



Scan online to view this article

A Review of Strategies Based on the Effectiveness of Nanoparticles in the Detection, Prevention and Treatment of Covid 19

Mahdiyeh Moghimipour¹, Nadia Mahmoudi Khatir^{1*}, Zahra Nazem Bokaei², Farzaneh Sabbagh³

1. Department of Biotechnology, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran.

2. Department of Plant Sciences , Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran

3. Department of chemical engineering, Chungbuk national university, Cheongju, Chungbuk 28644, Republic of Korea

Abstract

Nanoparticles have a great impact in various fields of medicine and therapy, including biosensors, imaging and smart drug delivery. SARS-Covid 2 is a coating virus and has particle-like properties with a diameter of 140-160 nm. The synthesized nanoparticles are very similar to the virus and will easily interact with its proteins. Therefore, nanoparticle solutions, including antiviral mechanisms to prevent the growth, proliferation and penetration of the virus, the production of masks, vaccines, is a good option to combat the virus. Due to the impact and prevalence of the Covid-19 disease and its risks to the health of people around the world, after the first days of identifying the virus, researchers sought ways to diagnose the disease in individuals, as well as its prevention and treatment. So far, vaccination has been the best way to fight against the Covid-19. In the meantime, nanoparticles due to their special properties could have many uses, including diagnosis, vaccine and drug production. In this paper, we examine the implementations of nanoparticles against the Covid-19.

Keywords: Coronavirus, Covid-19, SARS-Covid 2, Vaccine, Nanoparticles, Drug, . Iau Science .

Corresponding author:

Department of Biotechnology, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran

Email: n.khatir@alzahra.ac.ir

برای مشاهده این مقاله به صورت
آنلاین اسکن کنید

مروری بر راهبردهای مبتنی بر اثربخشی نانوذرات

در تشخیص، پیشگیری و درمان کووید ۱۹

مهديه مقیمی پور^۱، نادیا محمودی خطیر^{۲*}، زهرا ناظم بکایی^۲، فرزانه صباغ^۳

۱. گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا (س)، تهران، ایران

۲. گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا (س)، تهران، ایران

۳. گروه مهندسی شیمی، دانشگاه چانگ باک، چانگ باک، جمهوری کره

چکیده

نانوذرات تأثیر بسزایی در حوزه‌های مختلف پزشکی و درمانی از جمله حسگرهای زیستی، تصویربرداری و دارورسانی هوشمند دارند. سارس-کووید ۲ ویروس پوششی است و دارای خواص ذره ماندی به قطر ۶۰-۱۴۰ نانومتر است. نانوذرات سنتز شده شباهت بسیاری به ویروس دارند و به راحتی با پروتئین‌های آن بر هم کنش خواهند داشت. بنابراین راهکارهای در نظر گرفته با نانوذرات از جمله مکانیسم ضد ویروسی جهت جلوگیری از رشد، تکثیر و نفوذ ویروس، تولید ماسک، واکسن، گزینه مناسبی برای مقابله با ویروس است. نظر به تأثیر و همه‌گیری بیماری کووید و خطرهای آن برای سلامت کل افراد دنیا پس از اولین روزهای شناسایی این ویروس پژوهشگران به دنبال راه‌هایی برای تشخیص این بیماری در افراد و هم‌چنین پیشگیری و درمان آن گشتند. تاکنون واکسیناسیون بهترین راه برای مقابله با کووید بوده است. در این بین نانوذرات به دلیل خواص ویژه خود توانستند استفاده‌های زیادی اعم از تشخیص، طراحی واکسن و تولید دارو داشته باشند. در این مقاله به بررسی کاربردهای نانوذرات در مقابله با کووید می‌پردازیم.

واژه‌های کلیدی: کرونا ویروس، کووید ۱۹، سارس-کووید ۲، واکسن، نانوذرات، دارو، Iau Science.

مقدمه

کرونا^۱ یک بیماری ویروسی با توانایی انتقال بالا است که بافت ریه و اندام‌های تنفسی را درگیر می‌کند و علائمی مانند آنفولانزا ایجاد می‌کند و در صورت التهاب بالا مرگ بر اثر از کارافتادن دستگاه تنفسی رخ می‌دهد. آنالیزهای اخیر ژنتیکی نشان می‌دهند که

نویسنده مسئول:

گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا (س)، تهران، ایران

پست الکترونیکی: n.khatir@alzahra.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۱

ژنوم ویروس سارس-کووید-۲ ۹۶٪ با ویروس کرونای خفاش^۲ که میزبان آن خفاش نعل اسبی^۳ است هم-پوشانی دارد. هم‌چنین در آزمایش‌های صورت گرفته بر روی هفت نوع مورچه خوار پولک‌دار^۴ مشخص شد؛ این جانوران به ویروسی بسیار شبیه سارس-کووید-۲ مبتلا بودند. این اطلاعات دانشمندان را به منشاء احتمالی ویروس کرونا نزدیک می‌کند (۱). شکل ۱ نمایی شماتیک از ویروس کرونا را نشان می‌دهد. مبارزه با پاندمی نیازمند رویکردهای همه‌جانبه است اولین قدم برای مبارزه با ویروس تشخیص آن است.

² Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2)

³ BatCoV RaTG13

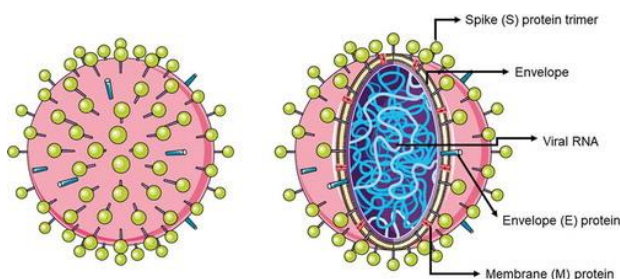
⁴ Rhinolophus affinis

⁵ Pangolin

¹ COVID-19

ویروس‌ها به سلول‌های میزبان و مسدود کردن تکثیر ویروس است. این مکانیسم‌ها با توجه نوع و شکل نانوذرات متفاوت خواهد بود (۳). از دیگر مکانیسم‌های اصلی و مستقیم فعالیت ضد ویروسی با واسطه نانوذرات با عمل میدانی موضعی^{۱۳} علیه گیرنده‌های سطح ویروس مرتبط است (۴).

در این مکانیسم، نانوذرات جذب شده در سطح سلول می‌توانند پتانسیل غشاء را تا حد زیادی تغییر دهند. مکانیسم ضد ویروسی غیرمستقیم نانوذرات شامل مسدود کردن نفوذ ویروس به داخل سلول به دلیل تغییر پتانسیل غشایی است. در مجموع، مکانیسم‌های اصلی فعالیت ضد ویروسی نانوذرات شامل برهم‌کنش با gp۱۲۰، اتصال رقابتی بین ویروس و نانوذرات برای سلول میزبان، تداخل با اتصال ویروسی، مهار اتصال نفوذ ویروس به سلول میزبان، اتصال به غشای پلاسمایی است. غیر فعال سازی ذرات ویروسی قبل از ورود و تعامل با دی-ان-ا دو رشته‌ای و/یا اتصال با ذرات ویروسی است (۵،۶). در حالی که نانوذرات فلزی با ذرات ویروسی تعامل دارند، تکثیر ویروس مسدود می‌شود (شکل ۲).



شکل ۱. نمایی شماتیک از ساختار ویروس کرونا (۲)

مکانیسم احتمالی فعالیت ضد ویروسی نانوذرات غیر سمی مانند طلا از تکثیر ویروس ممانعت می‌کند و از انتشار ذرات ویروسی به داخل سلول میزبان جلوگیری به عمل می‌آورد. این مهار می‌تواند توسط نانوذرات به عنوان مسدودکننده آنزیم نورآمینیداز^{۱۴} عمل کند که اتصال بین هم‌گلوپتینین^{۱۵} روی ویروس نتاج و

توسعه روش‌های آزمایش سریع^۶ می‌تواند با شناسایی افراد مبتلا، در کنترل این همه‌گیری کمک کند. روش‌های تشخیصی باید ارزان و همچنین سریع و به‌طور گسترده در دسترس باشند در مرحله بعد باید داروهایی برای مقابله با اثرهای ویروس و کم کردن التهاب تولید شوند و در آخر تولید واکسن می‌تواند از ابتلای افراد جدید به عفونت‌های شدید ویروس جلوگیری کند و احتمال مرگ را کاهش دهد و منجر به ایمنی همگانی شود. تصاویر گرفته‌شده با میکروسکوپ الکترونی از سارس-کووید-۲ نشان می‌دهد که ویروس قطری در رنج ۶۰-۱۴۰ نانومتر دارد. با توجه به خواص ذاتی، مورفولوژی و محدوده اندازه سارس-کووید-۲، استراتژی‌های مبتنی بر نانوذرات^۷ یک رویکرد مناسب برای مقابله با این ویروس ارائه می‌دهند. اکثر روش‌های تشخیصی ار-ان-ا^۸ ویروسی بر اساس واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز رونویسی معکوس^۹ انجام می‌شود. اگرچه RT-PCR^{۱۰} به‌طور گسترده‌ای به عنوان روش استاندارد تشخیص کرونا شناخته می‌شوند، برخی مشکلات در استفاده از آن وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرد، از جمله این موارد می‌توان به بازده استخراج پایین، استفاده از فرآیندهای وقت‌گیر و پاسخ مثبت کاذب ناشی از آلودگی اشاره کرد. در مورد بهبود روش‌های تشخیص ویروس، به دلیل اندازه فوق‌العاده کوچک نانوذرات نه تنها در روش‌های ار-تی-پی-سی-ار بلکه در سایر روش‌های تشخیص ویروس مانند روش ایمونوسوربنت مرتبط با آنزیم^{۱۱} و ایزوترمال حلقه رونویسی معکوس^{۱۲} استفاده شده‌اند.

مکانیسم ضد ویروسی نانوذرات

مکانیسم‌های ضد ویروسی نانوذرات اتصال، نفوذ، تکثیر و رشد ویروس‌ها را مورد هدف قرار می‌دهد. از دیگر مکانیسم‌های احتمالی نانوذرات غیرفعال کردن ویروس به صورت مستقیم یا غیر مستقیم، جلوگیری از اتصال

⁶Rapid test

⁷Nano Particles(NP)

⁸ Ribonucleic acid (RNA)

⁹Reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR)

¹⁰Reverse transcription polymerase chain reaction

¹¹ Enzyme-linked immune-sorbent assay (ELISA)

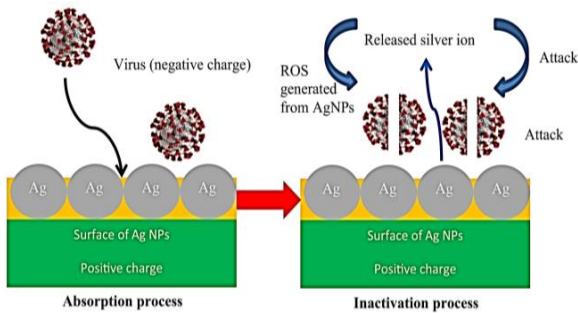
¹² Loop-mediated isothermal amplification(LAMP)

¹³ local-field action

¹⁴ Neuraminidase enzyme

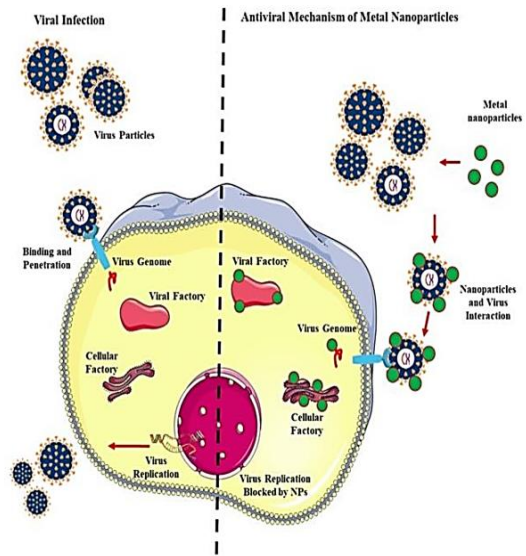
¹⁵ Hemagglutinin

گیرنده اسید سیالیک روی سلول میزبان را قطع می‌کند. در این صورت نانوذرات از این مرحله شکاف جلوگیری کرده و با آزادسازی ظاهر ویروس از سلول‌های میزبان آلوده و پس از این از پیشرفت عفونت جلوگیری می‌کنند. بنابراین مکانیسم ضد ویروسی ممکن می‌تواند مهار فعالیت هم‌گلوتینین و نورآمینیداز باشد. علاوه بر این، مانند نانوذرات طلا مانع از اتصال ویروس به سلول‌های میزبان می‌شود (۷).



شکل ۳. مکانیسم ضد ویروسی نانوذرات نقره (۱۲)

برای آماده‌سازی کنترل‌شده نانوذرات طلا در محدوده اندازه ۶ تا ۲۲ نانومتر با کاهش (احیا) تتراکلروئوریک اسید در حضور مالتوز و سورفاکتانت غیریونی توپین با غلظت‌های مختلف برای کنترل اندازه نانوذرات طلا تولید می‌شوند. با افزایش غلظت توپین 10^{-8} ، کاهش اندازه نانوذرات طلا تولیدشده همراه با کاهش قابل توجهی در توزیع اندازه آن‌ها مشاهده می‌شود. مکانیسم کاتالیزوری الی-ریدال^{۱۸} به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای تولید نانوذرات طلا مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۳). برای ساخت نانوذرات نقره نیز روش‌های متفاوتی وجود دارد نمونه‌های قابل توجه شامل فرسایش لیزری، تابش گاما، تابش الکترون، کاهش شیمیایی، روش‌های فتوشیمیایی، پردازش میکروویو، سل-ژل (۱۴) و روش‌های سنتز بیولوژیکی است (۱۵). لیپوزوم‌ها با روش فیلم خشک^{۱۹} و با عبور از غشایی با منافذ حدود ۲۰۰ نانومتر تولید می‌شوند. این روش یک محلول از لیپوزوم‌ها به‌صورت یکنواخت ایجاد می‌کند. اندازه و مورفولوژی لیپوزوم‌ها با میکروسکوپ الکترونی عبوری^{۲۰} تجزیه و تحلیل می‌شود. سنتز کلوئیدی یکی از مقرون‌به‌صرفه‌ترین روش‌ها برای سنتز کوانتوم دات‌ها است. این فرآیند شیمیایی مبتنی بر محلول، شامل گرم کردن محلول‌های پیش‌ساز برای تشکیل



شکل ۲. مکانیسم ضد ویروسی نانوذرات (۷)

فعالیت ضد ویروسی نانوذره با اثر مستقیم روی غشای ویروس و یا با اتصال به پروتئین کرونا ویروس آن را تجزیه می‌کند (۸). مکانیسم فعالیت ضد ویروسی نانوذرات نقره را می‌توان با تولید گونه‌های فعال اکسیژن^{۱۶} که یون‌های نقره ایجاد می‌کنند و استرس را کاهش می‌دهند توضیح داد (۱۰، ۹). در نتیجه، مواد مناسبی برای استفاده در مراقبت‌های بهداشتی و فیلتراسیون در برابر عفونت‌های ویروسی است (۱۱). مکانیسم غیرفعال کردن ویروس توسط نانوذرات نقره در شکل ۳ نشان داده شده است (۱۲).

انواع نانوذرات مؤثر در مقابله با کووید

نانوذرات مختلفی در حوزه‌های گوناگون پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه، ضمن بررسی کوتاه و

¹⁷ Tween 80 (نوعی امولسیون کننده)

¹⁸ Eley-Rideal (نوعی واکنش در سطح)

¹⁹ نوعی لایه عبور مولکول‌ها در اندازه خاص (dry-film)

²⁰ Transmission electron microscopy (TEM)

¹⁶ Reactive oxygen species (ROS)

هیبریدی خشک می‌گردد (۱۸). هم‌چنین نانوذرات طلا با کاهش (احیا) ذرات طلا به‌عنوان پیش‌ماده در محیطی با هیدروکسیل آمین^{۲۷} به‌عنوان عامل کاهنده تولید می‌شوند (۱۹). نانوذرات مختلفی در تشخیص ویروس‌ها تاکنون به‌کاررفته‌اند از جمله نانوذره‌های فلزی، نانولوله‌های کربنی، نانوذره‌های سیلیکا، کوانتوم دات، نانوستاره‌ها^{۲۸} و نانوذره‌های پلی‌مری را می‌توان نام برد. از این میان نانوذرات فلزی، نانو جزیره‌های فلزی، نانو ذرات مغناطیسی، نانوستاره‌های طلا و کوانتوم دات (ذرات کوانتومی)^{۲۹} تاکنون برای تشخیص کووید به‌کاررفته‌اند. بیش‌تر روش‌های تشخیصی بر مبنای روش‌های رنگ‌آمیزی، الکتروشیمیایی، فلورسانس و در کل بر مبنای تشخیص اپتیکی^{۳۰} هستند (۲۰، ۲۱). جدول ۱ خلاصه‌ای از نانوذرات مورد استفاده در تشخیص ویروس کرونا را نشان می‌دهد.

نانو ذرات و نانو جزیره‌های فلزی نانو ذراتی مربوط به فلزات نجیب مثل طلا و نقره و مس هستند مشخصات اپتیکی خاصی دارند. پدیده تشدید پلاسمون سطحی نوعی برانگیختگی ناشی از برهم‌کنش امواج الکترومغناطیسی در ناحیه مرئی با الکترون‌های آزاد نانوذرات طلا و نقره است. امروزه کاربردهای پدیده تشدید پلاسمون سطحی^{۳۱} شامل شناسایی و آشکارسازی مواد و گازهای شیمیایی و مولکول‌های زیستی است. در این روش پاسخ الکترون‌های آزاد نانوذره به میدان الکترومغناطیسی در حضور مولکول‌های زیستی به‌صورت تغییرات در طول‌موج و شدت جذب قابل‌مشاهده است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای پدیده تشدید پلاسمون سطحی تشخیص ویروس و باکتری‌هاست.

نانوذرات اکسید آهن می‌توانند یک کمپلکس پایدار با پروتئین اسپایک^{۳۲} ویروس کرونا تشکیل دهند. نانوذرات

مونومرهای هسته‌دار است که در دماهای بالا گرم شده و منجر به رشد نانوکریستال می‌شود (۱۶).

نانوذرات سیلیس به‌روش‌های متفاوتی ساخته می‌شوند. نانوذرات سیلیس به‌طور کلی با تترا اتیل ارتوسیلیکات به‌عنوان پیش‌ساز در محیط قلیایی سنتز می‌شوند نانوذرات سیلیکا کروی شکل و غیر متراکم تولید می‌شوند و اندازه ذرات آن‌ها با افزایش غلظت تترا اتیل ارتوسیلیکات^{۳۱} و آمونیاک افزایش می‌یابد. برای سنتز نانوذرات سیلیکای غیر تجمع یافته از محلول سدیم سیلیکات در شرایط قلیایی محلول سدیم سیلیکات با آب رقیق شده و به‌آرامی در مخلوط اتانول و اضافه می‌شود تا یک حلال تشکیل شود و با سانتیفریژ نانوذرات تولید شوند (۱۷). یک پروتکل برای ساخت نانوذرات مغناطیسی پلاسمونی وجود دارد که بر پایه میکرو امولسیون‌های روغن در آب است. در این روش تولید نانوذرات با اندازه دلخواه با استفاده از نانوذرات کوچک‌تر صورت می‌گیرد. در این روش از یک ماده مانند ذرات طلا، اکسید آهن یا مواد نیمه‌رسانا استفاده می‌شود. جمع‌آوری ذرات اولیه و تولید نانوذره کروی بزرگ‌تر خواص ذرات را افزایش می‌دهد. این روش با یک واکنش ساده در یک ظرف انجام می‌گیرد. برای ساخت پایه نانوذرات مغناطیسی اسید اولئیک^{۳۲}، اولئیل‌امین^{۳۳}، گزادکاندیول^{۳۴} و فنیل اتر^{۳۵} را درون یک فلاسک ریخته و مخلوط بعد از هم زدن به مدت ۱ ساعت در فلاسک گرم شد. درجه حرارت باید زیر ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شود. یک پوسته طلا روی پایه مواد قرار داده استات طلا، اسید اولئیک، اولئیل‌امین، ۱،۲ هگزادکاندیول و فنیل اتر به یک فلاسک ته‌گرد اضافه گردید. اتانول برای رسوب نانوذرات اولیه هیبرید اضافه و سانتیفریژ می‌شود؛ با استفاده از سونیکاتور^{۳۶}، رسوب در هگزان مجدداً محلول شد. سپس اتانول برای رسوب نانوذرات ترکیبی اولیه اضافه گردید. مواد را سانتیفریژ کرده و دوباره رسوب در هگزان حل می‌شود این مرحله ۳ بار تکرار می‌شود با استفاده از خشک‌کن خلاء نانوذرات

²⁷ Hydroxylamine

²⁸ Nanostar

²⁹ Quantum Dots (QDs)

³⁰ Optical Detection

³¹ Localized Surface Plasmon resonance (LSPR)

^{۳۲} پروتئینی که به ویروس کمک می‌کند تا وارد سلول میزبان شود.

پروتئین S

²¹ Tetraethyl orthosilicate (TEOS)

²² Oleic acid

²³ Oleylamine

²⁴ Hexadecanediol

²⁵ Phenyl ether

^{۳۶} نوعی همزن

منبع	تکنیک تشخیص	اساس روش تشخیص	اندازه (nm)	همراه با...	نانوذره
(۲۲)	رنگ سنجی	LSPR	۱۳	یون سیترات	AuNPs
	رنگ سنجی	LSPR	۱۹	یون سیترات	
	رنگ سنجی	LSPR & RT-LAMP	-	استرپتاویدین ^{۳۳}	
			-	الیگونوکلوئید های آنتی سنس	
(۲۳)	زل الکتروفورز	PPT and PCR	۴۰	-	AuNIs
(۲۴)	رنگ سنجی	LSPR	۱۹	یون سیترات	AgNPs
(۲۵)	حسگر فلورسنت	magnetic and PCR	-	سیلیکا و توالی الیگونوکلوئید	SMNPs
(۲۶)	-	magnetic and RT-PCR	۱۰	پلی آمینوآستر و کربوکسیل	MNPs
(۲۷)	حسگر فلورسنت	optical	-	RNA آپتامر	QDs-605
(۲۸)	حسگر کایرال نوری	optical and LSPR	AuNPs ^{۷-۶} QDs ^{۵۰}	آنتی بادی های وایرال	CdTeQDs & AuNPs
(۲۹)	حسگر نوری	optical, LSPR, and magnetic	MNPs ^{۳-۲} QDs ^{۵۰}	آنتی بادی های وایرال	ZrQDs & MPNPs

جدول ۱. نانو ذرات مورد استفاده در تشخیص کرونا

کلمات مخفف و اختصاری:

Au: طلا، NI: نانو جزیره، Ag: نقره، Cd: کادمیوم، Te: تلوریم، Zr: زیرکونیوم، آپتامر: نوکلئیک اسیدهای تک رشته که قادر به اتصال به یک هدف اختصاصی با تمایل بالا هستند وایرال: ویروسی، مربوط به ویروس، حسگر کایرال نوری: نوعی حسگر که تغییرهای نوری را اندازه گیری می کند.

MNPs: Metallic nanoparticles, MPNPs: magnetoplasmonic nanoparticles, LSPR: Localized Surface Plasmon resonance

علاوه بر این جهت تشخیص کووید ۱۹ از بیوسنسور بر پایه نانوذرات هم می توان استفاده کرد، محل نمونه^{۳۸} محل اختلاط نمونه^{۳۹}، پد جذبی و غشای نیتروسولولز، آنتی بادی آنتی فلورسین^{۴۰} خرگوش، آنتی بادی آنتی دایوکسیژنین^{۴۱} گوسفند (برای لیبل کردن اسیدهای نوکلئیک) بـواین سرم آلبومین ترکیب‌های استریپتاویدین^{۴۲} پوشانده شده با نانوذرات پلی مری (برای تشخیص پروب‌های بیوتینیل شده^{۴۳} در فلوسایتومتری) برای تست وجود کووید مقدراری از ترکیبی که واکنش روی آن انجام شده، به ناحیه مورد آزمایش ریخته شد. سپس ۸۰ میکرولیتر بافر فسفات سالین اضافه گردید. حضور کووید در غشای نیتروسولولز خطوط قرمز ایجاد می کند و این امر حدود ۱ دقیقه طول می کشد (۳۶،۳۵). نانوذرات نقره یکی از نانوذراتی هستند که با توجه به خواصشان می شود به عنوان بیوسنسور استفاده کرد یا به دلیل خواص ضد میکروبی در کمپلکس‌های مختلف از آن‌ها استفاده کرد (۳۷). نانوذرات طلا یکی از پرکاربردترین نانوذرات برای تشخیص ویروس‌ها هستند که علاوه بر خواص اپتیکی پایدار بالایی دارند. تجمع^{۴۴} نانوذرات طلا باعث شیفیت قرمز در پیک پدیده تشدید پلاسمنون سطحی شده و در نتیجه باعث تغییر رنگ محلول از قرمز به آبی می شود که با چشم غیر مسلح هم قابل دیدن است. استفاده از نانوذرات طلا برای تشخیص سارس کووید گزارش شده است. در این گزارش تفاوت ویژگی‌های الکترواستاتیکی تک رشته‌های دی-ان-ا^{۴۵} و دی-ان-ا دو رشته‌ای^{۴۶} مبنای کار بوده است. آن‌ها می توانند با یون‌های سیترات در سطح نانوذرات طلا برهم کنش انجام دهند و ذرات را پایدار کنند. نانوذرات می توانند به دلیل سایزی که دارند در محدوده وسیعی مورد استفاده قرار بگیرند. برای مثال در دارورسانی هوشمند^{۴۷}، نانوذرات از راه‌های مختلفی از جمله تنفس و تزریق می توانند

اکسید آهن و نانوذرات نقره خاصیت خنثی‌کنندگی روی سویه‌های مختلف آنفولانزا و کرونا ویروس با مکانیسم فیزیکی اتصال به ویروس و جلوگیری از ورود آن به سلول‌های میزبان نشان داده‌اند (۳۰). از مهم‌ترین نانوذرات مورد استفاده برای مقابله با کرونا نانوذرات لیپیدی مانند؛ نانو حامل‌های چربی جامد^{۳۴} و نانولیپوزوم‌ها^{۳۵} هستند (۳۱).

نانوذرات اکسید نیتروس^{۳۶} با پتانسیل مبارزه با انواع ویروس‌ها، باکتری‌ها و قارچ‌ها شناخته شده است. از این رو نانوذرات اکسید نیتروژن می تواند برای درمان‌های مختلف و مبارزه با انواع میکروب‌ها مورد استفاده قرار گیرد. نانوذرات اکسید نیتروس به عنوان یک عامل مؤثر برای مقابله با ویروس کرونا و سایر بیماری‌های ریوی مورد توجه قرار گرفته است (۳۲). درمان‌هایی مبتنی بر استنشاق نانوذرات نانوذرات اکسید نیتروس در ایالات متحده و چین مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. تحقیقات نشان داده‌اند که ترکیبات نانوذرات اکسید نیتروس می توانند در مبارزه با تکثیر ویروس سارس-کووید-۲ مؤثر باشند (۳۳).

کاربردهای اخیر نانوذرات در جهت پیشگیری

از ابتلا به کووید ۱۹

کاربرد نانوذرات در تشخیص کووید ۱۹

Moitra و همکارانش (۳۴) یک سنجش زیستی رنگی بر اساس نانوذرات طلا پوشش داده شده با الیگونوکلئوتیدهای آنتی سنس^{۳۷} اصلاح شده تیول و هدف قرار دادن ان-ژن COVID-19 طراحی کردند و می تواند کووید-۱۹ را در چند دقیقه به طور دقیق تشخیص دهد. در همین حال، نانوذرات طلا پوشش داده شده با الیگونوکلئوتید آنتی سنس اصلاح شده تیول نیز در یک آزمایش چشم غیر مسلح برای تشخیص کووید ۱۹ استفاده شد که در کم‌تر از ۱۰ دقیقه مؤثر بود (شکل ۴).

³⁸Sample pad

³⁹Conjugation pad

⁴⁰ نوعی ماده ردیاب فلورسنت

⁴¹ Digoxigenin

⁴² Bioinylated Streptavidin conjugates

⁴³ Biotinylated

⁴⁴ Aggregation

⁴⁵ Single strand DNA (ssDNA)

⁴⁶ Double strand DNA (dsDNA)

⁴⁷ Smart drug delivery

³⁴ Solid lipid nanocarriers (SLNs)

^{۳۵} کیسه‌هایی در ابعاد نانو که از یک یا چند لایه فسفولیپید تشکیل

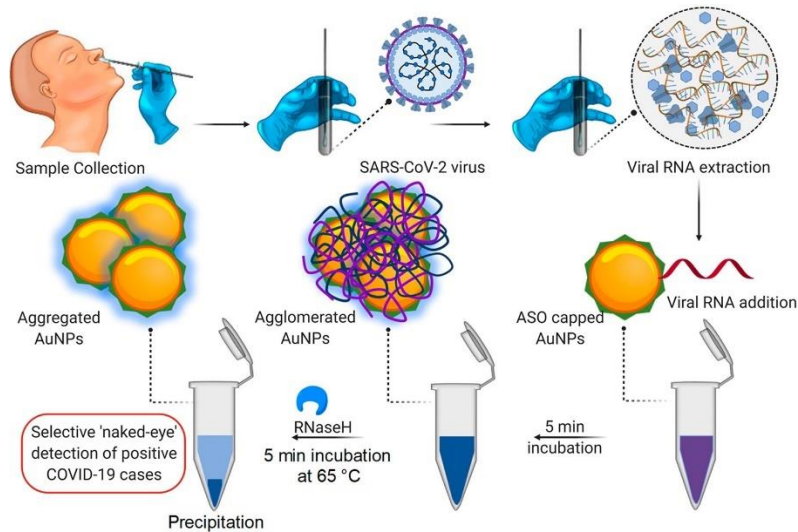
شده‌اند.

³⁶ Nitrous oxide (NO) nanoparticles

³⁷ Antisense oligonucleotides (ASOs)

که با تنفس وارد راه های تنفسی شوند، وارد کیسه های هوایی در ریه شده و در این مکان نانوذرات می توانند

مورد استفاده قرار بگیرند (۱۵). ویژگی های منحصر به فرد نانوذرات این امکان را به آنها می دهد



شکل ۴. طرح شماتیک برای تشخیص آر-ان-ا سارس کووید-۲ با واسطه نانوذرات طلا دارای پوشش الیگونوکلئوتیدهای آنتی سنس

پس از مالش یک بادکنک موها به آن می چسبند ذرات به ماسک چسبیده و از عبور آنها جلوگیری می شود. ورود ذرات در محدوده ۱۰۰-۲۰۰ نانومتر در این ماسکها دیده شده است. البته دستگاه فیلتر تنفس صورت ۴۲٪ مؤثر بوده اند در دستگاه فیلتر تنفس صورت هایی که لایه فعال پلی پروپیلن^{۵۳} در بین آنها قرار داشت حفاظت بهتری در مقابل آئروسولها به خصوص کووید دارند. در حال حاضر ماسک با بازدهی ۹۵٪ پرکاربردترین ماسک مورد استفاده و مؤثرترین برای پیشگیری از کووید است. این ماسک ۸۵٪ کارایی برای ذرات کوچکتر از ۳۰۰ نانومتر دارد قطر کووید بین ۶۰-۱۴۰ نانومتر است و این مسئله نیاز به فیلترهای ماسک مؤثرتر را نشان می دهد. پیشرفت تولید نانو فیبرها که با الکترو اسپینینگ^{۵۴} تولید می شوند بسیار می تواند کارآمد در این زمینه باشد (۳۹، ۴۰). همان طور که پیش تر به فعالیت ضد میکروبی نانوذرات اشاره شد، نانوذرات از جمله نانوذرات نقره می توانند میکروبها را خنثی کنند به طوری که دیگر توانایی ورود به سلول های میزبان خود را نداشته باشند. در حال حاضر از نانوذرات برای ساخت فیلترهای هوا و تصفیه هوا استفاده شده که برای جلوگیری از شیوع بیشتر کووید می توان از آنها

در تماس با سلول های اپیتلیال^{۴۸} و سورفکتانت^{۴۹} قرار بگیرند (۳۸).

تولید ماسک بر پایه نانوذرات

کاربرد نانوذرات در ارتباط با کووید محدود به حوزه درمان و تشخیص نیست. با توجه به این که بیشترین موارد ابتلا به کووید ۱۹ از طریق استنشاق قطرات حاوی ویروس است که این قطرات از طریق سرفه یا عطسه تولید می شوند. این قطرات یا در محیط شناور می مانند یا به سطوح اطراف می چسبند. بنابراین استفاده از ماسک های تنفسی در حال حاضر مؤثرترین روش برای کسانی است که ممکن است در مقابله با هوای آلوده به ویروس قرار بگیرند. در یک مطالعه کارایی فیلتراسیون ماسک با بازدهی ۹۵٪^{۵۰}، دستگاه فیلتر تنفس صورت^{۵۱} و ماسک با بازده ۹۵٪ چینی^{۵۲} از طریق بررسی ۱۳۶ دستگاه تنفسی به دقت مورد مطالعه قرار گرفت. دستگاه فیلتر تنفس صورت فقط به فیلتراسیون فیزیکی می پردازند و فیلتراسیون الکترواستاتیک در آنها بسیار کم بوده است. فیلتراسیون الکترواستاتیک یعنی به همان روشی که

⁵³ Polypropylen

⁵⁴ برق ریزی، روشی جهت تولید الیاف نانو ساختار

⁴⁸ سلول پوششی

⁴⁹ ماده فعال سطحی در ریه

⁵⁰ Non-oil mask with 95% efficiency (N95)

⁵¹ Filtering facepiece respirator (FFR)

⁵² Non-oil mask with 95% efficiency that manufactured in China (KN95)

واکسن اختلال ایجاد کنند برای مثال گیرنده‌ها^{۶۱} می‌توانند در عملکرد واکسن اختلال ایجاد کنند. برای حل این مشکل با استفاده از علم نانو می‌توان از نانولیپوزوم‌های کاتیونی برای حمل زیرواحد S1 ویروس استفاده کرد. علاوه بر این نانوذراتی هستند که نقش کمکی^{۶۲} ایفا می‌کنند یعنی جلوی تخریب زود هنگام آنتی‌ژن را می‌گیرند که از آن‌ها نیز می‌توان استفاده کرد. همان‌طور که اشاره شد؛ نانوذرات پتانسیلی برای فرستادن آنتی‌ژن و کمکی به غدد لنفاوی و سلول ارائه کننده آنتی‌ژن^{۶۳} ها دارند و داده‌ها نشان می‌دهند که همراهی آنتی‌ژن و کمکی در واکسن باعث افزایش قدرت واکسن در دوزهای کم‌تر و کاهش عوارض جانبی آن می‌شود (۴۴،۴۳).

مؤثر بودن استفاده از لیپیدها برای رساندن اسیدهای نوکلئیک به سلول به‌طور کامل اثبات شده است. لیپیدها به دلیل سازگاری با غشاء سلول‌ها ماده‌ای ایده‌آل برای انتقال پیام‌رسان آر-ان-ا^{۶۴} هستند و اجازه می‌دهند ترکیب‌های درون نانوذرات لیپیدی با سلول‌های هدف و آزادسازی مؤثر آن‌ها در سیتوزول^{۶۵} آن‌ها به روشی مشابه با ویروس‌ها انجام می‌پذیرد. از اوایل دهه ۱۹۹۰ لیپوزوم‌ها برای تحویل پیام‌رسان آر-ان-ا به موش‌ها استفاده می‌شود در دهه‌های گذشته سیستم‌های تحویل مبتنی لیپید طراحی و ساخته شده است و به‌صورت تجاری در دسترس هستند مانند لیپوفکتامین^{۶۶} و استمفکت^{۶۷}. فناوری‌های دیگری از جمله لیپوزوم‌های الاستیک حامل‌های نانو ساختار لیپیدی، لیپوبریدها^{۶۸} پلی‌مرهای هیبرید نانوذره‌ای هستند که ممکن است برای تحویل اسیدهای نوکلئیک به سلول‌های هدف سازگار باشند. این نانو ساختارهای لیپیدی به اصطلاح نرم شامل مسیل‌ها لیپوزوم‌ها و لیپوپلکس‌ها که به‌طور کلی یک یا دو ترکیب لیپیدی مختلف در ساختار

استفاده کرد. فعالیت ضد ویروسی نانوذرات در فیلترهای هوا را نشان می‌دهد.

از سوی دیگر غیرفعال کردن ویروس‌ها می‌تواند روش دیگری باشد تا از ورود آن‌ها به سلول‌ها جلوگیری شود. نانو اسفنج‌ها دسته‌ای دیگر از نانو مواد هستند که از غشاء سلول‌ها منشاء می‌گیرند و هدف طبیعی ویروس کووید به‌شمار می‌آیند این نانو اسفنج‌ها به‌طور کامل به ویروس متصل می‌شوند و تحقیقات نشان داده‌اند که نانو اسفنج‌ها به‌طور کامل ویروس را خنثی می‌کنند به‌طوری‌که دیگر نمی‌تواند به سلول‌های میزبان متصل شود. بر اساس اطلاعات فعلی ما از ویروس سارس-کووید-۲ تا به حال دو نوع نانواسفنج ساخته شده است؛ نانواسفنج‌های سلول اپیتلیال II ریه انسان و نانواسفنج ماکروفاژ^{۶۹} انسانی استفاده از این نانواسفنج‌ها اثر ضدویروسی واضحی را از خود نشان داده‌اند (۴۲).

تولید واکسن بر پایه نانوذرات

در آوریل ۲۰۲۰ بیش از ۱۰۰ نوع واکسن برای کووید در حال مطالعه و کارآزمایی بالینی بودند. شامل انواع مختلف آر-ان-ا^{۷۰} واکسن، دی-ان-ا^{۷۱} واکسن، واکسن آدنو ویروس^{۷۲}، ویروس‌های غیرفعال شده، ذرات پپتیدی، واکسن‌های شبه‌ویروسی^{۷۳}، واکسن‌های نو ترکیب یا زیر واحد پروتئینی در مقایسه با بقیه واکسن‌ها، واکسن‌های زیر واحد پروتئینی امن‌تر و ارزان‌تر تولید می‌شوند. در پژوهش‌های انجام شده برای تولید واکسن سارس^{۷۴} که واکسن زیرواحد پروتئینی تولید شده نشان داده شده است که پادتن‌های تولیدی می‌توانند به‌خوبی از اتصال ویروس سارس به سلول‌ها جلوگیری کنند. ژن پروتئین اس-سارس شبیه پروتئین اس-کووید ۱۹ است. با این وجود ایمنی‌زایی ایجاد شده توسط به زیرواحد آزاد پروتئینی به تنهایی ضعیف است. مکانیسم‌های سیستم ایمنی بدن انسان گاهی می‌توانند در انجام عملکرد

⁶¹ گیرنده‌هایی در سطح سلول‌ها که در ایجاد سیگنال‌های ناشی از (Toll like receptor). پاتوژن‌ها دخیل اند

⁶² ماده کمکی در سیستم ایمنی که می‌تواند سبب تحریک تولید لنفوسیت‌ها شود (adjuvant).

⁶³ Antigen presenting cell (APC)

⁶⁴ Messenger RNA (mRNA)

⁶⁵ درون سلول‌های زنده

⁶⁶ Lipofectamine

⁶⁷ Stemfect

⁶⁸ lipobrid

⁵⁵ Macrophage

⁵⁶ RNA

⁵⁷ DNA

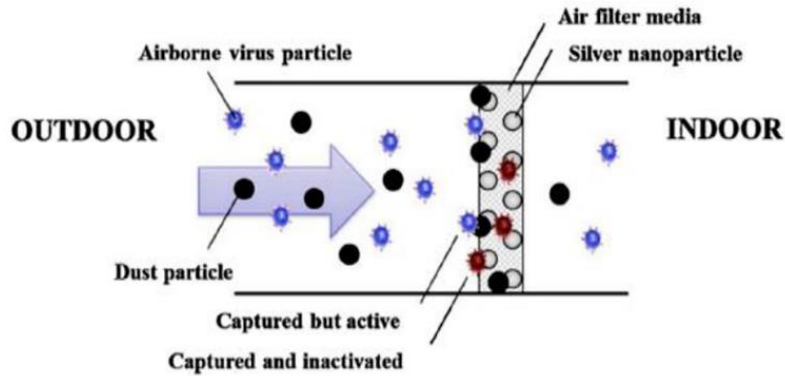
⁵⁸ Adenovirus

⁵⁹ Virus like particle vaccine

⁶⁰ Severe acute respiratory syndrome (SARS)

خوددارند، فاقد توانایی تولید مجدد خود هستند و پایداری

کمی دارند.



شکل ۵. فعالیت ضد ویروسی نانوذرات در فیلترهای هوا (۴۱)

در حال حاضر نانوذرات پلی مری، هیبرید لیپید پلی مر، کیتوسان^{۷۰} و انواع دیگر نانوذرات برای ساخت واکسن ها برای مرس^{۷۱} به طور کامل موفقیت آمیز استفاده شده اند.

تکنیک رونویسی معکوس متعدد با تکثیر ایزوترمال متصل به حلقه^{۷۲} که برای شناسایی آر-ان-ا به کار می رود. تکنیک حلقه برخلاف پی-سی-ار^{۷۳} که به صورت مرحله ای و با تغییرات دما انجام می شود در دمای ثابتی صورت می گیرد و نیازی به تغییر دهنده دما ندارد در حلقه توالی در دمای ۶۰-۶۵ درجه سانتی گراد با استفاده از دو یا چند مجموعه پرایمر و یک آنزیم پلی مراز تکثیر می شود. یک جفت پرایمر حلقه ای اضافی نیز می توانند سرعت واکنش را تسریع کنند و مقدار اسید نوکلئیک تولید شده در این روش به طور قابل توجهی از پی-سی-ار بیشتر است. نگرانی عمده این است که آیا جهش یافته های کوئید به واریته های مقاوم در برابر محافظت از واکسن های موجود تبدیل می شوند یا خیر، زیرا اکثر واکسن های فعلی بر اساس پروتئین اسپایک ویروس ها بودند که در اوایل شیوع داشت (۴۸،۴۷).

ذرات میسلار^{۶۹} اگر از مقدار خاصی کم تر باشند ممکن است تجزیه شوند و اگر برای افزایش پایداری آن ها مقدارشان را زیاد کنیم ممکن است باعث افزایش سمیت شوند. لیپوپلکس ها هم موفقیت کمی در استفاده در درون بدن از خودشان نشان داده اند. لیپوزوم ها هم به دلایلی برای تحویل اسید های نوکلئیک غیر کاربردی هستند. نانوذرات لیپیدی در تعریف جدید آن ها سیستم های لیپیدی در اندازه نانو یعنی کوچک تر از ۱ میکرومتر هستند که از ۲ یا چند به طور معمول ۴ لیپید با نسبت های مختلف ساخته شده اند بسته به فرمولاسیون و محموله آن ها ممکن است یک هسته نانو ساختار یک پوشش هسته و ساختارهای ویزیکولار چند لایه داشته باشند. این ویژگی نانوذرات آن ها را به سیستمی مؤثر برای انتقال واکسن های پیام رسان آر-ان-ا به درون سلول ها تبدیل کرده است. معمول ترین ترکیب برای سیستم های نانوذرات لیپیدی پیام رسان آر-ان-ا متشکل از یک لیپوکاتیون یک فسفولیپید کلسترول و یک لیپید پلی- اتیلن گلیکول است. لیپوکاتیون ها مولکول هایی هستند با دوسر آب دوست و آب گریز که یک گروه آمین با بار مثبت دارند. با توجه به بار مثبت آن ها به راحتی اسید های نوکلئیک با بار منفی به آن ها متصل می شوند (۴۵،۴۲). نانوذرات لیپیدی، فرمولاسیون واکسن های پیام رسان آر-ان-ا در شکل ۶ نشان داده شده است.

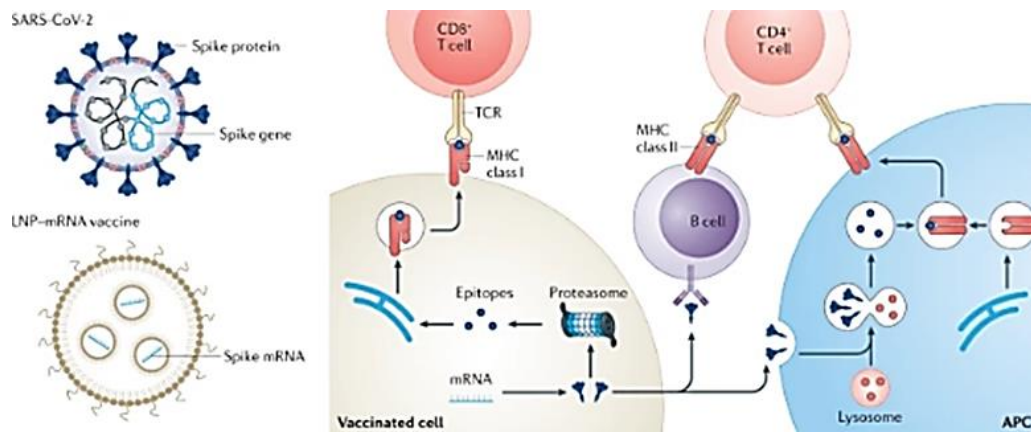
⁷⁰ Chitosan

⁷¹ Middle east respiratory syndrome (MERS)

⁷² Multiplex reverse transcription loop mediated isothermal amplification combine with nanoparticle based lateral flow biosensor (mRT-LAMP)

⁷³ PCR

⁶⁹ Micellar



شکل ۶. نانوذرات لیپیدی، فرمولاسیون واکسن‌های پیام رسان ارن-ا (۴۶).

ویروس نوع B.1.1.7 را خنثی می‌کنند اما ویروس نوع Y.V2501 را خیلی ضعیف خنثی می‌کنند. ترکیبی از ۳ جهش (N501Y و E484K, K417N) در منطقه دامنه اتصال گیرنده 501Y.V2 ممکن است منجر شود برهم‌کنش بین آنتی‌بادی‌های خنثی‌کننده و پروتئین اسپایک را کاهش دهد. روی هم‌رفته، این نتایج نشان می‌دهد که با جمع شدن جهش‌ها در دامنه اتصال گیرنده، پروتئین‌های اسپایک ممکن است یک تغییر آنتی ژنیک به‌دست آورند که انواع سارس-کووید-۲ را قادر می‌سازد تا در نهایت در برابر واکسن‌های فعلی مقاومت کنند؛ بنابراین، برای کنترل همه‌گیر ویروسی، نظارت فشرده بر جهش‌های ویروسی و تنظیم به‌موقع واکسن‌های طراحی شده لازم است (۵۰، ۵۱). مطالعات انجام شده در کشورهای مختلف به‌خوبی اثربخشی واکسن‌ها را حتی بر روی جهش یافته‌های اخیر نشان می‌دهند، برای مثال اثر بخشی واکسن‌ها در جمعیت‌هایی که فقط سویه دلتا شیوع دارد کم‌تر از جمعیت‌های با شیوع سویه آلفا است. شکل ۷ اثربخشی واکسن‌های فایزر و استرازنکا بر روی سویه‌های موجود ویروس را نشان می‌دهد.

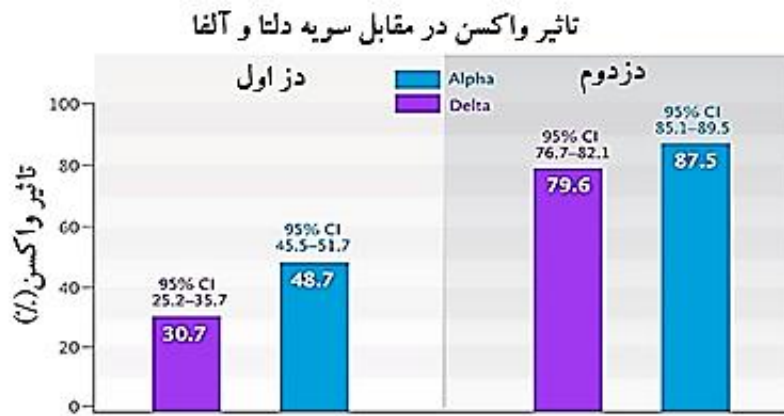
به‌تازگی، دریکی از مطالعات کارایی نانوذرات فریتین که به‌طور هم‌زمان ۲۴ نسخه دامنه اتصال گیرنده^{۷۴} از ارائه می‌دهد و پاسخ‌های ایمنی محافظتی قوی در برابر نوع وحشی سارس-کووید-۲ ایجاد می‌کند. واکسن نانوذرات دامنه اتصال گیرنده از نانوذرات فریتین^{۷۵} و باکتری هلیکوباکتر پیلوری^{۷۶} تشکیل شده است که هرکدام دارای ۲۴ نسخه از رسپتورهای پروتئین اسپایک سارس-کووید-۲ هستند (۴۹).

سویه‌های جدید کووید ۲ (سارس-کووید-۲) با چندین جهش غالب در پروتئین اسپایک به‌تازگی شناسایی شده است و موضوعات مهم مرتبط با احتمال عفونت مجدد بیماران بهبودیافته و کارایی واکسن‌هایی که بر اساس سویه‌های اپیدمی در اوایل ۲۰۲۰ طراحی شده‌اند مورد بحث است. در اینجا، ما شواهدی ارائه می‌دهیم که سرم‌های جمع‌آوری شده از بیماران کووید ۱۹ در اوایل سال ۲۰۲۰ و موش‌های واکسینه شده با نانوذرات مبتنی بر گیرنده دامنه اتصال گیرنده به‌طور مؤثر انواع ویروسی D614G و B.1.1.7 را خنثی می‌کنند و نوع Y.V2501 را به‌طور ضعیف خنثی می‌کنند، با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از مطالعات اخیر ما می‌دانیم که که موش‌های واکسن شده با نانوذرات دامنه اتصال گیرنده به‌طور مؤثر

⁷⁴ receptor-binding domain (RBD)

⁷⁵ ferritin

⁷⁶ Helicobacter pylori



شکل ۷. اثربخشی واکسن‌های فایزر و استرازنکا بر روی سویه‌های موجود و بروس (۵۲)

آنزیم تبدیل کننده آنژیوتانسین جلوگیری می‌کند. سلول‌های ریه و راه‌های تنفسی سلول‌های اصلی بیان کننده رسپتور آنزیم تبدیل کننده آنژیوتانسین هستند. نانوذرات را می‌توان به گونه‌ای مهندسی کرد که حاوی ایمونوگلوبولین اف-سی باشند. این نانوذرات به صورت خوراکی مصرف می‌شوند و پتانسیل آن را دارند که در سلول‌های اپیتلیال تنفسی که بیش تر از همه تحت تأثیر کووید هستند تجمع یابند. بسیار مهم است که روش‌های درمانی‌ای ایجاد شوند که در زنان باردار تأثیری بر جنین نداشته باشند. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که استفاده از نانوذرات مذکور راه حل مناسبی است و این نانو ذرات نمی‌توانند از جفت عبور کنند. توانایی نانوذرات مذکور راه حل مناسبی است و این نانوذرات نمی‌توانند از جفت عبور کنند. توانایی نانوذرات برای کاهش سطح آنزیم تبدیل کننده آنژیوتانسین در رده‌های مختلف سلولی و در نتیجه کاهش جذب ویروس با کاهش بیان پروتئین اسپایک این روش را بسیار مناسب کرده است. اندازه نانوذرات تولیدی با استفاده از پراکندگی نور پویا^{۸۳} مشخص شده و اندازه آن‌ها به طور تقریبی ۷۰-۸۰ نانومتر و پتانسیل ۳۰ میلی‌ولت و با ۲۰٪ آیورمکتین بودند. لودینگ آیورمکتین به وسیله کروماتوگرافی مایع با کارایی^{۸۴} بالا انجام شده. ایمونوگلوبولین اف-سی با اتصال به قطعات تیول منجر به تجمع قطعات اف-سی می‌شود. به طور کلی این نانوذرات ناقل آیورمکتین درمان بسیار مناسبی برای کووید است ولی

پروتئین اسپایک ویروس سارس-کووید-۲ با رسپتورهای آنزیم تبدیل کننده آنژیوتانسین^{۷۷} سلول‌های ریه برهم کنش انجام می‌دهد که باعث می‌شود ویروس بتواند فعالیت ویروسی خود را داشته باشد. بیش تر آسیب‌های بافتی به- دلیل پاسخ ایمنی و التهاب است. مطالعات جدید بر ممانعت کننده‌های خاص کووید از ترکیب‌های طبیعی مثل فلانوئیدها تمرکز می‌کنند. در یک مطالعه گزارشی از یک داروی خوراکی به نام آیورمکتین^{۷۸} همراه با نانوذرات و توانایی آن در کم کردن بیان آنزیم تبدیل کننده آنژیوتانسین و پروتئین اسپایک ویروس می‌پردازد. نانو فرمولاسیون آیورمکتین این اجازه را می‌دهد که دارو به تدریج در خون پخش شود و درمان آهسته و با سرعت مناسب انجام شود و ماده آزاد شده در جریان خون در سطح مشخصی حفظ می‌شود و زیر حداکثر دوز قابل تحمل نگه‌داشته می‌شود. نانوذرات با استفاده از پلی (لاکتید کو گلیکولید)^{۷۹}، پلی اتیلن گلیکول-مالیمید^{۸۰} و متصل به یک قطعه ایمونوگلوبولین^{۸۱} با قابلیت تبلور (اف-سی)^{۸۲} هستند. استفاده از اف-سی باعث می‌شود که نانوذرات از سد اپیتلیال روده عبور کنند و وارد خون شوند. این نانوذرات یک گزینه درمانی کاربردی برای کووید هستند که نه تنها ماهیت عفونی ویروس را کم می‌کنند بلکه از ویروس به سلول‌ها با

⁷⁷ Angiotensin-converting enzyme 2 (ACE2)

⁷⁸ Ivermectin (IVM)

⁷⁹ Poly(lactide-co-glycolide)

⁸⁰ Polyethylene glycol maleimide

⁸¹ Immunoglobulin

⁸² Fragment of crystallizable (FC)

⁸³ Dynamic light scattering (DLS)

⁸⁴ High performance liquid chromatography (HPLC)

نشان داد که هر دو Fe_2O_3 و Fe_3O_4 به طور مؤثر با سارس-کووید-۲ دامنه اتصال گیرنده برهم کنش دارند. Fe_3O_4 یک مجموعه پایدارتر با S1- دامنه اتصال گیرنده تشکیل می دهد در حالی که Fe_2O_3 با گلیکوپروتئین های^{۹۰} ویروس هپاتیت ویروس سی ارتباط قوی تری دارد. انتظار می رود که این برهمکنش های نانوذرات آهن^{۹۱} با تغییرات ساختاری پروتئین های ویروسی و در نتیجه غیرفعال شدن ویروس همراه باشد (۵۳). پس از انتشار داده های فاز ۳ واکسن های فایزر و مدرنا و ادعای اثر بخشی بالای ۹۰٪ این واکسن ها مهم است که کاربرد نانوتکنولوژی را در این واکسن ها بدانیم. برای ایمن بودن، مؤثر بودن و رسیدن واکسن به سیتوزول سلول های هدف واکسن نیاز به یک حامل دارد در حین توسعه واکسن، قسمت آنتی ژنی ویروس یا پیام رسان ار-ان-۱ سازنده آن در نانوحامل کپسوله شده و یا به همراه مواد کمکی به سطح نانوذرات متصل می شود. بسیاری از درمان های مبتنی بر پیام رسان ار-ان-۱ برای حمل آن از نانوذرات لیپیدی استفاده می کنند. کمپلکس لیپید-پیام-رسان ار-ان-۱ مقاوم تر و در برابر تخریب پایدارتر است. نانوذرات لیپیدی پس از اندوسیتوز پیام رسان ار-ان-۱ را در سیتوزول رها می کنند جایی که پیام رسان ار-ان-۱ به آنتی ژنی ترجمه می شود که سیستم ایمنی را تحریک به تولید پادتن می کند (۵۴،۵۵). نانولیپیدهای مورد استفاده در واکسن ها به احتمال نقش کمکی نیز دارند. البته کاربرد نانوذرات لیپیدی به عنوان کمکی باید بیش تر مورد مطالعه قرار بگیرد (۵۶،۵۷).

نتیجه گیری

استفاده از نانوتکنولوژی در تولید داروها، واکسن ها و وسایل حفاظت شخصی مانند ماسک و گان و تولید کیت های تشخیص کرونا نقش بسیار مهمی داشته است. امروزه نانوتکنولوژی ابزاری مهم در انتقال داروها و واکسن های مختلف به شمار می آید. در تولید واکسن های مورد استفاده برای مقابله با ویروس کرونا مانند فایزر و مدرنا که هم اکنون در دسترس هستند نانوتکنولوژی نقش مهمی داشته است و همین طور که اشاره شد کاربرد آن در دارورسانی هوشمند بسیار حائز اهمیت است. در بسیاری از موارد بررسی چگونگی عملکرد داروهای مختلف نیز به کمک نانوتکنولوژی

باید سمیت و دیگر آزمایش های مربوطه آن انجام شوند. نانوذرات تحریک کننده سیستم ایمنی نیستند و تجمع آن ها در ریه باعث فعال شدن سیستم ایمنی به طور مضاعف نمی شوند بنابراین درمان بسیار مؤثری می تواند باشد یکی دیگر از کاربردهای نانوذرات ساخت ذرات شبیه ویروسی^{۸۵} است؛ یعنی مهندسی نانوذرات به شکلی که ویژگی های فیزیکی و شیمیایی ویروس را نشان دهند آن هم وقتی ماده ژنتیک ندارند و قابلیت همانندسازی در آن ها وجود ندارد! در مورد کووید مدنظر است که یکی از پروتئین های ساختاری کرونا که پروتئین اس است می تواند به صورت نانوذرات شبیه ویروس ساخته شود. در مطالعات گذشته این نانوذرات شبیه ویروس توانسته اند پاسخ های ایمنی ذاتی علیه هپاتیت بی و ویروس پاپیلوم انسانی^{۸۶} در بدن ایجاد کنند و به عنوان واکسن مورد استفاده قرار بگیرند. نانوذرات طلا به طور خاص می توانند در تولید نانوذرات شبیه ویروس به دلیل بالا بودن سطح انرژی شان و سایر ویژگی های خاص مورد استفاده قرار بگیرند. نانوذرات می توانند به گونه ای طراحی شوند که پروتئین اس را مورد هدف قرار داده و ساختار آن را تخریب کنند و برهم کنش آن ها با پروتئین اس باعث شود که دیگر ویروس نتواند به سلول ها متصل شود. تعدادی از نانوذرات خاصیت ضد ویروسی برای بسیاری از ویروس های کشنده از خودشان نشان داده اند. برای مثال نانوذرات نقره هم کاربرد ضد باکتری دارند و هم ضد ویروسی و می توان برای ساخت فیلتر ماسک های ارزان قیمت مورد استفاده قرار گیرند. هم چنین مبارزه نانوذرات نقره با ویروس های اچ-ای-وی^{۸۷} و ویروس هرپس انسانی اثبات شده است (۲۰). همان طور که پیشتر گفته شد فعالیت ضد میکروبی نانوذرات اکسید آهن قبلاً تأیید شده است. نانوذرات اکسید آهن^{۸۸} پیشتر توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده^{۸۹} برای درمان کم خونی تأیید شده اند هم چنین فعالیت ضد ویروسی آن را در شرایط آزمایشگاهی نشان داده اند. در یکی از مطالعات اخیر بررسی برهم کنش Fe_2O_3 و Fe_3O_4 با گیرنده پروتئین اسپایک (S1- دامنه اتصال گیرنده) سارس-کووید-۲ که برای اتصال ویروس به گیرنده های سلول میزبان مورد نیاز است، انجام شده. تجزیه و تحلیل اتصال ها مشابه با گلیکوپروتئین های ای-۱ و ای-۲ ویروس هپاتیت سی انجام شد. این مطالعات

⁸⁵ Virus like particles (VLP)

⁸⁶ Human Papillomavirus (HPV)

⁸⁷ human immunodeficiency virus (HIV)

⁸⁸ Iron oxide nanoparticles

⁸⁹ FDA

⁹⁰ Hepatitis C virus (HCV)

⁹¹ Iron oxide nanoparticles (IONPs)

صورت می‌پذیرد که همگی این موارد اهمیت فوق‌العاده آن را در مقابله با ویروس کرونا و کنترل آن نشان می‌دهند. در مواردی استفاده از نانو ذرات باعث بروز سمیت می‌شوند که باید استفاده از آن‌ها را کنترل کرد و این امر نیازمند آزمایش‌های بیش‌تری است. فعالیت ضد میکروبی تعدادی از نانوذرات به اثبات رسیده و البته کاربرد بسیاری از آن‌ها به‌صورت آزمایشات بالینی باید مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به کاربردهای حال حاضر نانوذرات در موارد مختلف برای مقابله با کووید ۱۹ و همچنین پتانسیل آن‌ها در موارد مختلف امید می‌رود که در مطالعات و پژوهش‌هایی در آینده درمانی قطعی برای کووید با کمک نانوذرات ارائه شود. با توجه به تلاش شرکت‌های مختلف داروسازی و تجهیزات پزشکی در تولید واکسن‌های مؤثر، تست‌های سریع و همچنین وسایل محافظ مؤثرتر می‌توان انتظار داشت که با کمک داده‌های مطالعات انجام شده به کمک نانوتکنولوژی سریع‌تر به ایمنی گروهی برسیم و این بیماری را شکست دهیم.

1. Hassanin A, Grandcolas P, Veron G. Covid-19: natural or anthropic origin? *Mammalia*. 2021;85(1):1-7.
2. Pereira-Silva M, Chauhan G, Shin MD, Hoskins C, Madou MJ, Martinez-Chapa SO, et al. Unleashing the potential of cell membrane-based nanoparticles for COVID-19 treatment and vaccination. *Expert Opinion on Drug Delivery*. 2021:1-20.
3. Chen L, Liang J. An overview of functional nanoparticles as novel emerging antiviral therapeutic agents. *Materials Science and Engineering: C*. 2020;112:110924.
4. Lysenko V, Lozovski V, Lokshyn M, Gomeniuk YV, Dorovskih A, Rusinchuk N, et al. Nanoparticles as antiviral agents against adenoviruses. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 2018;9(2):025021.
5. Sim W, Barnard RT, Blaskovich M, Ziora ZM. Antimicrobial silver in medicinal and consumer applications: a patent review of the past decade (2007–2017). *Antibiotics*. 2018;7(4):93.
6. Lara Y, Nguyen T, Marilena L, Alexander M. Toxicological considerations of clinically applicable nanoparticles. *Nano Today*. 2011;6:585-607.
7. Gurunathan S, Qasim M, Choi Y, Do JT, Park C, Hong K, et al. Antiviral potential of nanoparticles—Can nanoparticles fight against coronaviruses? *Nanomaterials*. 2020;10(9):1645.
8. Siadati SA, Afzali M, Sayyadi M. Could silver nano-particles control the 2019-nCoV virus?; An urgent glance to the past. *Chemical Review and Letters*. 2020;3(1):9-11.
9. Pulit-Prociak J, Banach M. Silver nanoparticles—a material of the future...? *Open Chemistry*. 2016;14(1):76-91.
10. Kosiol P, Müller MT, Schneider B, Hansmann B, Thom V, Ulbricht M. Determination of pore size gradients of virus filtration membranes using gold nanoparticles and their relation to fouling with protein containing feed streams. *Journal of Membrane Science*. 2018;548:598-608.
11. Clement R. Is it time for an evidence based uniform for doctors? *Bmj*. 2012;345.
12. Ishihara M, Nguyen VQ, Mori Y, Nakamura S, Hattori H. Adsorption of silver nanoparticles onto different surface structures of chitin/chitosan and correlations with antimicrobial activities. *International journal of molecular sciences*. 2015;16(6):13973-88.
13. Suchomel P, Kvitek L, Pucek R, Panacek A, Halder A, Vajda S, et al. Simple size-controlled synthesis of Au nanoparticles and their size-dependent catalytic activity. *Scientific reports*. 2018;8(1):1-11.
14. Khatir NM, Abdul-Malek Z, Zak AK, Akbari A, Sabbagh F. Sol-gel grown Fe-doped ZnO nanoparticles: antibacterial and structural behaviors. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2016;78(1):91-8.
15. Iravani S, Korbekandi H, Mirmohammadi SV, Zolfaghari B. Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods. *Research in pharmaceutical sciences*. 2014;9(6):385.
16. Drbohlavova J, Adam V, Kizek R, Hubalek J. Quantum dots—characterization, preparation and usage in biological systems. *International journal of molecular sciences*. 2009;10(2):656-73.

17. Zulfiqar U, Subhani T, Wilayat Husain S. Synthesis of silica nanoparticles from sodium silicate under alkaline conditions. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2016;77(3):753-8.
18. Wu C-H, Sokolov K. Synthesis of immunotargeted magneto-plasmonic nanoclusters. *J Vis Exp*. 2014(90):52090.
19. Minati L, Benetti F, Chiappini A, Speranza G. One-step synthesis of star-shaped gold nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2014;441:623-8.
20. Medhi R, Srinoi P, Ngo N, Tran H-V, Lee TR. Nanoparticle-based strategies to combat COVID-19. *ACS Applied Nano Materials*. 2020;3(9):8557-80.
21. Pramanik A, Gao Y, Patibandla S, Mitra D, McCandless MG, Fassero LA, et al. Aptamer Conjugated Gold Nanostar-Based Distance-Dependent Nanoparticle Surface Energy Transfer Spectroscopy for Ultrasensitive Detection and Inactivation of Corona Virus. *The Journal of Physical Chemistry Letters*. 2021;12(8):2166-71.
22. Li H, Rothberg L. Colorimetric detection of DNA sequences based on electrostatic interactions with unmodified gold nanoparticles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2004;101(39):14036-9.
23. Lee Y, Kang B-H, Kang M, Chung DR, Yi G-S, Lee LP, et al. Nanoplasmonic on-chip PCR for rapid precision molecular diagnostics. *ACS applied materials & interfaces*. 2020;12(11):12533-40.
24. Teengam P, Siangproh W, Tuantranont A, Vilaivan T, Chailapakul O, Henry CS. Multiplex paper-based colorimetric DNA sensor using pyrrolidiny peptide nucleic acid-induced AgNPs aggregation for detecting MERS-CoV, MTB, and HPV oligonucleotides. *Analytical chemistry*. 2017;89(10):5428-35.
25. Gong P, He X, Wang K, Tan W, Xie W, Wu P, et al. Combination of functionalized nanoparticles and polymerase chain reaction-based method for SARS-CoV gene detection. *Journal of nanoscience and nanotechnology*. 2008;8(1):293-300.
26. Zhao Z, Cui H, Song W, Ru X, Zhou W, Yu X. A simple magnetic nanoparticles-based viral RNA extraction method for efficient detection of SARS-CoV-2. *BioRxiv*. 2020.
27. Roh C, Jo SK. Quantitative and sensitive detection of SARS coronavirus nucleocapsid protein using quantum dots- conjugated RNA aptamer on chip. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2011;86(12):1475-9.
28. Ahmed SR, Nagy É, Neethirajan S. Self-assembled star-shaped chiroplasmonic gold nanoparticles for an ultrasensitive chiro-immunosensor for viruses. *RSC advances*. 2017;7(65):40849-57.
29. Ahmed SR, Kang SW, Oh S, Lee J, Neethirajan S. Chiral zirconium quantum dots: a new class of nanocrystals for optical detection of coronavirus. *Heliyon*. 2018;4(8):e00766.
30. Sharma A, Kontodimas K, Bosmann M. Nanomedicine: A Diagnostic and Therapeutic Approach to COVID-19. *Frontiers in Medicine*. 2021;8.
31. Üner M, Yener G. Importance of solid lipid nanoparticles (SLN) in various administration routes and future perspectives. *International journal of nanomedicine*. 2007;2(3):289.
32. Manigandan S, Praveenkumar TR, Brindhadevi K. A review on role of nitrous oxide nanoparticles, potential vaccine targets, drug, health care and artificial intelligence to combat COVID-19. *Applied Nanoscience*. 2021.
33. Pieretti JC, Rubilar O, Weller RB, Tortella GR, Seabra AB. Nitric oxide (NO) and nanoparticles—potential small tools for the war against COVID-19 and other human coronavirus infections. *Virus Research*. 2020:198202.

34. Moitra P, Alafeef M, Dighe K, Frieman MB, Pan D. Selective naked-eye detection of SARS-CoV-2 mediated by N gene targeted antisense oligonucleotide capped plasmonic nanoparticles. *ACS nano*. 2020;14(6):7617-27.
35. Zhu X, Wang X, Han L, Chen T, Wang L, Li H, et al. Multiplex reverse transcription loop-mediated isothermal amplification combined with nanoparticle-based lateral flow biosensor for the diagnosis of COVID-19. *Biosensors and Bioelectronics*. 2020;166:112437.
36. Clayton K, Moehling T, Lee DH, Wereley S, Linnes J, Kinzer-Ursem T. Particle Diffusometry: An Optical Detection Method for *Vibrio cholerae* Presence in Environmental Water Samples. *Scientific Reports*. 2019;9:1739.
37. Senapati S. Biosynthesis and immobilization of nanoparticles and their applications. 2005.
38. Luo M-X, Hua S, Shang Q-Y. Application of nanotechnology in drug delivery systems for respiratory diseases. *Molecular Medicine Reports*. 2021;23(5):1-17.
39. Hao J, Passos de Oliveira Santos R, Rutledge GC. Examination of Nanoparticle Filtration by Filtering Facepiece Respirators During the COVID-19 Pandemic. *ACS Applied Nano Materials*. 2021-۳۶۷۰:(۴)۴; ۸۵
40. Zhang Q, Honko A, Zhou J, Gong H, Downs SN, Vasquez JH, et al. Cellular nanosponges inhibit SARS-CoV-2 infectivity. *Nano letters*. 2020;20(7):5570-4.
41. Behbudi G. Effect of silver nanoparticles disinfectant on covid-19. *Advances in Applied NanoBio-Technologies*. 2021;2(2):63-7.
42. Pilkington EH, Suys EJ, Trevaskis NL, Wheatley AK, Zukancic D, Algarni A, et al. From influenza to COVID-19: Lipid nanoparticle mRNA vaccines at the frontiers of infectious diseases. *Acta Biomaterialia*. 2021.
43. Kreutz M, Giquel B, Hu Q, Abuknesha R, Uematsu S, Akira S, et al. Antibody-antigen-adjuvant conjugates enable co-delivery of antigen and adjuvant to dendritic cells in cis but only have partial targeting specificity. *PloS one*. 2012;7(7):e40208.
44. Wang Z-B, Xu J. Better adjuvants for better vaccines: Progress in adjuvant delivery systems, modifications, and adjuvant-antigen codelivery. *Vaccines*. 2020;8(1):128.
45. Schoenmaker L, Witzigmann D, Kulkarni JA, Verbeke R, Kersten G, Jiskoot W, et al. mRNA-lipid nanoparticle COVID-19 vaccines: Structure and stability. *International Journal of Pharmaceutics*. 2021;601:120586.
46. Hou X, Zaks T, Langer R, Dong Y. Lipid nanoparticles for mRNA delivery. *Nature Reviews Materials*. 2021:1-17.
47. Zhu X, Wang X, Han L, Chen T, Wang L, Li H, et al. Reverse transcription loop-mediated isothermal amplification combined with nanoparticles-based biosensor for diagnosis of COVID-19. *medRxiv*. 2020:2020.03.17.20037796.
48. Surnar B, Kamran MZ, Shah AS, Dhar S. Clinically Approved Antiviral Drug in an Orally Administrable Nanoparticle for COVID-19. *ACS Pharmacology & Translational Science*. 2020;3(6):1371-80.
49. Li H, Guo L, Zheng H, Li J, Zhao X, Li J, et al. Self-Assembling Nanoparticle Vaccines Displaying the Receptor Binding Domain of SARS-CoV-2 Elicit Robust Protective Immune Responses in Rhesus Monkeys. *Bioconjugate Chemistry*. 2021;32(5):1034-46.

50. Li R, Ma X, Deng J, Chen Q, Liu W, Peng Z, et al. Differential efficiencies to neutralize the novel mutants B.1.1.7 and Y.V2 by collected sera from convalescent COVID-19 patients and RBD nanoparticle-vaccinated rhesus macaques. *Cellular & Molecular Immunology*. 2021;18(4):1058-60.
51. He L, Lin X, Wang Y, Abraham C, Sou C, Ngo T, et al. Single-component, self-assembling protein nanoparticles presenting the receptor binding domain and stabilized spike as SARS-CoV-2 vaccine candidates. *Science Advances*. 2021;7(12):eabf1591.
52. Lopez Bernal J, Andrews N, Gower C, Gallagher E, Simmons R, Thelwall S, et al. Effectiveness of Covid-19 vaccines against the B. 1.617. 2 (delta) variant. *New England Journal of Medicine*. 2021.
53. Abo-zeid Y, Ismail N, McLean G, Hamdy NM. A Molecular Docking Study Repurposes FDA Approved Iron Oxide Nanoparticles to Treat and Control COVID-19 Infection. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020;153:105465.
54. Nanomedicine and the COVID-19 vaccines. *Nature Nanotechnology*. 2020;15(12):963.-
55. Chintagunta AD, Nalluru S, NS SK. Nanotechnology: an emerging approach to combat COVID-19. *Emergent Materials*. 2021:1-12.
56. Calcagnile S, Zuccotti GV. The virosomal adjuvanted influenza vaccine. *Expert opinion on biological therapy*. 2010;10(2):191-200.
57. Chung YH, Beiss V, Fiering SN, Steinmetz NF. COVID-19 Vaccine Frontrunners and Their Nanotechnology Design. *ACS Nano*. 2020;14(10):12522-37.