

## 제12회 137억년 우주의 진화 7강 노트

(박문호 박사님 강의를 요약 정리한 내용입니다)

오늘 강의는 코로나 19이다.

인류가 감염된 코로나 바이러스는 지금까지 7가지가 있었다.

229E, 5C43, NL63, HKUI, SARS-CoV, MERS, SARS-CoV-2이다.

SARS CoV는 2002년 발병하여 2003년까지 2년간 지속되었으며, 8000명 감염에 800명 사망 하였다.

치사율은 10%였으나, 65세 이상 치사율은 40%정도였다.

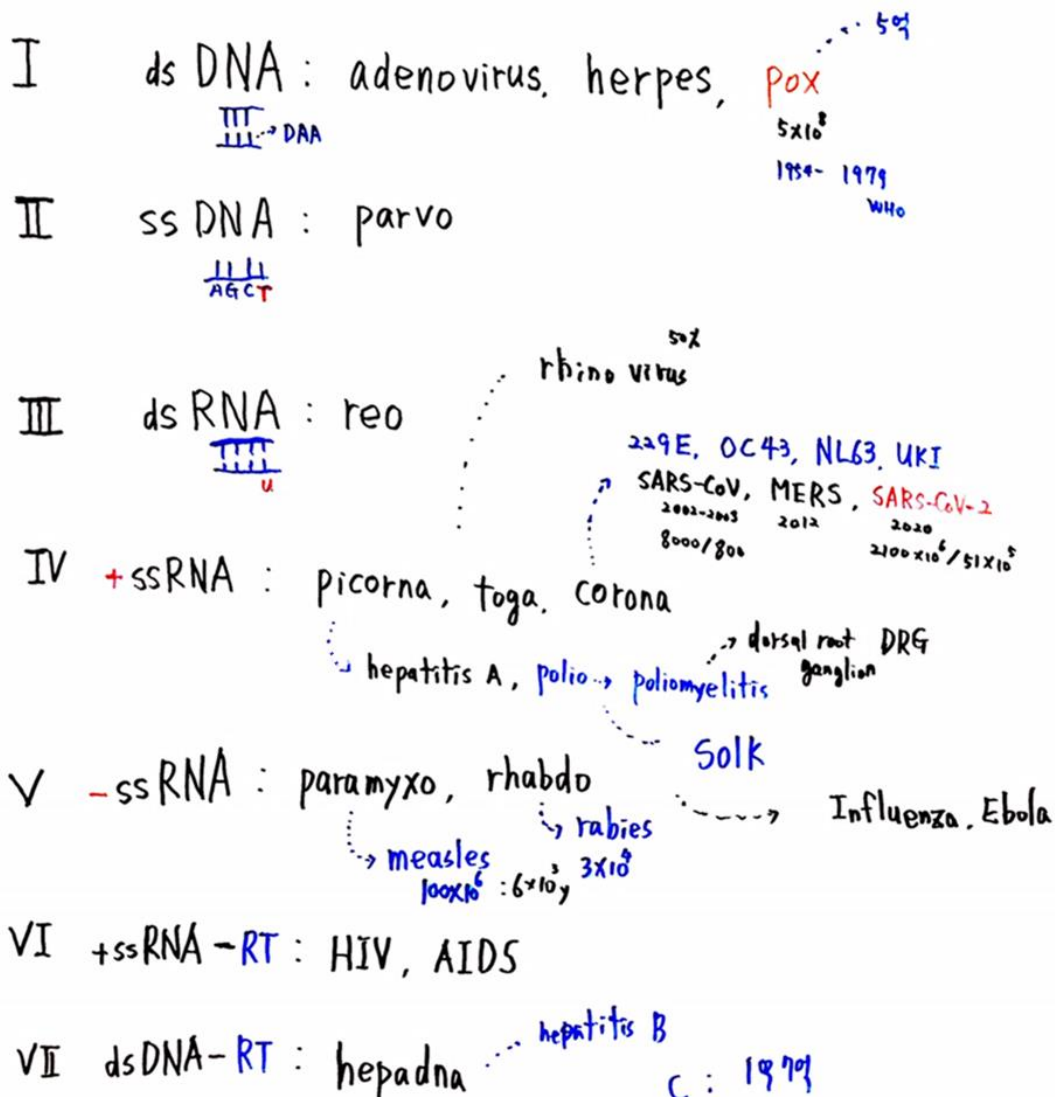
SARS, MERS 모두 동일한 CORONA 바이러스이다.

Baltimore가 바이러스를 7종류로 분류했다.

바이러스 분류의 핵심은 genome이다.

Baltimore

Virus : genome



**type I은 ds DNA 형이다.** Adenovirus, herpesvirus, 그리고 pox(천연두)등이 여기에 속한다.

**Type II는 ss DNA 형이다.** Parvovirus(전염성 홍반)가 여기에 속한다. Genome의 크기가 작다.

**Type III는 ds RNA 형이다.**

모든 진핵세포의 genome은 DNA이다. Reovirus, orbivirus가 여기에 속한다.,

**Type IV는 +ss RNA 형이다.** "+"는 positive sense를 의미한다. 즉 5'에서 시작한다.

Picornavirus, togavirus, coronavirus, flavivirus가 여기에 속한다.

인류가 감염된 코로나 바이러스는 지금까지 7가지가 있었다.

229E, 5C43, NL63, HKUI, SARS CoV, MERS, SARS-CoV-2이다.

SARS-CoV 는 2002-2003년, MERS는 2012년, SARS-CoV-2는 2019년에 왔다. 다음에는 3년 후에 혹은 6년 후에도 올 수 있다. SARS-CoV -2는 현재까지 2,100만 명이 감염되었고 51만명이 사망했다.

Picornavirus에 의한 병에는 hepatitis A(A형 간염), poliomyelitis(소아마비), rhinovirus(코 감기) 등이 있다.

Poliovirus가 척추 신경의 DRG에 염증을 일으킨다. 4-50년 전만해도 소아마비 환자가 흔했었다. 소아마비 백신이 발명됨으로써 요즘은 소아마비 환자를 보기 어렵다. 소아마비 백신은 Jonas Salk가 발명했다. 그리고 Salk Institute를 설립했다.

Flavivirus는 hepatitis C(C형 간염)을 일으킨다.

**Type V는 -ss RNA 형이다.** Paramyxovirus, rhabdovirus, Orthomyxovirus가 여기에 속한다.

Paramyxovirus가 일으키는 질병이 measles(홍역)이다. 지금도 이병으로 매년 100만명이 죽는다.

rhabdovirus에서 매년 3만명이 사망하는 rabies(광견병)이 나온다.

Orthomyxovirus 에서 Influenza가 나온다. 흔히 말하는 독감이다.

Lassa fever와 Ebola도 type 5에 속한다.

**Type VI은 +ss RNA-RT 형이다.** RT는 reverse transcription이다.

HIV(AIDS: acquired immunity deficiency syndrome)가 여기에 속한다.

**Type VII은 ds DNA-RT 형이다.**

hepadnavirus가 여기에 속한다. Hepatitis B 형이 hepadnavirus에 의해 일어난다.

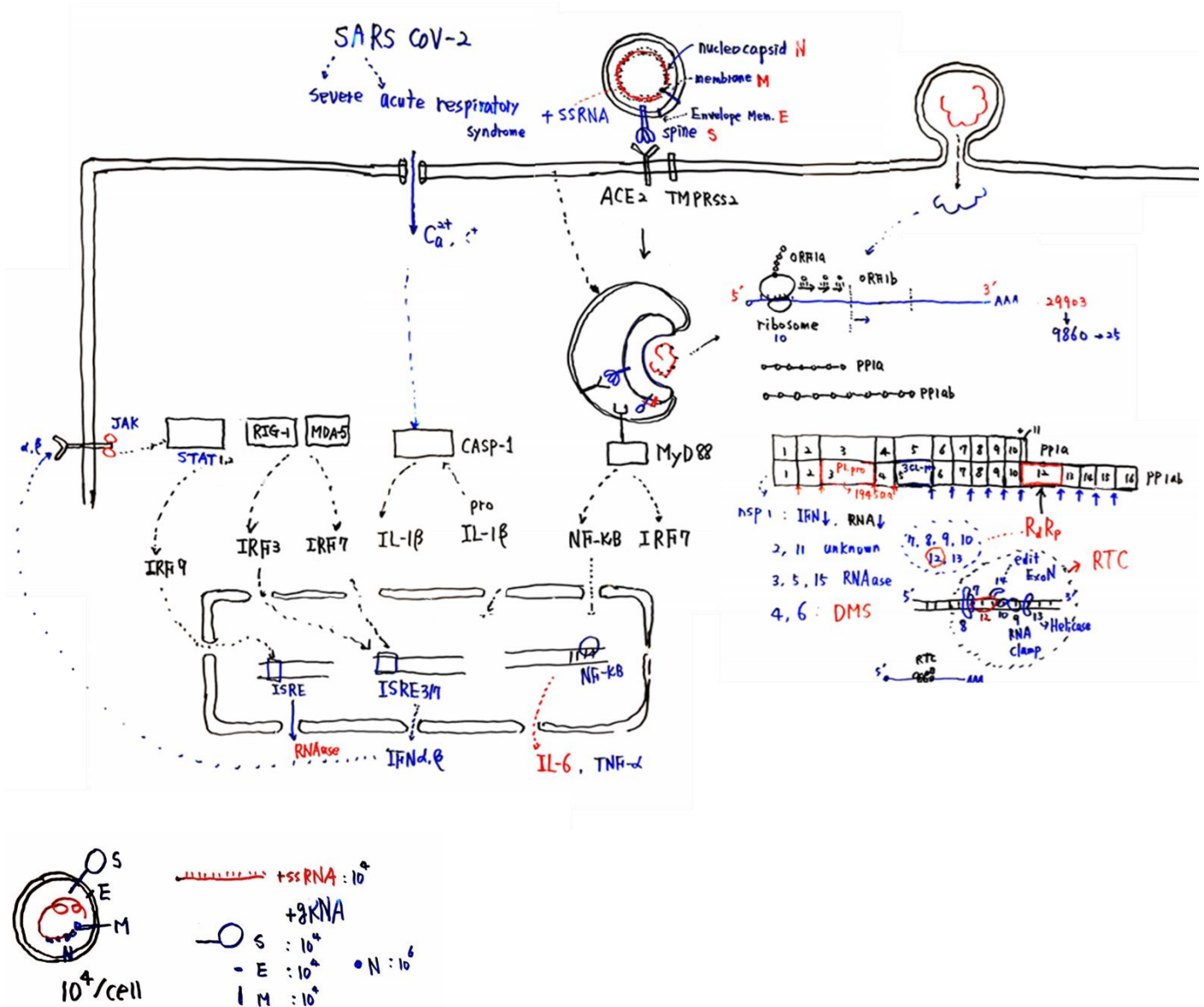
genome은 한 생물 종의 완전한 유전 정보의 총합이다. 게놈은 생명의 설계도이다.

게놈은 DNA일수도 RNA일수도 있다. DNA와 RNA는 ds(double strand)도 ss(single strand)도 게놈이 될 수 있다. 여기에 RT가 추가 된다. 그리고 ss RNA의 경우 positive sense와 negative sense로 나누어 진다. 이렇게 7가지로 분류된다.

바이러스의 크기는  $0.1\mu\text{m}$  이다. 부피로 따지면 우리 세포의  $1/10^6$  크기이다. 세포 속에는 액틴 필라멘트를 비롯

한 10억개의 단백질이 꼭 차 있다. togavirus의 경우 가 10 $\mu$ m 가는데 2시간이 걸린다. 그러나 바이러스들이 하이웨이인 미소세관을 타고 움직인다. 그러면 속도가 400배 빨라진다. Togavirus는 친입 후 12-16 시간 동안 10,000 만 마리의 바이러스를 증식시킨다.

코로나 19 바이러스가 허파파리의 alveolar type II세포로 친입 한다. alveolar type II세포는 윤활유인 surfactant를 분비하는 세포이다. alveolar type II가 망가지면 surfactant의 분비가 줄어들어 허파세포가 응축되어 숨이 차고 호흡이 곤란해 진다. 00:58



코로나 바이러스도 인지질 2중막으로 되어 있다.

코로나 바이러스는 +ss RNA 형으로 S(spike), E(envelope), M(membrane), N(nucleocapsid) 단백질로 구성되어 있다.

ACE2(angiotensin converting enzyme 2) 이온 채널을 통해 들어 온다. 들어올 때 spike를 잘라주는 효소가

TRPRSS2(transmembrane serine protease SS2)이다. 들어오고 나면 바이러스 외피를 host cell의 세포 2중막이 감싸고 있는 모습이다. Envelope가 없는 바이러스의 경우는 바이러스 게놈이 host cell 막과 융합하여 바로 세포 안으로 들어 오기도 한다.

바이러스가 침범하면 Host cell 세포막에는 있는 MyD 88(myeloid differentiation primary response 88)이온 채널이 NF-Kb(nuclear factor kappa-light- chain- enhancer of activated B cell)와 IRF7을 분비하여 경보 신호를 발한다.

바이러스는 빠른 시일 내에 게놈을 복제하고 빠져 나가야 한다.

코로나 19의 전체 nucleotide는 29,903개 이다. 9,860개의 아미노산을 만들고 이 9860개 아미노산으로 약 25개의 단백질을 만든다. +ss RNA 이므로 5'이 앞 쪽에 있다. 바이러스 RNA가 리보솜을 만나 polypeptide를 만든다. 리보솜이 ORF 1a(open reading frame 1a)를 읽으면 pp1a(polypeptide 1a)를 만들고, ORF 1a 와 ORF 1b까지 읽으면 pp1ab를 만든다.

pp1a에는 11개의 단백질이 있고, pp1ab에는 16개의 단백질이 있다. 이 단백질들의 이름이 nsp(nonstructural protein)이다.

각 단백질의 기능은 다음과 같다.

**nsp1:** host cell이 다른 세포와의 통신을 못하게 한다. 즉 INF의 시그널 활동을 못하게 한다.

그리고 host cell에서 만들어 지는 모든 mRNA를 분해해 버린다.

**nsp2, nsp11:** unknown 아직 그 기능을 모른다.

**nsp3:** papain-like protease: nsp1-nsp4 까지를 끊어 준다.

**nsp5:** 3CL protease(3 chymotrypsin-like protease): nsp5번부터 nsp16번 까지 단백질을 끊어 준다.

그리고 IFN 시그널을 억제한다.

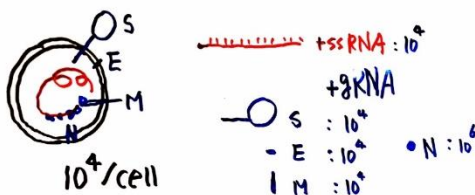
**nsp4, nsp6:** DMVs(double membrane vesicle)를 만든다. ER과 golgi 사이에 ERGIC(ER-Golgi intermediate compartment)를 만든다. 코로나가 아닌 다른 바이러스에서는 nsp6 단백질이 autophagosome 확산을 제한하는 역할을 하기도 한다.

**nsp 7,8,9,10,12,13,14**가 합동하여 nsp 12번 RdRp를 중심으로 RTC(replication-transcription complex)를 만든다.

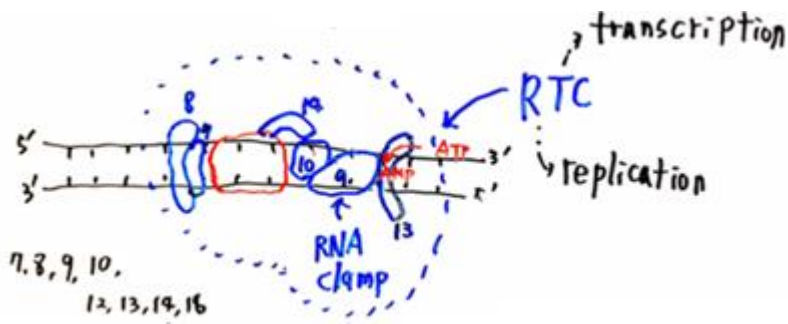
**nsp12:** RdRp(RNA dependent RNA polymerase) 중합효소

**nsp15:** protease

바이러스의 최종 목표는 처음 들어간 바이러스를 10,000개를 만들어 나오는 것이다.

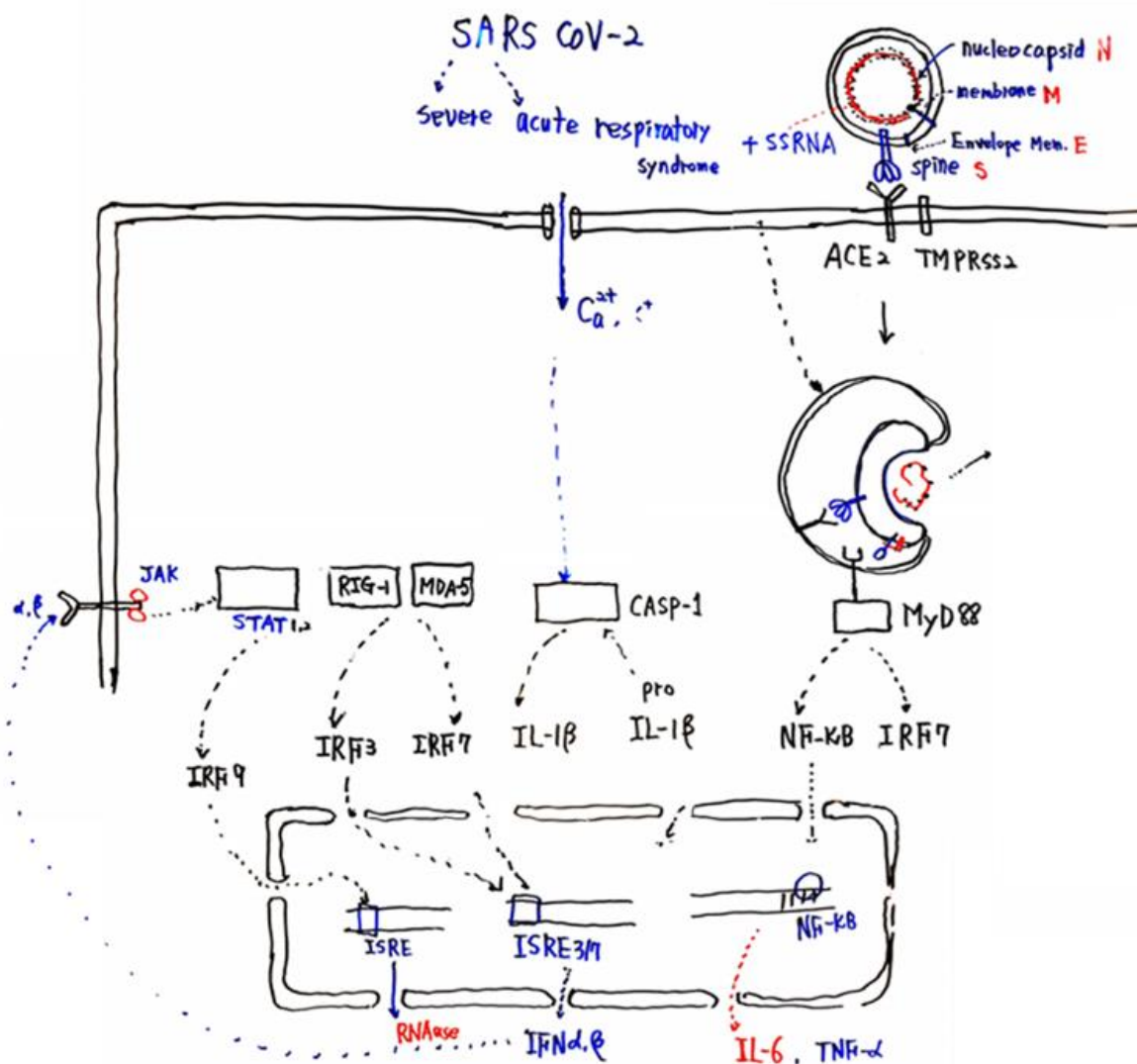


즉 +g RNA 게놈과 S, E, M 단백질을 각각 10,000개를 만들어야 한다. N 단백질은 10,000 세트를 만들어야 하는데, 만드는 위치가 다르다. S, E, M, N 단백질을 만드는 중합효소(polymerase)를 만들어야 한다. 중합효소 이름이 RdRp(RNA dependent RNA polymerase)이다.



만드는 과정은 nsp12가 먼저 붙고, 8번과 7번이 붙는다. 12번 위에 14번이 붙는다. 14번은 에러를 수정하는 에디터 기능이 있다. 12번 앞에 10번과 9번이 붙는다. 9번은 철로 위의 기차를 RNA에 결합시켜주는(binding) 역할을 한다. 13번은 헬리카제이다. 이렇게 연결된 전체를 RTC(replication-transcription complex)라고 한다.

다음은 host cell의 대응 내용이다



이온 채널에서 Ca와 K가 들어와 여러 단계를 거쳐 CASP-1을 trigger한다. 그리고 pro IL-1 $\beta$ 가 CASP-1과 상호작용 후 IL-1 $\beta$ 로 바뀐다. 바이러스 침입을 제일 먼저 알리는 것이 IL-1 $\beta$ 이다. IL-1 B에 의거 pyroptosis가 일어

난다. 일종의 세포 자살이다.

RIG-1(retinoic acid-inducible gene 1)과 MDA5단백질에서 IRF7(interferon regulatory factor 7)과 IRF3가 나온다. 먼저 NF- $\kappa$ B가 핵 속으로 들어가 DNA와 상호 작용을 통해 IL-6가 나와 세포 전체에 경보 신호를 보낸다. 다음에는 TNF- $\alpha$ 가 나온다. 그리고 IRF3와 IRF7이 핵 속으로 들어가 ISRE3/7(INF-stimulated response element 3/7)을 활성화시킨다. 그러면 여러 단계를 거쳐 IFN- $\alpha$ ,  $\beta$ 가 나온다.

이 IFN- $\alpha$ ,  $\beta$ 는 세포 바깥으로 방출된다. 그러면 JAK 단백질을 활성화하고 JAK가 STAT1,2를 자극한다. 그러면 STAT1,2는 IRF 9를 분비한다. IRF 9이 핵 속으로 들어가 ISRE와의 작용을 통해 RNase(ribonuclease)를 내어 놓는다. RNase가 나와서 바이러스 RNA를 분해해 버린다.

TLR718(toll like receptor 718)에 붙은 단백질이 MyD88(myeloid differentiation primary response 88)이다. MyD88에 의해서 NF-KB와 IRF-7이 나온다. NF-KB에서 B는 B cell을 말한다. NF-KB에 의해서 IL-6와 TNF- $\alpha$ 가 나온다.

바이러스 입장에서는 host cell에서 RNase가 나오기 전에 DMVs에 숨어서 작업을 완료하고, 빠져나가 다른 세포를 찾아야 한다. 12 시간 내에 10,000개를 복제하고 탈출해야 하는 것이다.

코로나 19의 이름이 SARS- COV- 2이다.

SARS는 Severe acute respiratory syndrome(중증 급성 호흡기 증후군)이다.

많은 환자들이 cytokine storm으로 죽는다. 면역 시스템이 몸 전체에 경보를 발행하여 과잉 활성화하여 죽게 된다. 치료제 중 하나가 과잉 면역 반응을 억제하는 것이다.(02:24)

(2교시)

프레밍의 페니실린 발명으로 인류의 평균 수명이 40세에서 60세로 늘어났다.

간염은 A, B, C 형이 있는데 바이러스가 각각 다르다.

C형 간염에 감염된 사람이 1억 7천만 명이다. 미국에서만 5백만명이 넘는다. C 형 간염에 걸리면 85%가 간경화와 간암으로 진행된다. 무서운 병이다.

A형은 침으로 전달되고, B, C형은 혈액을 통해서 전달된다.

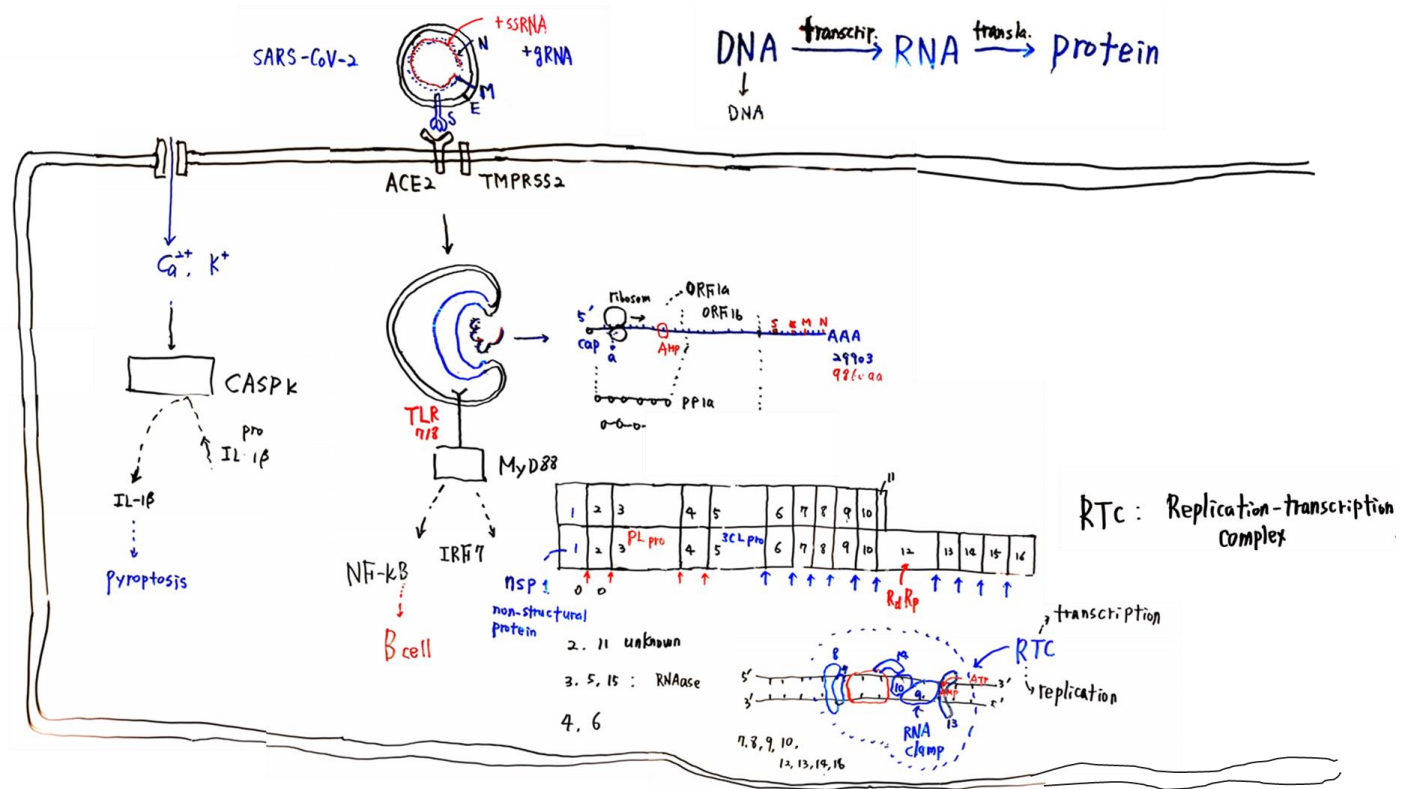
A형은 +ss RNA형인 picornavirus 이고, B형은 ds DNA-RT 형인 hepadnavirus, C형은 +ss RNA 형인 flavivirus이다.

천연두는 1796년 잉글랜드의 의사 [에드워드 제너](#)가 우두를 이용한 백신 접종의 효율성을 입증한 이후, 1950년도부터 서반구 전체적으로 천연두를 뿌리뽑기 위한 노력을 전개하였고, WHO는 1979년 천연두 박멸을 확인했고, 80년 5월 18일 공식적으로 천연두 극복을 선언했다. 우리나라에서 1950-60년대에도 흔했던 곰보가 사라졌다. 인류 역사상 천연두로 인해 5억명 이상이 사망했다. 잉카제국의 2천만 백성의 90%가 천연두로 죽었다.

홍역은 6000천년 전에 출현했다. 우역에서 시작했다. 신석기 도시화 혁명 이후에 소에서 인간으로 전이 되었다. 지금도 홍역으로 어린이가 매년 100만명이 사망한다.



다시 한번 코로나 19 바이러스를 보자



코로나 바이러스 Spike가 ACE2(angiotensin converting enzyme 2)에 접속한다. Spike를 자르는 가위 역할을 하는 단백질이 TMPR(transmembrane serine protease)SS2이다. 바이러스가 갖고 있는 단백질은 Spike, envelope, membrane, nucleocapsid 4가지 단백질이다. 그리고 게놈은 nucleocapsid 속에 들어 있다. 이 게놈은 +ss RNA형이다. 이것을 +g RNA로 표시한다. 이 바이러스의 이름이 SARS-COV-2이다. 인류가 감염된 코로나 바이러스 중 7 번째이다. 코로나 바이러스 RNA는 염기가 29,903개이고, 아미노산은 9,860개 이다.

바이러스 RNA에 리보솜이 붙는다. 대장균 하나의 세포 속에 리보솜이 3백만개나 있다.

인간은 천 만개 정도 된다.

ORF1a 를 읽으면 pp1a가 나오고, ORF1a와 ORF1ab까지 읽으면 pp1ab가 나온다.

pp1a에는 nsp1-nsp11까지 11개 단백질, 그리고pp1ab에는 nsp1-nsp16까지 16개 단백질이 나온다.

이 16개 단백질의 기능을 알면, 바이러스가 S, E, M, N 단백질을 만드는 중합효소의 설계도를 알게 되는 것이다.

바이러스를 극복하려면 이 중합효소가 만들어 지지 못하게 하거나, 작동하지 못하도록 해야 한다.

Remdesivir가 공격하는 목표는 nsp12를 공격한다.

각 단백질의 기능은 다음과 같다.

**nsp1:** host cell이 다른 세포와의 통신을 못하게 한다. 즉 INF의 시그널 활동을 못하게 한다.

그리고 host cell에서 만들어 지는 모든 RNA를 분해해 버린다.

**nsp2, nsp11:** unknown 아직 그 기능을 모른다.

**nsp3:** papain-like protease: nsp1-nsp4 까지를 끊어 준다.(01:41)

**nsp5**, :3C like protease: nsp5번부터 nsp16번 까지 단백질을 끊어 준다. 그리고 IFN 시그널을 억제한다.

**nsp4, nsp6**: DMVs(double membrane vesicle)를 만든다. ER과 golgi 사이에 ERGIC(ER-Golgi intermediate compartment)를 만든다. ERGIC 속에 숨어서 작업을 한다.

코로나 19가 아닌 다른 바이러스에서는 nsp6 단백질이 autosome 방지 역할을 하기도 한다.

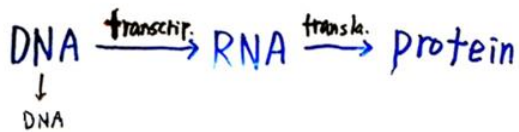
**nsp 7,8,9,10,12,13,14**가 합동하여 nsp 12번 RdRp를 중심으로 RTC(replication-transcription complex)를 만든다.

**nsp12**: RdRp(RNA dependent RNA polymerase) 중합효소

**nsp15**: protease

nsp7-nsp14가 합쳐서 만든 중합효소 풀 세트 이름이 RTC(replication-transcription complex)이다.

생물학의 중심원리(central dogma)



DNA에서 RNA가 나오고 RNA가 단백질을 만든다.

DNA에서 RNA가 되는 것을 transcription(전사)이라 하고, RNA에서 단백질이 되는 과정을 translation(번역)이라고 한다.

DNA에서 똑 같은 DNA를 만드는 것은 replication(복제)이라 한다. DNA중 일부만 복제하는 것은 transcription이라 한다.

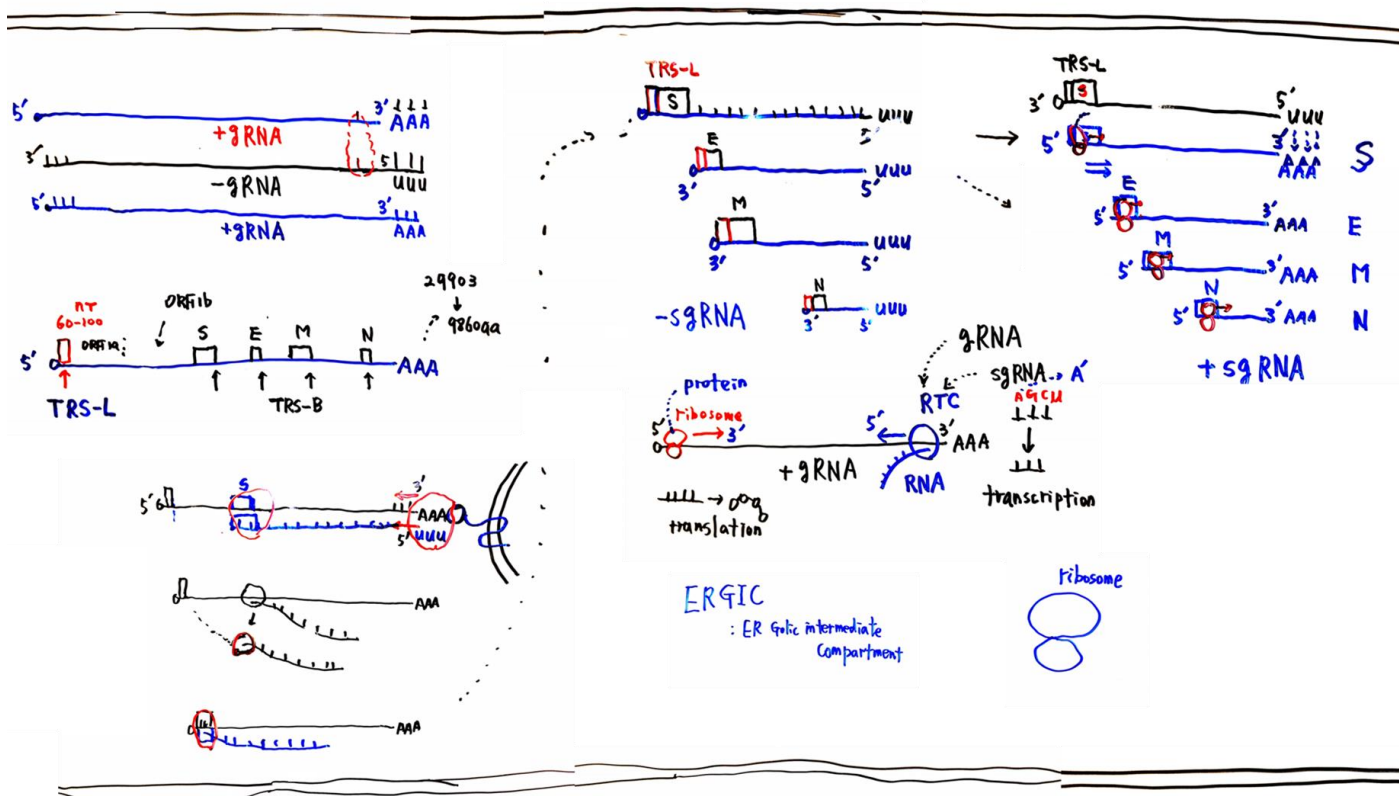
RNA에서도 전체를 복제하는 것은 replication, 일부만 전사하는 것은 transcription 이라고 한다.

RdRp는 RNA에서 RNA를 만드는 것이다. 단백질을 만들지 않는다.

바이러스 입장에서는 RdRp를 만드는 것이 우선이다. RdRp만 만들면 RNA를 만들 수 있고, 이후 단백질 만드는 것은 host cell에 있는 것을 사용하면 되므로 어렵지 않다.

바이러스 RNA에는 ORF1, ORF2 이후에, 바이러스의 spike, envelope, membrane, nucleocapsid를 만드는 nucleotide가 이어 진다.





바이러스 게놈(+g RNA)를 10,000개 만들어야 한다. 원본 하나를 10,000번 복제 하려면 시간이 걸린다. 먼저 RTC가 +g RNA 의 3'에서 시작하여 COPY를 한다. 그러면 -g RNA가 만들어 진다. 이번에는 RTC가 -g RNA의 3'에서부터 copy를 한다. 그러면 원본과 같은 +g RNA가 만들어 진다. 원본이 2개가 된 것이다. 2개가 4개, 8개, 16개....이렇게 하면 시간을 줄일 수 있다. +g RNA가 10,000개가 만들어 진다.

다음은 S, E, M, N 단백질을 만들기 위한 RNA를 만들어야 한다. 원본 게놈(+g RNA) 중에서 nsp 부분은 필요가 없다. 건너 뛰어야 한다. 60-80개의 NT(nucleotide)는 고정되어 있다. 이 부분을 TRS-L(transcription regulatory sequence-leading)이라고 한다. 반면 S, E, M, N 단백질을 만드는 염기 부위를 TRS-B(TRS-body)라 한다. 바이러스 게놈의 poly adenine의 끝 자락에 단백질이 있어 host cell membrane에 닻을 내려 고정되어 있다. RTC가 원본 게놈의 3'에서부터 copy를 해 오다가 S 단백질 만드는 부위까지 copy를 완료하면, 복제된 RNA가 분리되어 나와 TRS-L과 연결되고, RTC도 이동하여 TRS-L과 복제된 RNA를 에워싼다. (즉 nsp 부분을 건너 뛴 것이다) S 단백질 용 RNA를 보면, 먼저 TRS-L이 있고 이어서 S 단백질 용 RNA가 있게 된다. E 단백질, M 단백질, N 단백질에 대하여 같은 작업을 반복한다. 이렇게 만들어진 것들을 -sg RNA(negative sub genome RNA)라고 한다.

게놈의 기본 형태는 앞 쪽이 5' 이고 마지막이 adenine으로 마무리 되어야 한다. 이것이 +g RNA이다. -sg RNA를 +sg RNA로 바꿔 주어야 translation이 가능해 진다.

RTC는 replication과 transcription을 모두 할 수 있는 머신이다.

replication을 할 때에는 전제 g RNA를 복제하고, transcription을 할 때에는 sub RNA를 전사한다.

단백질을 만들 때 리보솜은 반드시 cap이 있는 5'에서 시작한다. 나오는 결과물은 protein이다.

RNA가 단백질로 바뀌는 과정이 translation이다.

TRC는 3'에서 시작하여 5'으로 간다. 여기서 나오는 결과물은 RNA이다.

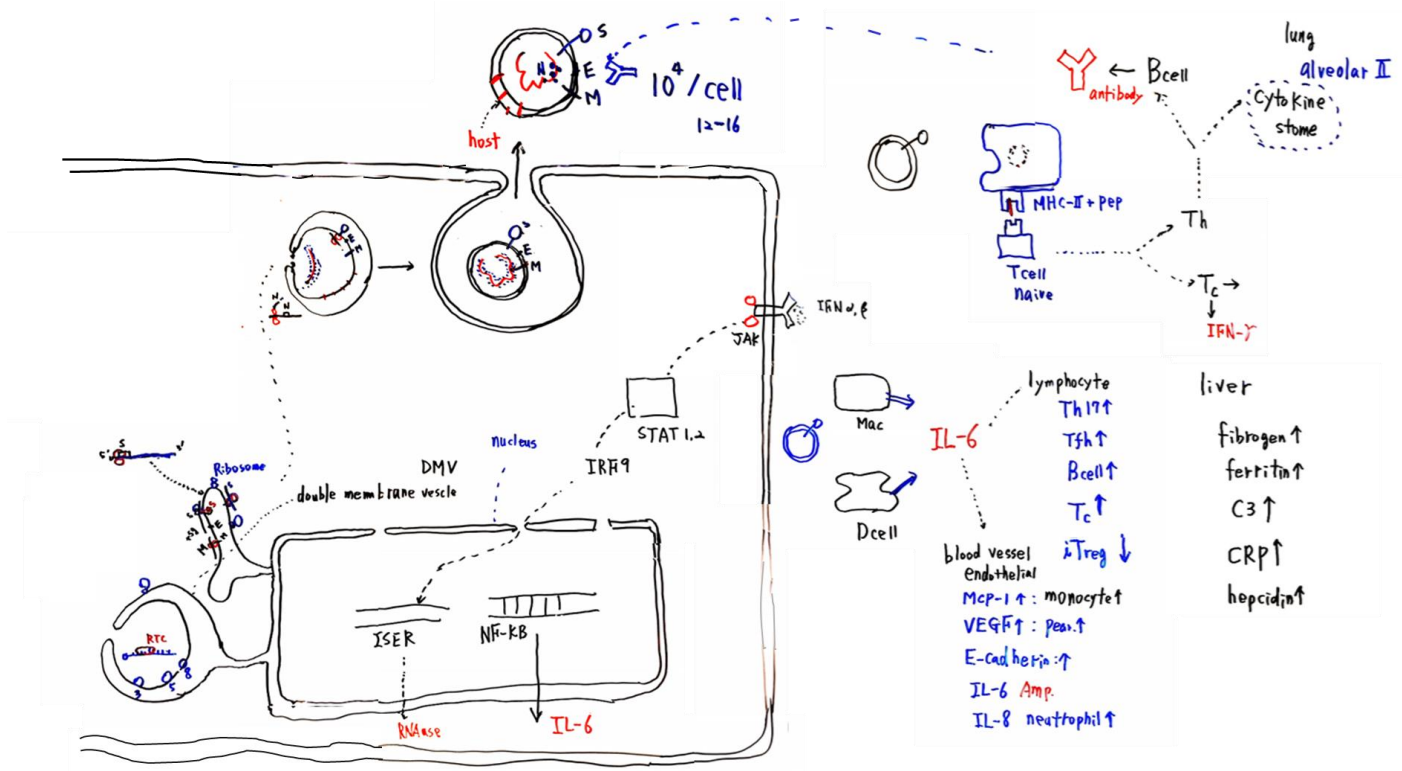
RNA가 sub RNA로 바뀌는 과정이 transcription이다.

RTC가 -sg RNA를 3'에서부터 5' 방향으로 copy하면 +sg RNA가 만들어 진다.

+sg RNA가 완성 되면 host cell 내에 있는 천 만개에 이르는 리보솜에 의해서 S, E, M, N 단백질이 자동적으로 만들어 진다. 다음은 package를 해서 빠져 나가야 한다.

리보솜은 커서 핵 속으로 들어가지 못한다.

RNA 바이러스는 핵 속으로 들어가지 못한다. 그러나 DNA 바이러스는 핵 속으로 들어 간다. 들어 가면 인간 DNA와 치환이 이루어 진다. Human genome 중 50%를 차지하는 repeated sequence 중 상당 부분이 진화 과정에서 DNA virus에 의해 심어진 것으로 추정된다. 바이러스와의 전쟁의 흔적이다. 생명은 모자이크 키메라이다. 나의 것이라고 주장할 것이 없다. 바이러스의 막 속에도 host cell 단백질이 많이 포함되어 있다. 그 막은 원래 host cell 것이었다. 바이러스는 남이 아니다.



바이러스가 안전한 작업 공간을 확보하기 위해 DMVs(double membrane vesicle)를 만든다.

DMVs 속에 3번, 5번, 8번이 들어 온다. 핵막에는 수많은 리보솜이 붙어 있다. 대장균에는 3백만개가 있다. +sg RNA가 세포질을 헤엄쳐 다니다 핵막에 있던 리보솜을 만나면 단백질을 만든다. 만들어진 S, E, M 단백질이 핵막 안에 쌓인다. N 단백질이 만들어 지면 먼저 만들어 놓았던 +g RNA를 감싸서 보호한다. 그러면 핵 막이 변형을 일으켜 S, E, M, 단백질과 게놈을 감싸고 있는 N 단백질까지 포함하여 새로운 바이러스를 만든다. 이 새롭게 만들어진 바이러스가 exocytosis를 통해 세포 밖으로 나가게 된다. 12-16 시간에 세포당 10,000개의 새로운 바이러스를 만든다.

ER(endoplasmic reticulum)과 Golgi 사이에 ERGIC(ER-Golgi intermediate compartment)를 만든다. 천연두 백신을 만들어 5억명의 목숨을 앗아간 천연두를 박멸 시켰듯이, 인류는 코로나 같은 바이러스에 대한 백신을 만들어 낼 것이라 확신한다.

그러면 우리의 세포는 어떤 방어 작용을 하는가. 바이러스가 들어 오면 대식 세포가 잡아 먹는다. 대식세포는 MHC 분자와 잡아 먹은 바이러스 단백질을 일부를 peptide로 제시한다. Naïve T cell 이 전달 받으면 Th와 Tc로 분화 된다. Tc는 INF- $\gamma$ 를 분비한다. Th 세포가 B cell을 trigger하면, B cell이 antibody를 분비한다. Antibody는 후에 바이러스에 붙어서 바이러스의 활동을 못하게 하거나, 백혈구 등이 바이러스를 죽이도록 지시할 수 있다. Th 세포가 폐로 가서 cytokine storm을 일으킨다.

코로나 19 바이러스가 대식세포와 수지상 세포(Dendritic cell)에게 감지 되면 대식세포와 수지상 세포의 작용에 의해서 핵 속의 NF-KB에서 IL-6를 분비한다.

### <IL-6와 cytokine storm>

IL-6는 첫 번째 lymphocyte에 영향을 미친다. Th 17 세포, Th1 세포, B 세포, Tc 세포의 활성화가 일어나고, iTreg 세포는 억제 된다.

두 번째 Blood vessel에 영향을 미친다. endothelial 세포를 자극하면 MCP1이 활성화되어 monocyte를 recruiting하고 VEGF(vascular endothelial growth factor)가 증가 되어 혈관의 틈이 늘어나 permeability가 높아진다. E-cadherin의 분비가 많아져 혈관 틈새가 벌어지고 대규모의 백혈구들이 빠져 나온다. 그래서 염증 반응이 증가한다. 다시 IL-6가 나오고 모든 과정을 증폭시킨다. IL-8이 나와서 neutrophil이 recruiting되어 바이러스를 잡아 먹는다.

마지막으로 간(liver) 세포에 영향을 미친다. fibrogen이 증가한다. ferritin 단백질이 증가한다. Fe를 보관하는 단백질이다. C3 단백질이 증가한다.

C3 response protein이 증가한다.

Hepcidin이 증가한다.

이 전체가 cytokine storm이고, 그래서 우리가 죽게 된다.

JAK(Janus associated kinase)에서 시그널이 와서 STAT(signal transducer and activator of transcription)를 자극하고 STAT에서 IRF-9이 나오고, IRF-9이 핵 속으로 들어가 ISRE(INF-stimulated response element)을 자극하고 ISRE에서 RNase가 나온다.

Virus

· regression : ds-DNA virus

· escape : RNA

바이러스의 유래의 3가지 학설

1. Regression 설: 우리의 게놈이 퇴화 했다는 설이다.

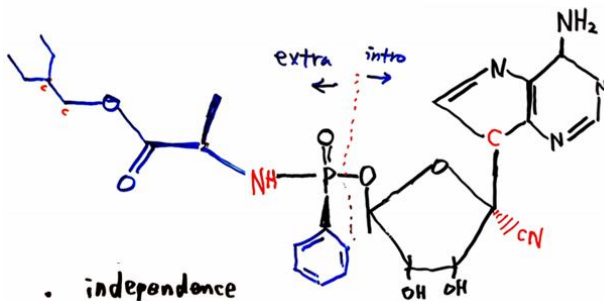
그 증거가 ds-DNA virus는 우리 게놈의 토막과 같으며, 분열하는 모든 메커니즘이 인간 세포와 완전히 같다.

2. Escape 설: 우리 세포의 RNA 일부가 탈출했다는 설이다. RNA virus 들이다.

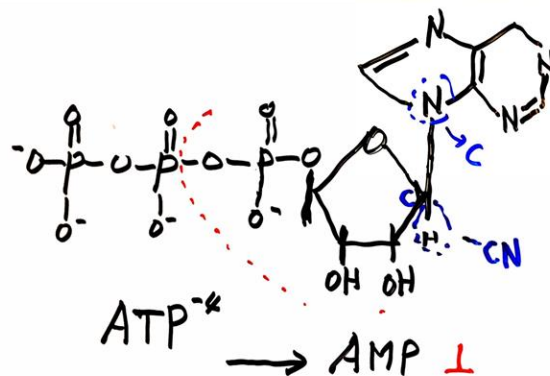
3. Independence 설: 독립적으로 진화되어 왔다는 설

1과 2는 결국, 바이러스는 남이 아니라는 것이다. 우리의 일부이고 우리가 축소된 것이다.

Remdesivir 분자 모습이다.



Remdesivir



Remdesivir는 adenine 분자를 흉내 내었다.

AMP와 비교 했을 때 퓨린의 9번 질소(N)가 탄소(C)로 바뀌고, 리보스 당의 1번 탄소에 붙은 수소(H)가 CN으로 바뀌었다.

remdesivir가 세포 막을 통과할 때는 그림에서 표시한 것처럼 인산기 부분이 잘리고 아데노신 부분만 들어 간다. 세포질 안에서 인산기와 결합하여 ATP 형태가 되고 ATP 상태로 중합효소로 들어 가고 인산기 2개가 잘라지고 AMP 형태로 붙게 된다.

(수고하셨습니다)