comparison with ROK. This included a positive evaluation of COVID-19 TIQ policy implementation, robust economic size and international standing, geographical similarities to ROK, and the representativeness and ease of investigation in countries on other continents. Thirteen countries were selected:

Japan, Singapore, Hong Kong (East Asian countries); Australia, New Zealand, Taiwan (based on geographical characteristics); and the United States, Canada, Germany, Sweden, Rwanda, and South Africa (based on other criteria such as economic power, population, and positive policy evaluations).

2. Data Collection Method

The World Health Organization (WHO) website and the main websites of governmental health departments in the 13 selected countries were used to review the data and archived materials. Online news articles from prominent media outlets and the related academic literature were also searched. Quantitative indicators related to COVID-19 were obtained from worldwide data (<https://ourworldindata.org/>). The snowballing search technique was used with reference materials from Wikipedia (<https://en.wikipedia.org/>), which summarizes COVID-19 information according to country. For example, government reports or news articles referenced on the COVID-19 timeline page for Singapore on Wikipedia were used to investigate trends in confirmed cases and notable policy changes during specific periods. For countries with language barriers, such as Japan, Hong Kong, Taiwan, Germany, and Sweden, Google Translate was used to access and review national websites.

3. COVID-19 Agent-based Simulator Model

Application Method

The COVID-19 Agent-based Simulator (Covasim) model was applied to domestic data. This method involves creating a contact network among individuals based on sex, age, and population characteristics. The progression of infectious diseases among individual actors due to contact with infected

individuals was then simulated. The data used included daily COVID-19 status data collected from November 1 to December 23, 2020 (new test numbers, newly confirmed cases, and new deaths), cumulative infection status data according to age available on the Korea Disease Control and Prevention Agency's website (age, cumulative test numbers, cumulative confirmed cases, and cumulative deaths), and mobility data from Google Mobility to represent social distancing (ratio of mobility to schools, workplaces, local communities, residential areas, and long-term care facilities compared with baseline on the reference date). Data from the National Statistical Office were also used, including age distribution, household size distribution, distribution according to school type, age-specific school enrollment rates, age-specific employment rates, number of workplaces according to employee classification, and distribution of residents and staff in elderly care facilities.

By specifying contact matrices within schools, workplaces, and households, Covasim generates individuals according to the distribution of input data and simulates the progression of spread of infectious diseases among individuals based on the defined network and infection transmission processes. The advantage of Covasim is that it can incorporate various intervention effects into the simulator and reflect them in the results. This enables the examination of how the infection reproduction number (i.e., R_0) changes based on daily testing numbers and the probability of testing and quarantining exposed groups that have been in contact with confirmed cases according to the level of mobility.

Results

1. Review of Contact-tracing and Isolation

Strategies

1) Contact-tracing policy

Japan implemented a cluster strategy in the early stages of the COVID-19 pandemic, in contrast to the active mass testing strategy. While controlling indiscriminate testing was considered to minimize burden on the healthcare system, it was criticized for its inadequate early response. Questions arose regarding the effectiveness of the cluster strategy during the surge in cases in January 2021, and the strategy could not prevent a sharp increase in cases during the spread of the Omicron variant in February 2022.

Hong Kong enforced legal obligations for TIQ policy participation, successfully suppressing four outbreaks by the end of 2021. Germany emphasized preserving jobs and economic relations from the early stages, maintaining social order, and having lower per capita incidence rates than other European countries during multiple waves.

The United States generally performed poorly in TIQ policies due to public non-cooperation, staffing shortages, and resistance to epidemiological investigations. Inconsistent resource allocation and delayed federal guidance have affected contact-tracing efforts [4].

Sweden focused on sustainability and strived to maintain normalcy during the pandemic. However, there has been criticism that, if the government actively intervened early, it could have reduced the number of COVID-19 cases and related deaths [5]. The ability to implement such policies appears to be attributable to a high level of public trust in the government's health policies before the pandemic.

Several countries have used smartphone applications for contact-tracing; however, their effectiveness varied. Japan's COVID-19 Contact-Confirming Application (COCOA) app, introduced in June 2020, faced low usage due to privacy concerns and government distrust [6]. Taiwan initially succeeded in using QR code scans for public entry; however, post-2021, privacy concerns and incomplete regulations led to the failure of the TIQ policy.

Australia's contact-tracing app demonstrated limited effectiveness due to the need for separate installations by the state, and New Zealand's integrated QR code app was underutilized, providing little help in actual contact-tracing.

Singapore's "Trace Together" app, launched in March 2020, achieved 99% citizen adoption by January 2023. The country has also enhanced tracing efficiency through Zendemic, a digital platform that enables public health workers to access an integrated, up-to-date interface [7].

Blending traditional and digital contact-tracing, the UK shifted its strategy by prioritizing cases over tracing all contacts. Launched in May 2020, "Test and Trace" delegated high-risk clusters to Public Health England and general cases to its digital system. However, the three-month transition encountered criticism for having the highest COVID-19 mortality rate. Despite enhanced tracing, a surge in cases prompted a lockdown, raising questions about operational effectiveness.

Canada's "COVID Alert" app faced challenges due to the patient's responsibility to input a one-time code from health authorities, and lacked a clear vision of its public health impact.

2) Isolation policy

Most countries recommend self-isolation or facility isolation for patients with confirmed COVID-19 and close

contacts. Based on experience with the 2003 Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS) outbreak, Taiwan implemented contact-tracing in January 2020, using the Central Epidemic Command Center (CECC) as the central command [8]. No domestic lockdown was implemented, allowing individuals to resume their daily lives after a designated period of isolation for confirmed cases and contacts. Hong Kong did not enforce lockdown policies, but enhanced testing for efficient contact-tracing. One-time economic compensation was provided for economic losses due to the isolation of confirmed cases, and the alleviation of financial burdens related to sick leave helped prevent unjust dismissals.

Singapore used the “Homer” app for isolation policies and monitored users’ locations to send Stay-home Notices and Quarantine Order alerts. Compliance was monitored, including adherence to isolation rules, and managed for better adherence. The existing paid sick leave system compensated for economic losses due to isolation, and provided additional support for employers with low-income households and workers unable to work due to isolation. Support was limited to those who adhered to the isolation rules. Germany and Sweden also

expanded their existing sick leave and disease allowance systems to support COVID-19 isolation policies.

Australia enforced a strict lockdown and contact-tracing policy until the 2021 spread of the Omicron variant, but encountered challenges as cases increased in December 2021. This led to a transition from contact-tracing to distancing measures for infection management. Criticism arose regarding the insufficient consideration of vulnerable populations, keeping schools open, and not minimizing the lockdown period through preparation. New Zealand, with similar isolation policies, demonstrated successful epidemic control due to its geographical advantages and smaller population, which fostered citizen awareness and trust. Both nations implemented paid sick leave to address economic losses during isolation, and compensated for damages from frequent lockdowns with salary support. They also provided financial incentives for voluntary COVID-19 testing during isolation. Similarly, the United States and Canada introduced paid sick leave to offer economic compensation during the pandemic.

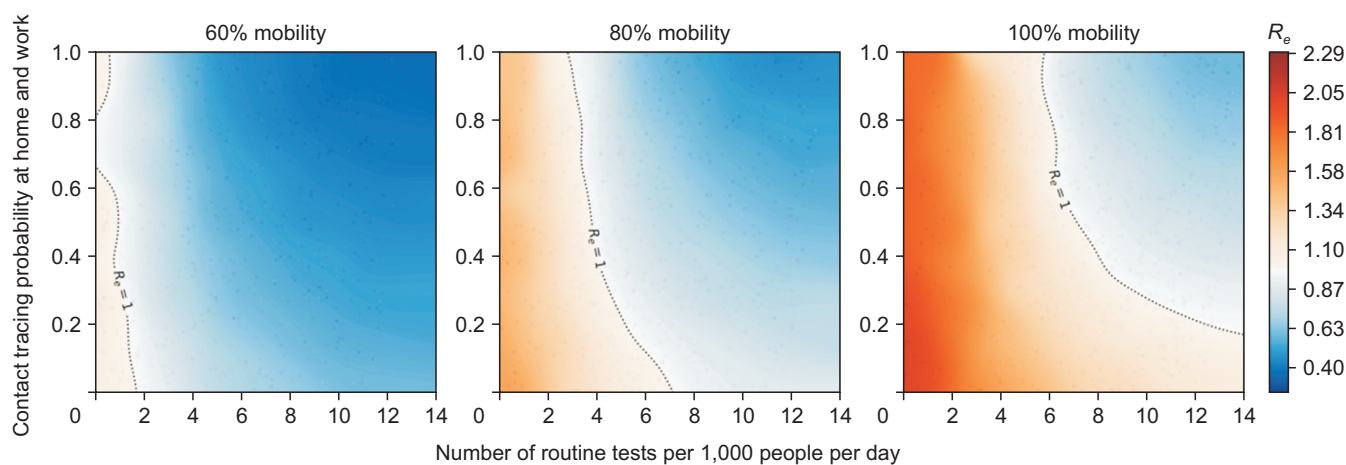


Figure 1. Covasim analysis results (changes in infection indicators based on non-pharmaceutical interventions)
Covasim=coronavirus disease 2019 Agent-based Simulator.

2. COVID-19 Agent-based Simulator for

Contact-tracing, Isolation, and Quarantine Policy

Assuming 100% mobility with lifted social distancing to curb the trend in spread of infection (reducing the infection reproduction index to <1), daily COVID-19 testing of approximately 700,000, 350,000, and 300,000 cases was required when varying the contact-tracing rates to 20%, 50%, and 100%, respectively. When mobility is at 80%, it was found that to curb the spread of COVID-19, daily testing would need to be conducted at approximately 250,000, 200,000, and 150,000 tests if the contact-tracing rates are adjusted to 20%, 50%, and 100%, respectively. Regardless of mobility, increasing the contact-tracing rate beyond 60% did not significantly reduce the number of saved COVID-19 tests (Figure 1).

Discussion

1. Summary of Research Results

Among the contact-tracing policies, Japan's cluster strategy demonstrated a less proactive early response but was considered to be effective until mid-pandemic. Hong Kong successfully suppressed some outbreaks by legally enforcing tracing policies, whereas Sweden opted for a passive approach, considering the prolonged pandemic. Countries such as Japan, Taiwan, Australia, and New Zealand, have had low utilization and effectiveness of contact-tracing applications due to privacy concerns. In contrast, Singapore increased tracing efficiency using digital platforms. The UK combined traditional and digital methods, prioritizing contact-tracing based on effectiveness. Singapore and Germany, unlike Canada, quickly addressed workforce shortages through government-led recruitment. Most countries enforced isolation policies for confirmed cases

and contacts. ROK, Taiwan, Hong Kong, and Japan refrained from regional or national lockdowns despite a surge in cases. Compensation for economic losses due to isolation varied, with Singapore offering incentives for compliance. The Covasim policy simulation revealed that increasing the contact-tracing rate to above 60% is not efficient.

2. Comparison with the Existing Literature and Cross-country Comparison with Republic of Korea

Fetzer and Graeber [1] reported that contact-tracing reduced recurrence and mortality by $>60\%$. Among the surveyed countries (Japan, Hong Kong, Germany, Singapore, Australia, and New Zealand), TIQ policies successfully suppressed large outbreaks. In 2020, the WHO suggested digital contact-tracing in countries with technological infrastructure, privacy laws, and trust [9]. Cases in Japan, Taiwan, Australia, and New Zealand have highlighted the limitations of contact-tracing applications with unclear regulations or low trust. Singapore's well-regulated environment supports successful digital TIQ. However, ethical challenges, such as public trust and personal data protection, were noted in 2021 regarding the ethical aspects of contact-tracing systems [10]. Considering ethical considerations in app design, development, and implementation, a higher compliance rate for digital TIQ policies can be achieved based on trust in the government and regulations.

In 2021, the WHO emphasized community participation for successful contact-tracing. Factors such as considering vulnerable populations and building trust during planning were highlighted. Evaluations of Australia's extended lockdown, considering vulnerable populations and keeping schools open, indicate that applying WHO recommendations at the

Table 1. Characteristics of contact tracing and isolation policies by country and differences in response compared to Republic of Korea

Policy characteristic	Country	Comparison with Republic of Korea
Preparedness for the epidemic through strong lockdown policies	Australia, New Zealand, Taiwan	Disease control through strong lockdown policies considering border closure
Isolation support for close contacts and confirmed cases	Australia, New Zealand, Germany	Promoted isolation through the introduction of paid leave and financial support systems
Contact tracing through cluster strategy	Japan	Comparison of tracking through proactive testing and the social-economic costs and benefits
Supplementing workforce via swift digital response	Singapore	Introduced digital technology in the investigation process to supplement insufficient workforce and enhance efficiency
Swift legal enforcement of quarantine	Hong Kong	Quickly mandated legal isolation during the early stages of the pandemic to suppress transmission
Short-term staffing and management system for contact tracing and isolation	Germany	Training and dispatch system for contact tracers through collaboration between local and central government
Policy preparedness based on previous experience in responding to infectious diseases	Rwanda, Republic of South Africa	Proactive response to novel infectious diseases based on experience in handling infectious diseases
Balancing between daily restrictions and control of infectious disease transmission	Sweden	Minimized compulsion and encouraging voluntary citizen participation in infectious disease response
Inadequate implementation of TIQ policy	United States	Significant variations in response approaches among states without compulsory policies at the federal level

TIQ=contact-tracing, isolation, and quarantine.

community level can mitigate TIQ policy side effects.

Differences in ROK’s responses to TIQ policies compared with other countries are summarized in Table 1. Australia, New Zealand, and Taiwan controlled its spread through robust lockdowns facilitated by border closures. Although ROK is also considered a closed-border nation (due to sharing borders with North Korea) and thus shares geographical similarities with the aforementioned countries, applying such policies requires careful consideration of urban density and transportation development.

Australia, New Zealand, and Germany increased their participation in contact-tracing and isolation through paid leave and financial support (Table 1). Similarly, ROK aided patients

with COVID-19 in isolation and supported low-income individuals and small businesses. However, ROK, similar to the United States, lacked a nationwide paid leave system before the pandemic [11]. Singapore employed digital technology in contact-tracing to address manpower shortages (Table 1). ROK also effectively used credit cards, mobile phone records, and closed-circuit television (CCTV) data for tracing.

3. Significance and Limitations

This study provides an international comparison and comprehensive evaluation of TIQ policies for COVID-19 across major countries, thereby offering guidance for TIQ policy development and implementation. While previous Korean

modeling studies mostly used virtual data, Covasim, which was applied in this study, incorporated real-world data.

However, the selection of countries for TIQ policy comparison lacks standardization, which impacts comparability. Data accessibility for the pandemic period (2020–2021) was limited during collection, and the accuracy of publicly available information requires verification. Future research should supplement this information through interviews with current or former officials from the surveyed countries. In comparing policies across the surveyed nations, the absence of standardized methods necessitated a focus on specific topics such as contact-tracing and isolation, related economic compensation, and use of digital technology. Individual country investigations relied on primary sources from national agencies, predominantly press releases and official announcements, potentially leading to a bias favoring policy strength. The externalities of TIQ policies were generally overlooked in this study.

The primary limitation of the Covasim model is its inability to reflect group infections in densely populated areas, such as ROK, owing to the random sampling of individuals in the contact network. The model's key output variables, such as the infection reproduction index, do not consider important economic costs in policy decisions. Additionally, the model's reliance on assumed data may lead to disparities in reality, necessitating the consideration of the societal context in policy decisions.

4. Implications

Results of this study suggest that, with enhanced consideration, contact-tracing and isolation policies can be effective strategies for preventing the spread of infectious diseases. Recommendations include systematic and extensive disease

surveillance, incentives to improve policy compliance, special considerations for vulnerable populations and communities during lockdown(s), ethical considerations in developing digital tools, and standardized evaluation metrics for future infectious disease outbreaks.

To prepare for future outbreaks of infectious diseases, it is essential to develop standardized evaluation metrics for contact-tracing and isolation policies. The Covasim model, which leverages various data for mobility and contact-tracing, can compute the parameters desired by policymakers based on the levels of these factors. Establishing evaluation metrics is crucial for the swift application and reference of various simulations during the outbreak of a novel infectious disease, aiding in the selection and implementation of appropriate policies.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: This research was funded by Korea Centers for Disease Control and Prevention Agency (No. 2022-08-007).

Acknowledgments: None.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: WJL, JHO, SSH. Data curation: CJL, YSK, GJL, KRN, BDT, SPJ, WJL, JHO, SSH. Formal analysis: CJL, YSK, GJL, KRN, BDT, SPJ, WJL, JHO, SSH. Funding acquisition: SSH. Investigation: CJL, YSK, GJL, KRN, BDT, SPJ, WJL, JHO, SSH. Methodology: WJL, JHO, SSH. Project administration: DSK. Resources: CJL, YSK, GJL, KRN, BDT, SPJ, WJL, JHO, SSH. Software: SPJ, WJL. Supervision: WJL, JHO,

SSH. Visualization: SPJ, WJL. Writing – original draft: CJL.
Writing – review & editing: WJL, JHO, SSH.

References

1. Fetzner T, Graeber T. Measuring the scientific effectiveness of contact tracing: evidence from a natural experiment. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2021;118:e2100814118.
2. Vogt F, Kurup KK, Mussleman P, et al. Contact tracing indicators for COVID-19: rapid scoping review and conceptual framework. *PLoS One* 2022;17:e0264433.
3. Hossain AD, Jarolimova J, Elnaïem A, Huang CX, Richerman A, Ivers LC. Effectiveness of contact tracing in the control of infectious diseases: a systematic review. *Lancet Public Health* 2022;7:e259-73.
4. Simmons-Duffin S. Why contact tracing couldn't keep up with the U.S. COVID outbreak [Internet]. NPR; 2021 [cited 2024 Jan 10]. Available from: <https://www.npr.org/sections/health-shots/2021/06/03/1002878557/why-contact-tracing-couldnt-keep-up-with-the-u-s-covid-outbreak>
5. Kretzschmar ME, Rozhnova G, Bootsma MCJ, van Boven M, van de Wiggert JHHM, Bonten MJM. Impact of delays on effectiveness of contact tracing strategies for COVID-19: a modelling study. *Lancet Public Health* 2020;5:e452-9.
6. Nakamoto I, Jiang M, Zhang J, et al. Evaluation of the design and implementation of a peer-to-peer COVID-19 contact tracing mobile app (COCOA) in Japan. *JMIR Mhealth Uhealth* 2020;8:e22098.
7. From private to public sector with Tim Groleau, lead software engineer [Internet]. Medium; 2022 [cited 2024 Jan 10]. Available from: <https://medium.com/open-government-products/from-private-to-public-sector-with-tim-groleau-lead-software-engineer-3e5b3adad5b7>
8. Lee PC, Chen SC, Chiu TY, Chen CM, Chi C. What we can learn from Taiwan's response to the COVID-19 epidemic [Internet]. *BMJ Opinion*; 2020 [cited 2024 Jun 21]. Available from: <https://blogs.bmj.com/bmj/2020/07/21/what-we-can-learn-from-taiwans-response-to-the-covid-19-epidemic/>
9. World Health Organization (WHO). Ethical considerations to guide the use of digital proximity tracking technologies for COVID-19 contact tracing [Internet]. WHO; 2020 [cited 2024 Feb 7]. Available from: https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-Ethics_Contact_tracing_apps-2020.1
10. Park H. Ethical challenges of COVID-19 contact tracing system and challenges of AI ethics education. *J Ethics* 2021;133:27-52.
11. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Paid sick leave to protect income, health and jobs through the COVID-19 crisis [Internet]. OECD; 2020 [cited 2024 Jan 11]. Available from: https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=134_134797-9iq8w1fnju&title=Paid-sick-leave-to-protect-income-health-and-jobs-through-the-COVID-19-crisis



우리나라 예방접종의 성과와 앞으로의 방향

김유리, 김민제, 이형민*

질병관리청 의료안전예방국 예방접종정책과

초 록

예방접종은 감염병 발생과 중증·사망률을 줄이고 국민의 건강을 보호하기 위한 효과적인 공중보건학적 수단이다. 우리나라는 2023년 로타바이러스 백신을 필수예방접종으로 도입하면서 총 19종의 백신을 어린이, 청소년, 임산부, 어르신에게 지원하고 있다. 우리나라는 다른 국가에 비해 매년 높은 예방접종률을 달성하고 있으며, 이를 통해 홍역 등 감염병을 효과적으로 퇴치할 수 있었다. 최근 필수예방접종 지원 범위 확대에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있다.

주요 검색어: 예방접종; 국가예방접종; 필수예방접종; 감염병 예방

서 론

지난 3년간의 코로나바이러스감염증-19(코로나19) 대응 경험을 통해 예방접종이 감염병 예방에 있어 가장 효과적이며 중요한 수단인 것이 드러났다. 예방접종을 통해 인류는 수많은 질병에 대처할 수 있었고, 개인의 관점에서는 적기에 예방접종을 하여 중증을 겪고 후유증을 가지고 일생을 살아가거나 사망하는 일을 예방할 수 있었다. 생애주기를 고려한 접종이 필요한 이유이다.

백신 개발 기술이 점차 발전하면서, 예방접종가능 감염병(vaccine-preventable disease)의 범위가 넓어지고 있으며, 질병을 보다 효과적으로 예방할 수 있는 개량백신이 개발되기도 한다. 2023년 11월 세계 최초의 치쿤구니야(Chikungunya)

백신이 미국 식품의약국 허가를 받았으며, 코로나19는 거듭되는 변이에 대응하는 백신이 매년 개발된 바 있다.

효과적이고 안전한 신규백신의 개발과 더불어 질병부담이 높은 대상군에 대한 필수예방접종 확대 등 사회적 요구에 대응하여, 질병관리청은 면밀한 검토를 통해 필수예방접종의 지원 범위를 지속 확대해 나가고 있다.

본 론

우리나라는 1882년 두창 예방접종을 시작으로 국가 주도의 예방접종이 이루어졌으며, 현행 예방접종 근거법인 「감염병 예방 및 관리에 관한 법률(감염병예방법)」의 전신이 되는 「전염병예방법」이 1954년 제정되면서 법적 토대를 갖추게 되

Received May 28, 2024 Revised June 17, 2024 Accepted June 18, 2024

*Corresponding author: 이형민, Tel: +82-43-719-8350, E-mail: sea2sky@korea.kr

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



KDCA

Korea Disease Control and Prevention Agency

핵심요약

① 이전에 알려진 내용은?

예방접종은 가장 효과적인 공중보건학적 수단이며, 질병관리청은 예방접종을 통해 홍역, 풍진 등 다양한 감염병을 국내에서 퇴치할 수 있었다.

② 새로이 알게 된 내용은?

앞으로는 예방접종 대상 질병과 백신 특성에 맞는 효과평가 체계를 구축하고 정기적으로 검토할 예정이다.

③ 시사점은?

질병관리청은 코로나바이러스감염증-19 예방접종 등 신종 감염병 대응과 더불어 생애주기에 걸친 예방접종으로 국민의 건강피해를 최소화하고 생명을 보호하고 있다.

었다. 1954년 두창, 디프테리아 등 7종의 감염병에 대한 예방접종이 필수예방접종으로 지정된 이래, 지난 70년간 도입의 필요성이 높고 시급한 감염병을 대상으로 필수예방접종을 확대하였으며, 2023년 로타바이러스 감염증이 필수예방접종으

로 도입되면서 총 19종의 백신을 지원하고 있다(표 1).

필수예방접종으로 지원한 이후 두창을 비롯하여, 폴리오, 디프테리아 등의 감염병이 퇴치되었으며, 일본뇌염을 비롯하여 백일해 등의 질환도 예전에 비해 발생이 현저히 감소하였다(표 2) [1]. 2000-2001년 약 5만 6천건의 발생이 있었던 홍역의 경우에는 취약아동의 예방접종 확인사업 등을 포함한 「국가홍역퇴치 5개년 사업」을 시행하여 2006년에 퇴치 선언을 할 수 있었다[2]. 1979년부터 필수예방접종을 시행한 풍진도 꾸준히 발생이 감소하여 2017년 World Health Organization (WHO)의 퇴치인증을 받았다. 2002년부터 B형간염 주산기 예방사업을 실시하였고 6년만에 WHO로부터 B형간염 관리 성과인증서를 취득하기도 하였다. 로타바이러스의 경우, 필수예방접종으로 도입된 2023년에만 약 488억 원의 가계 비용을 절감하여 영유아의 건강을 보호하고 가계 부담을 완화하는 데에 기여하였다.

이와 같은 감염병 예방 및 퇴치는 우리나라의 높은 예방접종률에 기인한다. 2022년 기준, 국가별로 동일한 연령대(생후

표 1. 필수예방접종 지원 백신

사업대상	백신 종류
어린이	결핵(피내용), B형간염, 디프테리아/파상풍/백일해, 파상풍/디프테리아, 파상풍/디프테리아/백일해, 폴리오, 디프테리아/파상풍/백일해/폴리오, 디프테리아/파상풍/백일해/폴리오/b형헤모필루스인플루엔자, b형헤모필루스인플루엔자, 폐렴구균(pneumococcal conjugate vaccine), 홍역/유행성이하선염/풍진, 수두, 일본뇌염 불활성화 백신, 일본뇌염 약독화 생백신, A형간염, 사람유두종바이러스감염증, 인플루엔자, 로타바이러스 감염증
청소년	인플루엔자, 사람유두종바이러스
임신부	인플루엔자
어르신	인플루엔자, 폐렴구균(pneumococcal polysaccharides vaccine)

표 2. 감염병별 최다발생 이후 감소율

감염병	최다발생 수(발생연도)	2023년 환자 수(명)	감소율(%)
디프테리아	1,281 (1966)	0	100.0
백일해	16,887 (1961)	293	98.2
폴리오	2,003 (1961)	0	100.0
홍역	32,647 (2000)	8	99.9
풍진	128 (2001)	0	100.0
일본뇌염	3,563 (1966)	17	99.5

Reused from <https://dportal.kdca.go.kr/pot/is/summary.do> [1].

36개월 기준)에 접종 받는 어린이 예방접종률을 비교한 결과, 우리나라 어린이의 예방접종률은 97.0%로 다른 나라에 비해 평균 약 2-10%p 가량 높은 것으로 파악된다(그림 1) [3-6].

우리나라는 감염병예방법 제24조 및 제25조에 근거하여 특별자치시장·특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장이 국민에게 시행하여야 할 예방접종 대상 질환을 필수예방접종과 임시예방접종으로 구분하여 예방접종을 시행해 오고 있다(표 3).

개발된 백신을 안전하고 효과적으로 사용하기 위해서 국가별 감염병 특성을 근거로 한 예방접종지침을 마련하여야 한다. 질병관리청은 감염병에 대한 실시기준과 방법에 대한 표준예방접종지침을 예방접종전문위원회 심의를 거쳐 주기적으로 개정하여 발간하고 있다(보충 그림 1; available online).

국가에서 지원하는 필수예방접종 대상 감염병의 범위는 국가별 감염병 특성과 질병부담의 규모, 백신의 유효성과 안전성, 비용-효과 분석, 백신 도입 우선순위, 접종수요 등을 종합적으로 고려하여 결정된다.

우리나라는 WHO에서 공식적인 국가 보고를 통해 필수예방접종 포함여부를 집계·게시하고 있는 20종의 감염병(백일해, A형간염, 로타바이러스감염증 등) 중 말라리아, 수막구균, 황열을 제외한 나머지 감염병의 백신을 필수예방접종사업으로 도입하였다. 말라리아, 수막구균, 황열은 국내 발생이 없거나 적어서 백신의 도입 필요성이 높지 않아 우리나라에서 지원하고 있지 않다.

필수예방접종이 도입된 이후에도 필수예방접종 도입에 따른 감염병의 발생 및 중증·사망을 감소 정도 등을 지속적으로

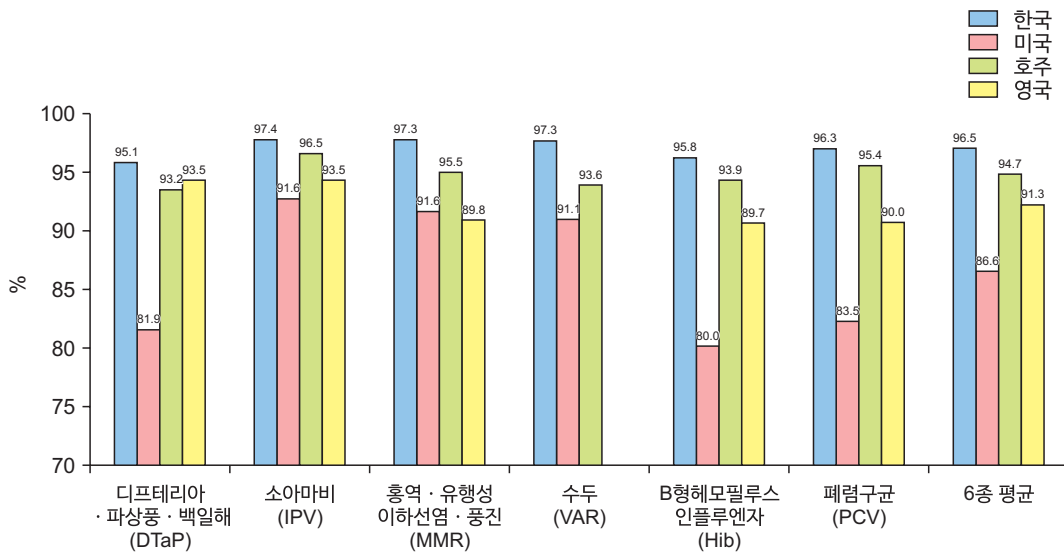


그림 1. 국가별, 백신별 예방접종률(만 2세 어린이 기준)

DTaP=diphtheria/tetanus/pertussis; IPV=polio; MMR=measles/mumps/rubella; VAR=varicella; Hib=type B Haemophilus influenza; PCV=pneumococcal conjugate vaccine.

표 3. 우리나라 감염병예방법상 예방접종 대상 감염병

구분	감염병
필수예방접종(제24조)	디프테리아, 폴리오, 백일해, 홍역, 파상풍, 결핵, B형간염, 유행성 이하선염, 풍진, 수두, 일본뇌염, b형헤모필루스인플루엔자, 폐렴구균, 인플루엔자, A형간염, 사람유두종바이러스 감염증, 그룹 A형 로타바이러스 감염증, 장티푸스, 신증후군출혈열
임시예방접종(제25조)	코로나바이러스감염증-19, 엠폭스 외 특별자치시장·특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장이 감염병 예방을 위하여 예방접종이 필요하다고 인정한 감염병 등

로 모니터링하여 예방접종으로 인한 성과를 평가하고, 향후 사업의 방향을 제시하여야 한다.

예방접종의 성과를 평가하기 위해서는 대상 질병과 백신 특성에 맞는 효과평가 체계를 구축하고 정기적으로 시행할 필요가 있다. 질병관리청은 체계적이고 지속가능한 효과평가를 위해 질병 및 백신별 효과평가 방법을 정립하고, 평가 이후 결과의 환류 및 정책 반영에 필요한 기준과 절차 등을 수립하여 효과평가 매뉴얼을 마련하고자 한다. 평가 결과를 토대로 접종횟수, 대상자, 활용백신 등 예방접종 실시기준과 방법을 수정하는 등 정책에 반영할 수 있어야 더욱 효과적이고 안전한 접종이 가능할 것이다.

결 론

최근 필수예방접종으로 도입된 로타바이러스 백신은 영유아에게 심한 설사와 탈수, 전해질 불균형 등을 일으키는 로타바이러스 감염을 방지하기 위해 도입되었다. 필수예방접종으로 선정된 백신은 매년 많은 수의 국민들이 접종받게 되고 지속적으로 대규모의 예산이 투입되어 보건적, 재정적 영향이 크므로, 지원을 확대하기 전후 면밀한 검토가 필요하다. 이에, 질병관리청은 지원이 필요한 백신의 우선순위 및 효과를 주기적으로 평가하여 근거 기반의 국가예방접종 정책을 수립하고 지원 대상 백신을 확대해 나가고 있다.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: None.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: HML, YRK. Data curation: YRK, MJK. Investigation: YRK, MJK. Resources: YRK, MJK. Supervision: HML. Writing – original draft: YRK. Writing – review & editing: YRK, MJK.

Supplementary Materials

Supplementary data are available online.

References

1. Communicable Disease Portal [Internet]. Korea Disease Control and Prevention Agency; 2024 [cited 2024 Apr 30]. Available from: <https://dportal.kdca.go.kr/pot/is/summary.do>
2. Lee JG, Son YM. National immunization program: present and future in Korea. *Pediatr Infect Vaccine* 2001;8:36-42.
3. Korea Disease Control and Prevention Agency. 2021 national child immunization rate status. Korea Disease Control and Prevention Agency; 2022.
4. Centers for Disease Control and Prevention [Internet]. Centers for Disease Control and Prevention; 2021 [cited 2022 May 20]. Available from: <https://www.cdc.gov/vaccines/imz-managers/nis/about.html>
5. Hull B, Hendry A, Dey A, Brotherton J, Macartney K, Beard F. Annual immunisation coverage report 2021. *Commun Dis Intell* (2018) 2023;47.
6. Childhood Vaccination Coverage Statistics [Internet]. NHS England; 2021 [cited 2022 May 20]. Available from: <https://digital.nhs.uk/data-and-information/publications/statistical/nhs-immunisation-statistics/>

Performance and Future Direction of Immunization Policy in the Republic of Korea

Yuri Kim, Minje Kim, Hyungmin Lee*

Division of Immunization Policy, Department of Healthcare Safety and Immunization, Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea

ABSTRACT

Vaccination is an effective public health tool to reduce the incidence, severity, and mortality of infectious diseases and protect the health of individuals. In 2023, the Republic of Korea (ROK) has introduced the rotavirus vaccine as a mandatory vaccination, providing 19 types of vaccines for children, adolescents, pregnant women, and the elderly. ROK achieves a higher vaccination rate annually than other countries; therefore, it has effectively fought infectious diseases, such as measles. Recently, there have been discussions on expanding the scope of essential vaccination support.

Key words: Immunization; Immunization program; Vaccination; Vaccine-preventable disease

*Corresponding author: Hyungmin Lee, Tel: +82-43-719-8350, E-mail: sea2sky@korea.kr

Introduction

Vaccination is the most effective and vital means of preventing infectious diseases, as evidenced by our response to coronavirus disease 2019 (COVID-19) over the past 3 years. Through vaccination, several diseases have been managed, and timely vaccination has prevented severe illness, long-term aftereffects, and death. Therefore, it is crucial to consider the life cycle when planning vaccination schedules.

As vaccine development technology has advanced, the range of vaccine-preventable diseases (VPD) has expanded, and improved vaccines have been created for more effective disease prevention. In November 2023, the world's first Chikungunya vaccine was approved by the U.S. Food and

Drug Administration. In addition, vaccines that address the ongoing mutations of the coronavirus (SARS-CoV-2) have been developed annually for COVID-19.

In response to social demands, such as the development of effective and safe new vaccines and the expansion of mandatory vaccinations for high-risk groups, the Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA) has continuously broadened the scope of support for mandatory vaccinations through careful review.

Results

In the Republic of Korea (ROK), state-led vaccination began with the smallpox vaccination in 1882. The foundation

Key messages

① What is known previously?

Vaccination is the most effective public health measure, and the Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA) have domestically eradicate various infectious diseases, such as measles and rubella, through vaccination.

② What new information is presented?

Eventually, a system for evaluating the effectiveness of vaccinations based on target diseases and vaccine characteristics should be established and regularly reviewed.

③ What are implications?

Besides responding to new infectious diseases, such as coronavirus disease 2019 (COVID-19) vaccinations, the KDCA is minimizing health damage and protecting lives through vaccination throughout the life cycle, aside from responding to new infectious diseases, such as COVID-19.

for the current vaccination program was laid with the enactment of the Infectious Disease Prevention Act in 1954, originally known as the Infectious Disease Control and Prevention Act. This established the legal framework for vaccination in the ROK. Since the designation of seven infectious diseases, including smallpox and diphtheria, as mandatory vaccinations in

1954, the scope of mandatory vaccinations has expanded over the past 70 years to include diseases with a high and urgent need for immunization. As of 2023, with the introduction of mandatory vaccination against rotavirus, a total of 19 types of vaccines are supported (Table 1).

With the support of mandatory vaccinations, infectious diseases such as smallpox, polio, and diphtheria have been eradicated, and the incidence of diseases such as Japanese encephalitis and whooping cough has decreased significantly compared to the past (Table 2) [1]. For instance, following the implementation of the National Measles Eradication 5-Year Project, which included a vaccination verification project for school-aged children, measles cases dropped from approximately 56,000 in 2000–2001, leading to the declaration of measles eradication in the ROK by 2006 [2]. Similarly, rubella incidence has steadily decreased since mandatory vaccination began in 1979, and ROK received eradication certification from the World Health Organization (WHO) in 2017. The hepatitis B perinatal prevention project, initiated in 2002, achieved WHO certification within 6 years. In 2023 alone, the introduction of mandatory vaccination against rotavirus infection reduced household costs by approximately KRW 48.8 billions, protecting the health of infants and young children and

Table 1. Mandatory vaccination

Target	Vaccine type
Children	Tuberculosis (BCG, intradermal use), Hepatitis B (HepB), Diphtheria/Tetanus/Pertussis (DTaP), Tetanus/Diphtheria (Td), Tetanus/Diphtheria/Pertussis (Tdap), Polio (IPV), Diphtheria/Tetanus/Pertussis/Polio (DTaP-IPV), Diphtheria/Tetanus/Pertussis/Polio/Type B haemophilus influenza (DTaP-IPV/Hib), Type B haemophilus influenza (Hib), Pneumococcal infection (Pneumococcal Conjugate Vaccine, PCV), Measles/Mumps/Rubella (MMR), Varicella (VAR), Japanese encephalitis inactivated vaccine (IJEV), Japanese encephalitis live attenuated vaccine (LJEV), Hepatitis A (HepA), Human papillomavirus infection (HPV), Influenza (IIV), Rotavirus infection (RV)
Teenager	Influenza (IIV), Human papillomavirus infection (HPV)
Pregnant women	Influenza (IIV)
The elderly	Influenza (IIV), Pneumococcal infection (pneumococcal polysaccharides vaccine, PPSV23)

Table 2. Rate of decrease since the most outbreak by infectious disease

Infectious disease	Highest number of occurrences (year of occurrence)	No. of patients in 2023	Reduction rate (%)
Diphtheria	1,281 (1966)	0	100.0
Pertussis	16,887 (1961)	293	98.2
Polio	2,003 (1961)	0	100.0
Measles	32,647 (2000)	8	99.9
Rubella	128 (2001)	0	100.0
Japanese encephalitis	3,563 (1966)	17	99.5

Reused from <https://dportal.kdca.go.kr/pot/is/summary.do> [1].

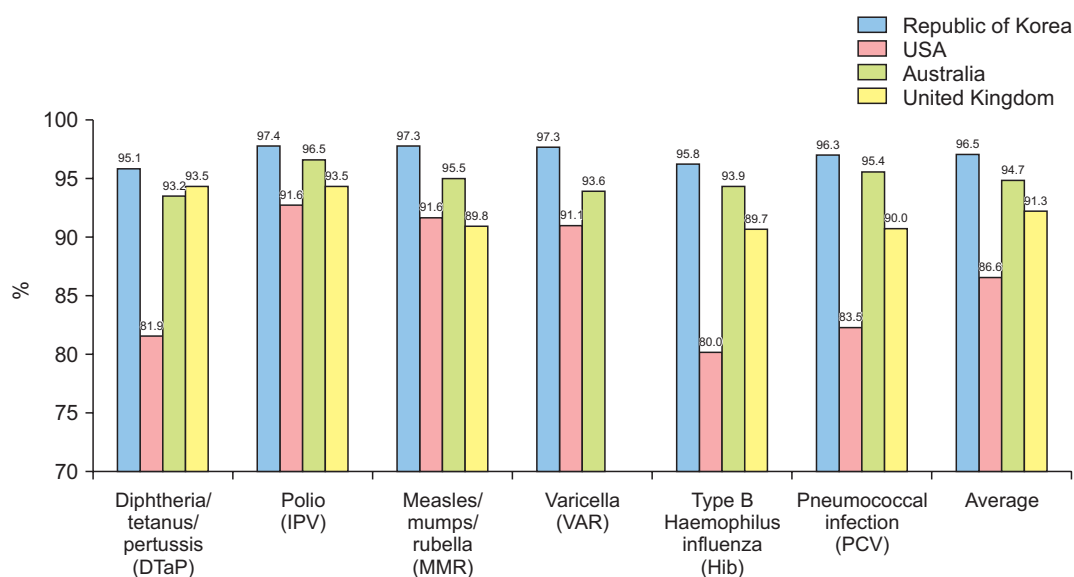


Figure 1. Vaccination rates by country and vaccine (based on children aged 2 years)

alleviating household financial burdens.

The high vaccination rate in the ROK has been crucial in the prevention and eradication of infectious diseases. According to the results of comparing the vaccination rate of children vaccinated in the same age group (36 months old) by country as of 2022, the vaccination rate of children in the ROK is 97.0%, which is about 2 to 10 percentage points higher on average than other countries (Figure 1) [3-6].

In the ROK, the special self-governing city mayor, special self-governing province governor, or head of Si, Gun, or Gu has provided vaccinations for diseases subject to vaccination

to the public by dividing them into mandatory vaccination and temporary vaccination based on Articles 24 and 25 of the Infectious Disease Prevention Act (Table 3).

To ensure the safe and effective use of vaccines, vaccination guidelines must be established based on the characteristics of infectious diseases in each country. After review by the Korea Expert Committee on Immunization Practices, the KDCA periodically revises and publishes standard vaccination guidelines on implementation standards and methods for infectious diseases (Supplementary Figure 1; available online).

The government determines the scope of infectious

Table 3. Infectious diseases subject to vaccination under the Korean Infectious Disease Prevention Act

Vaccination	Infectious disease
Mandatory vaccination (Article 24)	Diphtheria, Polio, Pertussis, Measles, Tetanus, Tuberculosis, hepatitis B, Mumps, Rubella, Varicella, Japanese encephalitis, Type B haemophilus influenza, Pneumococcal infection, Influenza, Hepatitis A, Human papillomavirus infection, Rotavirus infection, Typhoid, Hemorrhagic fever with renal syndrome
Temporary vaccination (Article 25)	In addition to coronavirus disease 2019 and MPOX, infectious diseases, etc. deemed necessary for vaccination by the mayor, the governor of a special self-governing province, or the head of a Si/Gun/Gu

diseases subject to mandatory vaccination by considering the characteristics of the diseases, the scale of the disease burden, vaccine effectiveness and safety, cost-effectiveness analysis, vaccine introduction priorities, and vaccination demand.

Among the 20 infectious diseases for which the WHO counts and publishes the inclusion of mandatory vaccinations, ROK has introduced mandatory vaccination for all except malaria, meningococci, and yellow fever, due to the low incidence or rarity of these diseases in the ROK.

Even after the introduction of mandatory vaccinations, it is crucial to continuously monitor the incidence of infectious diseases and the reduction in severity and mortality rates to evaluate the performance of vaccination programs and guide future projects.

An effectiveness evaluation system appropriate for the target disease and vaccine characteristics should be regularly implemented. The KDCA aims to establish evaluation methods for each disease and vaccine, set standards and procedures for feedback and policy reflection, and prepare an evaluation manual for effectiveness. Using evaluation results, vaccination policies can be adjusted to improve safety and effectiveness, including changes in the number of vaccinations, recipients, and types of vaccines used.

Conclusion

The rotavirus vaccine, recently introduced as a mandatory vaccination, aims to prevent rotavirus infection, which causes severe diarrhea, dehydration, and electrolyte imbalance in infants and young children. Vaccines selected as mandatory vaccinations have significant health and financial impacts, as many people are vaccinated annually and large budgets are continuously invested. Therefore, careful review is required before and after expanding support. Accordingly, the KDCA regularly evaluates the priorities and effectiveness of vaccines requiring support, establishes an evidence-based national vaccination policy, and expands the number of vaccines eligible for support.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: None.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: HML, YRK. Data curation: YRK, MJK. Investigation: YRK, MJK. Resources:

YRK, MJK. Supervision: HML. Writing – original draft:
YRK. Writing – review & editing: YRK, MJK.

Supplementary Materials

Supplementary data are available online.

References

1. Communicable Disease Portal [Internet]. Korea Disease Control and Prevention Agency; 2024 [cited 2024 Apr 30]. Available from: <https://dportal.kdca.go.kr/pot/is/summary.do>
2. Lee JG, Son YM. National immunization program: present and future in Korea. *Pediatr Infect Vaccine* 2001;8:36-42.
3. Korea Disease Control and Prevention Agency. 2021 national child immunization rate status. Korea Disease Control and Prevention Agency; 2022.
4. Centers for Disease Control and Prevention [Internet]. Centers for Disease Control and Prevention; 2021 [cited 2022 May 20]. Available from: <https://www.cdc.gov/vaccines/imz-managers/nis/about.html>
5. Hull B, Hendry A, Dey A, Brotherton J, Macartney K, Beard F. Annual immunisation coverage report 2021. *Commun Dis Intell (2018)* 2023;47.
6. Childhood Vaccination Coverage Statistics [Internet]. NHS England; 2021 [cited 2022 May 20]. Available from: <https://digital.nhs.uk/data-and-information/publications/statistical/nhs-immunisation-statistics/>

청소년 주관적 건강인지율 추이, 2014-2023년

본인이 '매우 건강한' 또는 '건강한' 편이라고 생각하는 청소년은 2023년 남학생 69.5%, 여학생 58.9%로 2022년에 비해 각 1.3%p, 1.1%p 증가하였다. 주관적 건강인지율은 남학생이 여학생에 비해 높았고, 중학생이 고등학생보다 더 높았다(그림 1, 2).

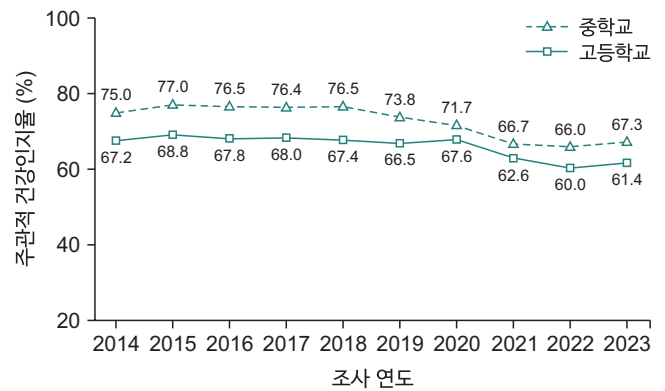
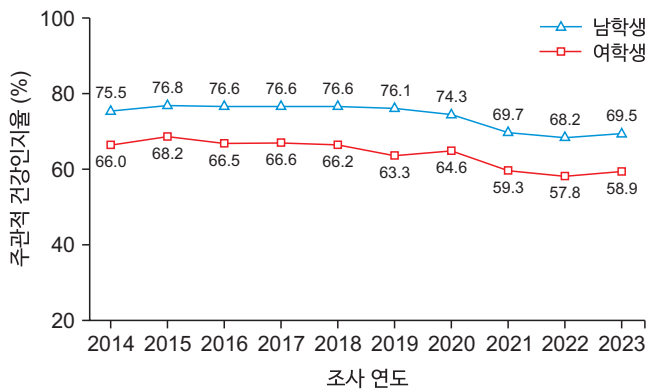


그림 1. 성별 주관적 건강인지율, 2014-2023년

그림 2. 학교급별 주관적 건강인지율, 2014-2023년

*주관적 건강인지율: 본인이 '매우 건강한' 또는 '건강한' 편이라고 생각하는 사람의 비율.

출처: 제19차(2023년) 청소년건강행태조사 통계, <https://www.kdca.go.kr/yhs/>

작성부서: 질병관리청 만성질환관리국 건강영양조사분석과



QuickStats

Trends in the Perceived Health Status among Adolescents, 2014–2023

In 2023, 69.5% and 58.9% of boys and girls, respectively, perceived themselves to be in good or very good health, an increase of 1.3%p and 1.1%p, respectively, compared to 2022. The perceived health status of boys was higher than that of girls, and that of middle school students was higher than that of high school students (Figures 1 and 2).

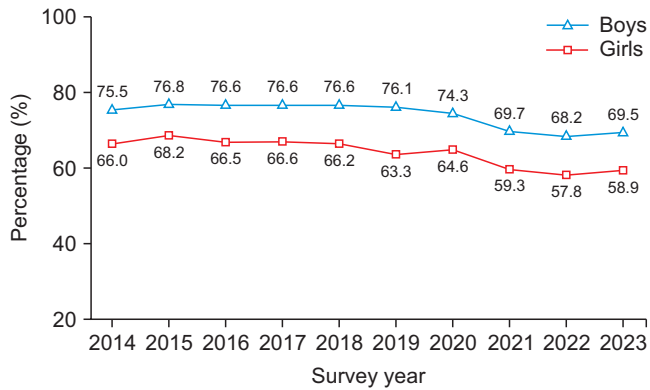


Figure 1. Trends in the perceived health status among adolescents by sex, 2014–2023

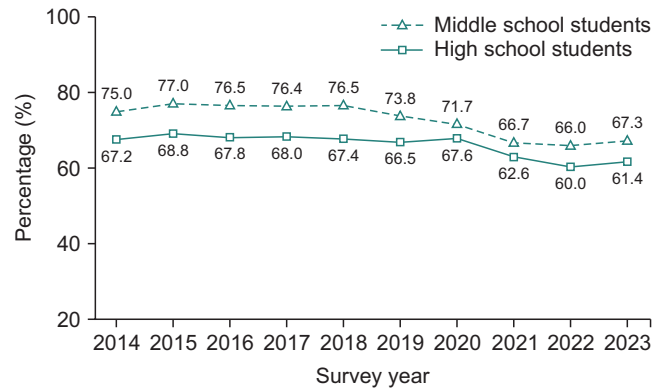


Figure 2. Trends in the perceived health status among adolescents by school levels, 2014–2023

*Perceived health status: perception of oneself to be in good or very good health, among adolescents.

Source: The 19th Korea Youth Risk Behavior Survey 2023 (KYRBS), <https://www.kdca.go.kr/yhs/>

Reported by: Division of Health and Nutrition Survey and Analysis, Department of Chronic Disease Prevention and Control, Korea Disease Control and Prevention Agency