KNTEC
Korea-Nordics Science & Technology Cooperation Center

2025-04호(2025.05)

NORDIC R&D BRIEF

스웨덴 기초의학 분야별 성과와 영향

북유럽과학기술협력센터

KNTEC BRIEF

스웨덴 기초 의학 분야별 성과와 영향 분석 (Quality&Impact of research in basic medicine in Sweden)

2025-04호 (2025.5)

저자 박희웅 센터장(북유럽과학기술협력센터)

본 Brief Report는 **스웨덴 SRC(Swedish Research Council)에서 발간한 보고서[1]의 일부 내용(3장. The evaluation panel's report)을 요약**한 것임

Ⅰ. 개요

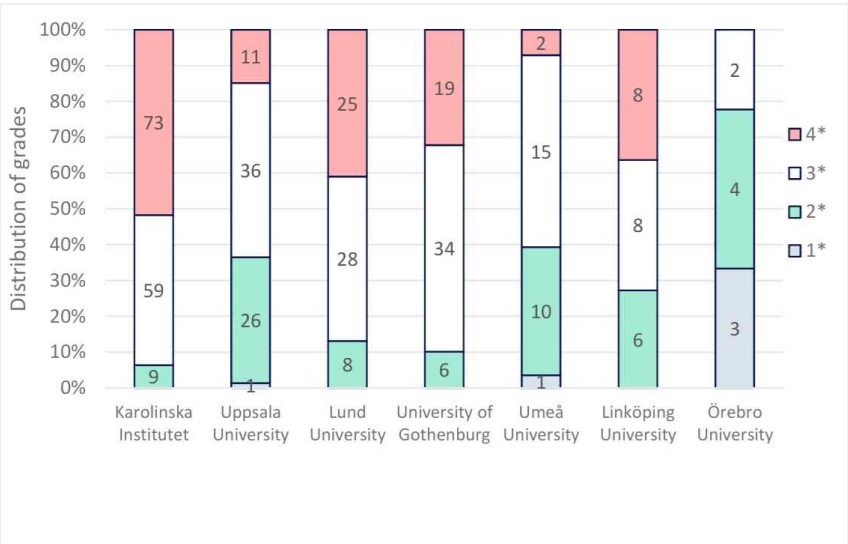
○ 스웨덴 연구위원회(The Swedish Research Council)는 스웨덴의 기초 의학 연구에 대한 국제적 관점에서의 과학적 품질과 사회적 영향력을 평가

- 의과대학을 보유한 **7개 고등교육기관(HEIs)***에서 제출한 상위 1.5% 수준의 논문을 기반으로 생화학, 암 생물학, 세포 생물학, 유전학, 면역학, 미생물학, 분자 생물학, 신경과학 등 하위 분야별로 평가

  * Karolinska Institutet, Uppsala University, Lund University, University of Gothenburg, Umeå University, Linköping University, Örebro University

○ 과학적 품질(Scientific Quality) 평가는 독착성(Originality), 중요성(Significance), 엄밀성(Rigour)을 기준으로 평가를 받았으며, 제출된 논문의 70~80%가 우수 또는 탁월 등급[2]을 받음

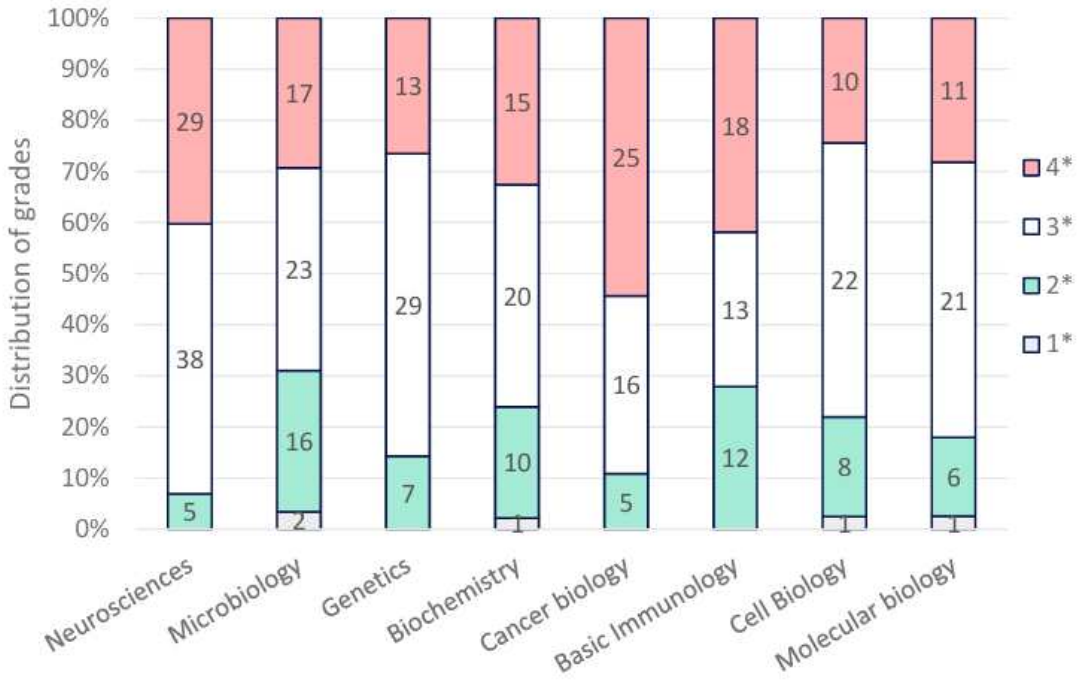
- 대학(기관)별 등급 분포는 카롤린스카 연구소가 4등급(세계 최고 수준) 비율이 가장 높았고, 이어 룬드대, 린셰핑대, 예테보리대가 그 뒤를 이음(그림 1 참조)



〈그림 1〉 기관(HEI)별 논문 평가 등급 분포

1) Quality and impact of research in basic medicine in Sweden(2025.3), Swedish Research Council
2) 4등급(세계 최고 수준), 3등급(국제적으로 우수), 2등급(보통)

○ 하위 분야별로 보면, 3등급(국제적 우수) 및 4등급(세계 선도) 논문 분포는 신경과학(Neurosciences), 유전학(Genetics), 암 생물학(Cancer biology), 세포 생물학(Cell biology) 분야에서 높은 비율을 보이고 있음



〈그림 2〉 하위 분야별평가 등급 분포

II. 하위 분야별 성과

1. 기초 면역학(Basic Immunology)

○ 총 43편의 논문을 대상으로 한 평가 결과, 우수 및 탁월 등급(3~4등급) 등 전반적으로 우수(Excellent)하였으며, 최신 기술(단일 세포 분석, 시퀀싱, 유세포 분석(flow cytometry) 등 최신 기술을 활용

- 연구주제는 만성 염증, 자가면역질환, 알레르기학, 신경면역학, 암 연구 등 다양한 주제를 다루고 있으며, 일부 성과는 패러다임 전환(Paradigm-shifting) 성과를 보였음

○ 서지 분석 결과, 고피인용 비율은 세계 평균보다 약간 낮았으나, 다수의 논문은 국제공동연구를 통해 출판되었고, 특히 3개국 이상과의 협업 결과가 높은 인용도를 보임

* 카롤린스카 연구소(KI)와 웁살라대학교(UU)는 고피인용 논문의 비율이 평균을 상회

〈표 1〉 면역학 분야 기관별 논문 평가 등급 현황

대학명	4★ 논문수	3★ 논문수	2★ 논문수	총제출 논문수
Karolinska Institutet	12	6	1	21
Lund University	4	2	4	10
Uppsala University	-	3	1	4
University of Gothenburg	-	2	2	4
Linköping University	2	-	1	3
Örebro University	-	-	1	1

○ 평가 패널에서 주목한 성과는 카롤린스카 연구소의 논문 중 **신생아의 면역 체계 발달을 다룬 6편 논문과, 공간 전사체학(spatial transcriptomics)과 림프구 클론 동역학(lymphocyte clonal dynamics)**을 규명한 3편임. 또한 룬드대학교의 '장내 교차 관용(intestinal cross-tolerance)'을 보고한 논문도 주목

- 이들 논문은 해당 분야에서 특히 대표적 연구(flagship studies)로 인정 받음

○ 패널은 대학병원과의 협력 강화, 국제공동연구 확대와 임상적 응용으로의 적극적 전환 필요성을 강조함

2. 생화학(Biochemistry)

○ 생화학 분야에서 카롤린스카 연구소는 약 2,200편의 논문을 발표하여 웁살라대보다 약 30% 많은 발표 실적으로 보임

- 고피인용 논문 비율은 카롤린스카 연구소가 14%로 가장 높고, 이어서 예테보리대학교(University of Gothenburg)는 세계 평균에 근접한 수준

○ 이번 평가는 46편의 논문을 기반으로 이루어 졌으며, 스웨덴 생화학 분야 연구는 국제적으로 우수한 수준이며, 특히 **대사(metabolism) 관련 연구, 혁신적인 오믹스(omics) 또는 시스템 생물학 분석 기법에서 강점**을 보였음

- 이러한 성과는 **대사 및 분석법 개발을 통해 사회적 영향으로 연결된 사례 연구**(case studies)에서도 그 강점을 보여주고 있음

- 평가 대상 46편의 논문 중 15편의 논문이 최고 등급(4)*인 세계 최고 수준으로 평가되었으며, 20편의 논문이 3등급(국제적으로 우수)을 받아 전체 논문의 75%가 우수 등급 이상을 받음

* 이 중 카롤린스카 연구소(9편), 예테보리대(5편), 린셰핑대(1편)

〈표 2〉 생화학 분야 기관별 논문 평가 등급 평균

구 분	카롤린스카	예테보리대	웁살라대	린셰핑대	우메오대	외레브로대
평가대상 논문	16	17	5	3	3	2
`평균 등급	3.5	3.2	2.6	2.7	2.3	1.5

○ 논문 중 평가 패널이 주목한 것은

- ① 20% 이상의 논문이 **대사산물(metabolites) 및 기타 소분자 물질 연구** 관련되었으며, ② 많은 논문이 **질량분석 기반의 전사체학(metabolomics) 접근법**을 활용함. ③ 다른 주요 분야는 약물 스크리닝 및 타깃 분석(drug discovery)으로, 높은 평가를 받은 논문에서 두드러짐

- **대사체 기반 연구 및 약물 개발 중심 연구**는 높은 평가 논문에서 비율이 높았으며, **스웨덴의 생화학 연구가 이 분야에서 강점을 보유하**고, **핵심 인프라(core infrastructures)의 강력한 지원을 받고 있다는 점**을 시사

3. 암 생물학(Cancer biology)

○ 제출된 47편의 논문을 평가한 결과, 4등급 54%(25편)*, 3등급 34%(16편) 등 우수 등급 이상이 약 90% 수준이나, 대표(Flagship) 논문으로 지정된 연구는 없었으나 전반적인 논문의 질적 수준은 매우 우수

* 최상위 25편의 논문 중 카롤린스카 연구소(12편), 예테보리대(5편), 룬드대(5편)가 대부분 차지

- 세계 선도 수준의 4등급 논문 중, 특히 **유방암을 대상으로 한 새로운 스크리닝 방법론**, **면역종양학 연구**(예: 림프 구조(lymphoid structures), 세포 노화(senescence), 대사체학(metabolomics)) 등의 주제도 포함

○ 스웨덴 연구는 국내 및 국제 공동연구가 활발하다는 점에서도 높은 평가를 받았으며, **일부 사례(예: AI 기반 암 진단, CAR-T 세포 치료 개발)에서는 스웨덴이 유럽 내에서 최초로 혁신 기술을 도입**하기도 함

4. 세포생물학(Cell biology)

○ 총 41편의 논문을 평가 결과 3등급(국제적 우수) 또는 4등급(세계 선도 수준) 논문의 78%(32편)를 차지*

- 다학제적 협력 및 최신 기법 활용의 특징을 보이고, 여러 논문이 기초 생물학과 임상 연구 간의 융합(cross-fertilisation) 을 통해 질병 관련 메커니즘 연구에 기여

* 4등급 10편, 3등급 22편, 2등급 8편이며, 이중 **카롤린스카 연구소에서 4등급 논문이 6편으로 평가(총 10편 중 6편이 4등급)**받았으며, 그 외 룬드대, 웁살라대, 린셰핑대 등이 4등급 1~2편을 보유

○ 4등급 논문 중에서는 획기적인 발견이 다수 있었으며, 세포생물학을 기반으로 한 다양한 의학 분야에 기여한 것으로 평가

- (예1) 루게릭병(ALS)의 병인에서 혈관주위 섬유아세포(perivascular fibroblast)의 역할 규명
- (예2) 성장판(epiphyseal growth plate)의 새로운 줄기세포 틈새(niche) 발견하여 유전적 계보추적(genetic lineage tracing)을 통해 생리 및 성장과 발달 기전 이해

○ 국제공동연구는 3등급 이상의 논문에서 특히 중요한 역할을 했으며, 전체 41편 중 27편(65%)이 적어도 하나의 해외 기관과의 협업한 결과물임

- 4등급 논문의 90%(9편), 3등급 논문의 63%(14편)가 국제협력 결과물인 반면, 2등급 이하 논문 중 국제 협력 비율은 33%에 불과
- 협력 국가로는 영국과 미국이 각각 20%로 가장 많았으며, 핀란드(15%), 덴마크 및 독일(각각 12%)

○ **스웨덴의 세포생물학 연구는 높은 수준의 과학적 완성도와 국제적 경쟁력**을 보이며, 기초연구와 임상 연구 간의 연계, 혁신성, 글로벌 영향력 측면에서 스웨덴은 세포 생물학 분야에서 주요 선도 국가로 자리매김

5. 유전학 및 유전(Genetics and Heredity)

○ 제출된 49편의 논문을 평가한 결과 웁살라대학교와 카롤린스카 연구소의 논문 수는 비슷한 수준이나, 피인용 영향력은 카롤린스카 연구소가 17% 더 높음

- 그 외 웁살라대학교, 룬드대학교, 예테보리대학교는 모두 약 12% 수준의 높은 피인용 영향력을 보인 반면, 우메오 대학교와 린셰핑 대학교는 각각 4%, 6%로 낮은 수치를 기록
- 49편의 논문 중 4등급(세계 선도 수준)은 13편, 3등급(국제적 우수)은 29편으로 우수 등급 이상의 논문은 총 42편으로 거의 대부분을 차지
- 최고 등급(4등급)의 논문은 카롤린스카연구소, 예테보리대, 웁살라대에서 출판되었으며, 전사체학(transcriptomics), 인간 질병의 유전적 변이 및 후생 유전적 변이, 오믹스 기반의 게놈 진화 연구, 당뇨병, 암, 항생제 내성 등의 분야임

○ 유전학 분야에서의 주요 평가 특이 사항

- **단일세포 전사체 연구(single-cell transcriptomics)의 기술 수준 뛰어남**
- 실질적인 국내 문제 해결 기여: **특정 병원성 변이, 희귀 질환 연구 등**
- 국제적 협력: **미국, 영국, 독일 등과의 활발한 공동연구**
- **오믹스 기반 연구**성과: 'omics' 기반 핵심 인프라의 지원이 뛰어난 연구 성과를 견인

6. 미생물학(Microbiology)

○ 미생물학 분야에서는 총 58편의 논문이 평가 대상이었으며, 이 중 4등급(29%), 3등급(40%)로 평가되어 세계 생의학 분야의 선도적 위치임을 뒷받침

- 특히, 카롤린스카 연구소, 룬드대학교 및 예테보리대학교는 대부분의 논문이 3등급 이상의 논문으로 평가됨
- 서지분석 결과 스웨덴의 **미생물학 분야의 연구 성과는 세계 평균보다 높은 고피인용 비율을 보여주며, 세계적 수준의 연구 성과를 입증**

○ COVID-19 대응 연구에서 선도적 역할, **마이크로 바이모-숙주 상호작용 분야에서도 세계 최고 수준의 성과를 보여준 것으로 평가**

○ 우수 논문 사례

- **COVID-19 면역 연구(카롤린스카 연구소)**: 무증상 또는 경증 환자의 T세포 면역 반응 분석으로 기초 바이러스학과 세포 면역학의 통합적 연구 사례로 높이 평가
- **장내 면역 반응과 마이크로바이옴 상호작용(예테보리대학교)**: TFH 세포의 중심적 역할 확인, TH17 세포의 중요성 재평가, 점막 백신 설계에 중요한 기초 제공
- **박테리오파지 방어 메커니즘 연구(룬드대학교):** TAC 시스템을 활용한 새로운 파지 방어 메커니즘을 규명하였으며, 생화학, 구조생물학, 박테리아 유전학 통합적 연구 수행

○ 스웨덴의 미생물학은 세계적 수준의 경쟁력을 보유하고 있으며, 기술, 임상연계 및 협력 등에서 매우 뛰어난 성과를 내고 있음

- 또한, COVID-19 팬데믹 대응, 마이크로바이옴 연구 선도, 병원체 기본생물학에서 혁신적 연구 결과를 다수 생산

7. 분자 생물학(Molecular biology)

○ 분자 생물학의 평가 대상 논문은 총 39편으로 카롤린스카 연구소(총 15편), 예테보리대(총 7편), 룬드대(총 6편)의 평균 등급은 3.3으로 높은 수준을 유지

- 주요 연구 주제는 전사체학(transcriptomics), 생물정보학(bioinformatics). 미토콘드리아 생물학, 대사 생물학 등임
- 이 분야들은 스웨덴 생명과학 연구자들이 보유한 첨단 연구 플랫폼과 독창적인 기술 역량을 반영하며, **전사체학 발전의 선도국으로서의 위치임을 보여줌**

○ 카롤린스카 연구소는 **분자생물학 분야에서 가장 많은 고피인용 논문**을 보유하고 있으며, 세계 평균을 상회하는 인용 영향력(citation impact)을 보인 유일한 스웨덴 대학

※ 예테보리 대학교(University of Gothenburg)는 인용 영향력이 세계 평균에 근접해 있으며, 연구 성과와 영향력 면에서 상위권 대학으로 분류

○ 우수 논문 사례

- **미토콘드리아 전사 조절 연구(예테보리대)**: REXO2(RNA 엑소뉴클레아제)가 RNA turnover과 프로모터 특이성 유지에 필수적임을 규명하여 미토콘드리아 전사 개시와 대사 사이의 새로운 연결고리 제시
- **염색체 구조 유지 메커니즘 연구(카롤린스카 연구소)**: Smc5/6 복합체가 DNA 루프 압출(loop extrusion) 능력을 가짐을 최초로 실험적 입증*

* in vitro 생화학/물리학 + 세포 내 실험이 결합된 높은 수준의 융합 연구

○ 스웨덴의 분자생물학 연구는 기초 생명과학과 기술 혁신을 선도하는 수준으로, Karolinska를 비롯해 여러 대학들이 세계적 수준의 연구성과를 창출

- 특히 전사체학, 바이오인포매틱스, 미토콘드리아 생물학, 대사 연구 등에서 강력한 플랫폼과 기술 자원을 바탕으로 성과가 창출

8. 신경과학(Neurosciences)

○ 신경과학 분야의 평가대상 논문은 총 72편으로, 이 중 **40%(29편)이 세계 선도 수준(4등급), 53%(38편)가 국제적 우수등급(3등급)**을 받아 **스웨덴 신경과학 연구의 국제적 위상과 수준을 반영**

- 평가된 논문들 중 상당수는 두 개 이상의 스웨덴 대학 소속 저자들이 시니어 공동저자로 참여했으며, 국제 공동 연구가 포함

○ 카롤린스카 연구소는 스웨덴 내 신경과학 분야에서 가장 많은 연구비를 확보하고 있고, 우수 논문 수와 품질 면에서도 선도적 위치임. 예테보리대학교 및 룬드대학교는 카롤린스카에 비해 R&D 자금이 1/4~1/5 수준임에도 높은 연구 품질의 논문을 발표

○ 스웨덴 대학들이 보유한 최첨단 기술 인프라는 신경과학 연구 품질을 유지하고 발전시키는 데 핵심적 자산으로 작용

- 유전체학, 전사체학, 단백질체학, 생물정보학, 신경영상기술 (MRI, PET 등) 등의 관련 인프라는 신경과학 분야의 우수 성과 창출의 기반

○ 임상 코호트의 질적 우수성도 translational neuroscience 분야의 탁월하고 영향력 있는 연구 성과에 크게 기여(예: 혈액 기반 바이오마커 탐색, 신경퇴행성 질환의 MRI/PET 분석)

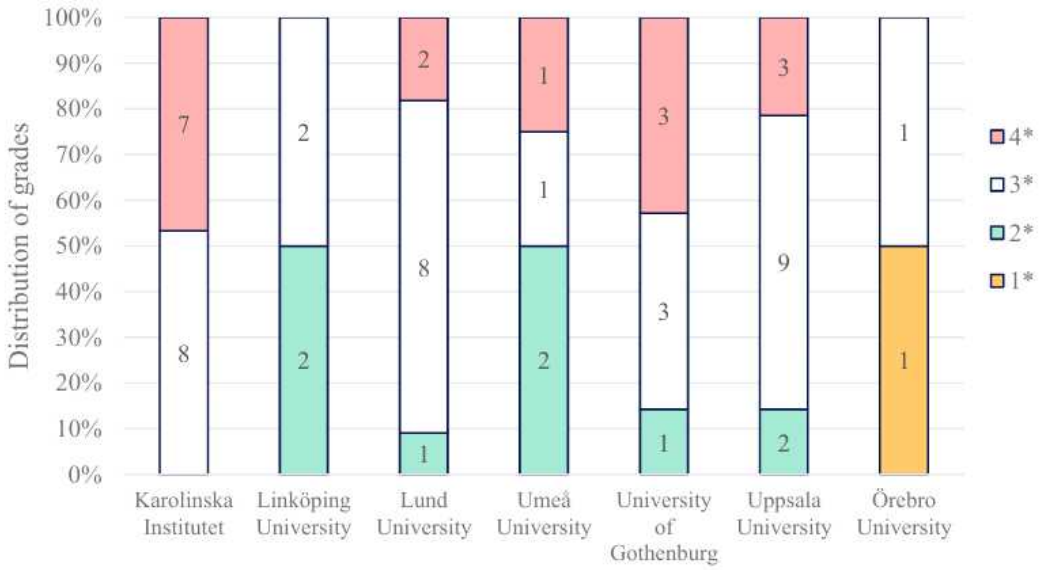
○ 스웨덴의 신경과학 연구는 국제적 수준에서 매우 우수하며, 특히 Karolinska Institutet 중심의 높은 투자와 질적 우수성을 보여줌. 또한 혁신적 기술과 인프라, 협력 및 임상 연계는 스웨덴 신경과학의 강점임

Ⅲ. 사회적 영향(Societal impact)

1. 개요

○ 총 57건의 사례가 카롤린스카 연구소, 룬드, 웁살라, 우메오, 린셰핑, 외레브로 대학에서 제출되었으며,

- 평가 기준은 **Reach(영향의 범위)**(수혜자 수, 수혜자의 다양성), **Significance(영향의 중요성)**(정책, 실무, 진단, 치료, 지식, 인식 등에 미친 영향력)으로 평가



〈그림 2〉 기과별 사례 등급[3)]

2. 대표 우수 사례

① **(웁살라대학교) 신약개발을 위한 약물 동태학 접근법(Pharmacometric approaches used in the discovery, development, and usage of new medicines):**

- 주요 내용 및 성과: 약물 발견 및 사용 과정에서 약물 동태학을 도입하여 전 세계 규제 및 산업표준 수립에 기여하여 글로벌 제약 산업의 규제 표준을 수립하고, 약물 개발의 효율성을 높임
- 사회적 영향: 제약사 및 규제기관 도입, 컨설팅회사 설립, 환자치료 개선

② **(우메오대학교) CRISPR-Cas 유전자편집메커니즘발견(The discovery of the CRISPR-Cas mechanism for genome editing)**

3) 4★ (탁월): 매우 넓은 범위(reach)와 높은 중요도(significance)를 갖춘 사회적 영향을 실증한 사례에 부여
3★ / 2★ (우수 / 보통): 높은 잠재력을 보여주었지만, 아직 영향력이 충분히 실현되지 않은 경우.영향력의 범위와 중요도에 따라 3★ 또는 2★를 부여

- 주요 내용 및 성과: 정밀 유전자 편집 기술 도입으로 의학, 농업, 생명공학 혁신을 통한 유전 질환 치료를 가능하게 했으며, 신약 개발을 가속화하고, 농업 생산성 또한 크게 향상
- 사회적 영향: 핵산을 신속하게 검출할 수 있는 진단법에도 활용되었으며, 2023년에는 Casgevy가 낫적혈구병(sickle cell disease)과 베타 지중해빈혈(beta thalassemia)에 대한 최초의 FDA 승인 CRISPR 치료제로 등장

※ 현재 100개 이상의 CRISPR 기반 치료법이 임상 시험 중이며, 2024년 기준, 80,000건 이상의 특허와 30억 달러를 초과하는 시장 가치를 바탕으로 빠르게 성장하고 있으며, 특히, **상장 기업인 CRISPR Therapeutics는 이 기술의 상업화와 세계적 확산을 주도하는 핵심 기업**으로 평가

③ **(카롤린스카 연구소) 전립선암 조기진단 Stockholm3 개발(Transforming prostate cancer diagnostics and screening)**

- 주요 내용 및 성과: AI 기반 다중 바이오마커 혈액 진단 테스트 개바을 통해 전립선암 조기 탐지할 수 있는 비침습적 진단 도구
- 사회적 영향: 스웨덴·독일·스위스 도입, 조기 진단 향상, 의료비 절감

④ **(웁살라대학교) 법의학 DNA 분석을 통한 범죄 해결 향상(Improving legal security and increasing the number of solved crimes using advanced forensic DNA analyses)**

- 주요 내용 및 성과: 스웨덴 경찰과의 협업을 통해 법의학 검사에서의 민감도를 향상
- 사회적 영향: 범죄 해결률 향상, 법적 안정성 및 신뢰도 제고

⑤ **(카롤린스카 연구소) RNA 추출 없이 가능한 COVID-19 신속 진단법(Rapid RNA-Extraction-Free COVID-19 Testing: Expanding Diagnostic Capacity for Global Health Impact)**

- 주요 내용 및 성과: RNA 추출 과정 없이 COVID-19를 진단할 수 있는 이 방법은 검사 처리 속도를 높이고, 팬데믹 기간 동안 대규모 검사 역량을 확대하는 데 크게 기여
- 사회적 영향: 스웨덴 및 해외에서도 채택, RNA 추출 병목 현상을 해소함으로써 더 빠르고 확장 가능하며, 비용 효율적인 검사 체계 구축 기여

⑥ **(예테보리대학교) 신경모세포종: 전임상 단계의 돌파구와 임상적 영향(Neuroblastoma: preclinical breakthroughs with clinical impact)**

- 주요 내용 및 성과: 기존 약물의 재활용(drug repurposing)은 유망한 임상적 결과를 도출하였으며, 통합 유전체 분석은 개인 맞춤형 치료 가능하게 함
- 사회적 영향: clinical impact): 암 진단 및 치료 향상, 새로운 표적 치료제 개발 기여

⑦ **(예테보리대학교) 항생제 오염과 내성(Antibiotic pollution and resistance)**

- 주요 내용 및 성과: 환경 속 항생제가 병원성 미생물의 항생제 내성에 기여하는 메커니즘을 과학적으로 입증하여, 항생제 오염 문제를 환경·보건정책 으로 연결
- 사회적 영향: UN 등 국제기구 및 정책기관에 영향, 새로운 연구 그룹 형성 및 협력 촉진

⑧ **(카롤린스카연구소) '자궁경부암 예방의 혁신: HPV 선별검사와 백신에서 암 제거 전략까지 (Revolutionising cervical cancer prevention: from HPV screening and vaccination to cancer elimination strategies)**

- 주요 내용 및 성과: 고도화된 선별검사 방법, HPV 백신 접종 확대(남학생 포함), 최첨단 진단 기술 개선을 통한 자궁경부암 예방 체계 강화
- 사회적 영향: 암 예방 증진, 자궁경부암 예방을 위한 국가적·국제적 전략을 주도