

## مروری بر پیشرفت‌های آینده آگزوزوم‌ها در درمان‌های بدون سلول: مقاله مروری

### چکیده

دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۸ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶ آنلاین: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

آگزوزوم‌ها نشات گرفته از MSCs مشتق از بافت‌های مختلف، نویدبخش درمان‌های بدون سلول برای ترمیم آسیب‌های وارده به بافت‌ها می‌باشند. وزیکول‌های خارج سلولی نقش‌های کلیدی در زیست‌شناسی سلولی ایفا می‌کنند و ممکن است تشخیص‌ها و درمان‌های بالینی جدیدی ارائه دهند. آنها به سیگنال‌دهی بین سلولی کمک و هموستاز بافت را حفظ می‌کنند. بیوتنز آگزوزوم‌ها در سیستم اندوزومی شروع می‌شود. محققان ۹۷۶۹ پروتیین، ۲۸۳۸ amiRNA و ۳۴۰۸ mRNA و ۱۱۱۶ لیپید که در محموله آگزوزومی وجود دارد را شناسایی کرده‌اند. این بسته به منشأ EV، وضعیت فیزیولوژیکی و پاتولوژیکی آن و حتی محل دقیق رهاسازی سلولی متفاوت است. جداسازی آگزوزوم‌ها از سلول‌ها، بافت‌ها و مایعات بدن از الگوی متفاوتی پیروی می‌کنند. فناوری‌های پیشرفته در پزشکی بازساختی، سبب شده است که محققین از آگزوزوم‌های جدا شده از MSCs با توانایی بازسازی بالا در بیماری‌ها استفاده نمایند. محموله آگزوزومی نقشی کلیدی در تشخیص و درمان با کنترل فرایند بیماری بازی می‌کنند. این مطالعه با جمع‌آوری داده‌ها از منابع معتبر علمی از شهریور ۱۴۰۱ تا مرداد ۱۴۰۲ در پژوهشکده علوم اعصاب، مرکز تحقیقات ضایعات مغزی و نخاعی دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شده است. مطالعات مختلف در شرایط آزمایشگاهی ایمنی اثربخشی و پتانسیل درمانی آگزوزوم‌ها در سرطان‌ها، نورودژنراتیو، قلبی-عروقی و بیماری‌های ارتوپدی را نشان داده‌اند. این مقاله نقش درمانی و پتانسیل آگزوزوم‌های مشتق از MSCs و همچنین تمهیدات لازم به جهت فرآوری آنها را بیان می‌کند.

**کلمات کلیدی:** آگزوزوم، جداسازی، سلول بنیادی مزانشیمی، بازسازی بافت.

سید خلیل پسته‌ای<sup>۱</sup>، مهدیه قیائی<sup>۲\*</sup>،  
سید حسن امامی رضوی<sup>۲</sup>

۱- گروه بیهوشی، دانشکده پزشکی مجتمع  
بیمارستانی امام خمینی (ره)، دانشگاه علوم  
پزشکی تهران، تهران، ایران.

۲- مرکز تحقیقات ضایعات مغزی و نخاعی،  
پژوهشکده علوم اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی  
تهران، تهران، ایران.

\* نویسنده مسئول: تهران، دانشگاه علوم پزشکی تهران،  
پژوهشکده علوم اعصاب، مرکز تحقیقات ضایعات  
مغزی و نخاعی.

تلفن: ۰۲۱-۶۶۵۸۱۷۰۱

E-mail: mahdieh.ghiasi@yahoo.com.

بین سلولی ایفا می‌کنند. باتوجه به اندازه، آگزوزوم‌ها در زیر دسته EcVs قرار می‌گیرند، که اندوزوم مشتق شده از دو لایه لیپیدی، وزیکول‌های کروی با اندازه ۱۵۰-۴۰ نانومتر هستند. تقریباً تمام سلول‌ها، بافت‌ها و مایعات بدن مانند پلاسما، ادرار، بزاق، اشک، ترشحات گوارشی (GI)، مایع منی و شیر مادر آگزوزوم ترشح می‌کنند. آگزوزوم‌ها حاوی میکرو مولکول‌های زیستی شامل پروتئین‌ها، لیپیدها، RNA و DNA می‌باشند که از سلول‌های والد ترشح شده‌اند. علاوه‌براین، ویژگی‌ها و رفتار آگزوزوم‌ها ارتباط نزدیکی با منشأ سلول والد دارد. باتوجه به اندازه و ویژگی مناسب و نقش آشکار آنها در بسیاری از فرایندهای پاتوبیولوژیکی پتانسیل

تحولات معاصر شامل توسعه سیستم‌های دارورسان هدفمند در زمینه پزشکی، برای بهره‌برداری از پتانسیل کامل و استفاده موثر از محصولات درمانی با غلبه بر محدودیت‌های روش‌های موجود که پاتوژن بیماری‌ها را موردبررسی قرار می‌دهند، توسعه یافته‌اند. در این زمینه، سیستم‌های حامل مختلف نانو پلیمری گسترش پیدا کرده‌اند.<sup>۱</sup> استفاده از وزیکول‌های خارج سلولی (Extra cellular vesicles, EcVs) به‌عنوان یک ابزار دارورسانی به‌دلیل ویژگی‌های ساده آنها که از سلول‌های والد یا میزبان مشتق شده‌اند، موردتوجه ویژه قرار گرفته است. علیرغم هموستاز سلولی طبیعی، EcVs نقش اصلی را در مداخله پاتوبیولوژی فرایندهای بیماری از طریق آبشار سیگنال‌دهی

اولتراسانتریفیوژ رایجترین روش مورد استفاده برای جداسازی اگزوزوم‌ها است. پروتئین‌های پیچیده در اگزوزوم‌ها توسط فرآیندهایی مانند وسترن بلات، فلوسایتومتری، و طیف‌سنجی جرمی آنالیز می‌شوند. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل نمونه با فلورسانس با دقت بالا در روش ردیابی نانوذرات ممکن است.<sup>۵</sup> پروفایل محتوای miRNA اگزوزوم‌ها با توالی‌یابی نسل بعدی، پردازش ریزآرایه و RT-PCR تعیین شده بود. تایید نمونه‌های جدا شده را می‌توان با میکروسکوپ‌های الکترونی انجام داد.<sup>۶</sup> کاربرد نامتجانس از روش‌های مختلف جداسازی، تایید، کمی‌سازی و تجزیه و تحلیل به وسیله محققین با مجموعه‌ای از مزایا و معایب خود، ناهمگونی بیشتری را در تحلیل و استانداردسازی به همراه دارد.

فیزیولوژی سلولی اگزوزوم‌ها شامل تو رفتگی غشای پلاسمایی و تشکیل داخل‌سلولی اجسام چند وزیکولی داخل‌سلولی همراه با وزیکول‌های اینترا لامینال می‌باشد. مسیر اندوسیتی سلول دهنده توسط انتقال پروتئین‌های غشایی و داخل وزیکولی از دستگاه گلژی ادامه می‌یابد و در نتیجه به تشکیل اندوزوم‌های اولیه منجر می‌شوند. پس از بلوغ و تمایز، آنها به اندوزوم‌های ثانویه تبدیل می‌شوند.<sup>۷</sup> آنها به وسیله ادغام با لیزوزوم‌ها یا غشای پلاسمایی یا اتوفاگوزوم‌هایی که وزیکول‌های داخل مجرای را به عنوان اگزوزوم (با قطر ۱۵۰-۴۰ نانومتر) به داخل محیط خارج‌سلولی آزاد می‌کنند، تجزیه می‌شوند.

اگزوزوم‌ها با سلول‌های گیرنده از طریق مولکول‌های گیرنده سطحی و لیگاندها تعامل دارند. بعضی از اگزوزوم‌ها روی غشای سلولی اهداکننده پس از ترشح باقی می‌مانند در حالی که باقیمانده با سلول‌های گیرنده تعامل دارند. درونی‌سازی اگزوزوم‌ها از طریق فرآیند ادغام غشایی با واسطه آندوسیتوز وابسته به کائول یا کلاترین انجام می‌شود. میکروپینوسیتوز و فاگوسیتوز نیز به عنوان روشی برای درونی‌سازی اگزوزوم‌ها توسط سلول گیرنده شرح داده شده است. این فرآیند ادغام فیزیولوژیکی در مورد سلول‌های دریافت‌کننده هدف، دارای خاصیت درمانی می‌باشند و به عنوان یک سیستم تحویل هدفمند برای عملکردهای بیولوژیکی در نظر گرفته می‌شوند.<sup>۸</sup>

اگزوزوم‌ها بازیگران کلیدی در ارتباط‌های بین‌سلولی هستند و قابلیت تعیین پیشرفت بیماری را دارند. مطالعات در حال ظاهر سازی در جنبه‌های تشخیصی و درمانی اگزوزوم‌ها برای آسیب‌های مختلف سیستمیک هستند. تشخیص مواد (داخل سلولی و خارج سلولی) حمل

درمانی اگزوزوم‌ها در مدیریت انواع اختلالات عصبی، بیماری‌های عفونی، اختلالات اسکلتی-عضلانی و اختلالات قلبی-عروقی حایز اهمیت است.

ترکیب یک وزیکول اگزوزوم (EV) شامل پروتئین‌ها، RNA، DNA و سایر مواد است. در حال حاضر، ۹۷۶۹ پروتئین، ۲۸۳۸ miRNA، ۳۴۰۸ mRNA و ۱۱۱۶ لیپیدها در ترکیب آنها شرح داده شده است. از بین این اجزاء، پروتئین‌های اگزوزومی بر اساس ماهیت سلول‌ها یا بافت اولیه متفاوت هستند.

پروتئین‌ها مانند پروتئین‌های انتقالی و همجوشی غشایی، چاپرون‌ها، مولکول‌های چسبندگی، MHC، پروتئین‌های اسکلت سلولی و پروتئین‌های مرتبط با لیپید، پروتئین‌های اصلی اگزوزومی هستند. پروتئین X متقابل (ALIX) (ALG-2)، پروتئین شوک حرارتی ۷۰ (HSP 70)، ژن حساسیت تومور ۱۰۱ (TSG101) و تراسپانین‌ها (CD9، CD63، CD81 و CD8) با غلظت بالاتری در اگزوزوم‌ها شناسایی شده‌اند.<sup>۹</sup>

علاوه بر این، آنها به عنوان یک نشانگر زیستی برای شناسایی اگزوزومی عمل می‌کنند. اگزوزوم‌ها همچنین غنی از مولکول‌های لایه‌بندی شده لیپیدی مانند پروتئین لنگردار با گلیکوزیل فسفاتیدیل اینوزیتول (LBPA) و فلوئیلین هستند.<sup>۱۰</sup>

جدا از آنزیم‌های متابولیک و مولکول‌های انتقالی سیگنال مانند پروتئین G و پروتئین کینازها، اگزوزوم‌ها حاوی mRNA، miRNA، RNAهای غیرکدکننده (ncRNA) و DNA میتوکندریایی در ترکیبات آنها هستند. قابل توجه اینکه، اولین نوع از اسیدهای نوکلئیک شناسایی شده در اگزوزوم‌ها mRNA و miRNA می‌باشند.

مشخصه‌یابی و جداسازی آنها یک پیش‌نیاز ضروری برای تایید پتانسیل درمانی آنها همراه با درک بهتر فیزیولوژی آنها است. اگزوزوم‌ها از مایع رویی کشت سلولی یا پلاسما با شناسایی آنها بر اساس خصوصیات فیزیکی و مورفولوژیکی به دست می‌آیند.

اگرچه جداسازی می‌تواند با چندین روش انجام گیرد مانند اولتراسانتریفیوژ، اولترافیلتراسیون، اولتراسانتریفیوژ گرادیان، رسوب‌گیری، کروماتوگرافی حذف اندازه، جذب ایمنی، ایمونواسی طیف سنجی جرمی، مرتب‌سازی سلول‌های فعال شده به صورت مغناطیسی و تکنیک‌های مبتنی بر میکروسیال که هر کدام مزایا و معایب خود را دارند.<sup>۱۱</sup>

اگزوزوم‌ها وزیکول‌های داخل مجرای هستند و در بافت‌ها و مایعات مختلف بدن یافت می‌شوند.<sup>۱۴</sup> اگزوزوم‌های مشتق‌شده از سلول‌های بنیادی مزانشیمی (Mesenchymal Stem Cells, MSCs) به دلیل پتانسیل درمانی و ترمیمی از اهمیت بالایی برخوردار هستند. با توجه به چالش‌های پیش روی جداسازی اگزوزوم‌ها از مایعات مختلف بدن، متخصصان طب ترمیمی از اگزوزوم‌های مشتق از MSCs برای درمان اختلالات مختلف استفاده می‌شود. محموله‌های اگزوزومی مشتق شده از MSCs، سیگنال‌دهی درون‌سلولی و ارتباط با بافت‌های هدف را نشان می‌دهند. منابع کلیدی اگزوزوم‌های مشتق‌شده از سلول‌های بنیادی مزانشیمی شامل مغزاستخوان، بافت چربی، سلول‌های جفت، سلول‌های ناف، مایع آندومتر و مایع آمیوتیک می‌باشند. اگزوزوم‌های با منشا MSC دارای نشانگرهای سطح سلولی مانند CD 29، CD 44 و CD 73 هستند. آنها نقشی حیاتی در بیومکانیسم‌های درگیر در ترمیم و بازسازی، بیوانژنیک، تنظیم ایمنی، ارتباطات درون‌سلولی و متابولیسم بافتی بازی می‌کنند. در یک تجزیه و تحلیل پروتئومی، در مجموع ۷۳۰ مولکول پروتئین در اگزوزوم‌های مشتق از MSC از مغزاستخوان جدا شد. برخی از محققان به وجود فاکتورهای سیگنال‌دهی رونویسی در محموله‌های اگزوزومیی بردند. اگزوزوم‌های مایع آمیوتیک نسبت به اگزوزوم‌های مشتق‌شده از مغزاستخوان در کاربردهای بالینی ترجیح داده می‌شوند. مسیره‌های تحویل اگزوزوم‌ها، حالت‌های مختلف روش‌های عملی برای تحویل اگزوزوم‌ها به محل عمل آنها تجزیه و تحلیل شده و چالش‌های پیش روی آنها نشان داده شده‌اند. شایعترین مسیر داخل وریدی (IV) است با وجود پاکسازی آنها در کبد و کلیه این روش سریع می‌باشد. این روش به‌طور گسترده برای شرایطی شامل ارتوپدی، نئوپلاستیک و قلب و آسیب‌های عروق استفاده می‌شود. داخل عضلانی (IM) عمدتاً در شرایط عصبی-عضلانی و اسکلتی عضلانی استفاده می‌شود، درحالی که از مسیر زیرجلدی (SC) در زیبایی استفاده می‌شود. مسیر IM یا SC به دلیل سهولت ناحیه قابل تزریق و حجم آن انتخاب می‌شود. مسیر داخل نخاعی در شرایط نورودژنراتیو مانند آلزایمر، پارکینسون و بیماری Creutzfeldt-Jakob ارجح است. از اسپری‌های آئروسول موضعی در بهبودی زخم‌ها استفاده می‌شود. برای رشد مو و جوانسازی در درمان‌های مرتبط با افزایش سن، این مسیر ارجح می‌باشد. در زمان شیوع بیماری

شده توسط این نانوذرات و ترویج جذب ایمنی آنها با پروتئین‌های سطحی به تشخیص پاتولوژیک کمک می‌کند. طیف بیماری‌هایی که در آن اگزوزوم‌ها نقش کلیدی در تشخیص آنها دارند شامل بیماری عروق مغزی، بیماری‌های مربوط به سیستم عصبی مرکزی و نئوپلاسم همراه با بیماری کلیه، کبد و ریه‌ها می‌باشند.<sup>۹</sup> اگزوزوم‌ها دارای پتانسیل بالای درمانی برای انواع بیماری‌ها می‌باشند. تکنولوژی نانوپزشکی سبب کشف اهمیت کاربرد پاتوژنیک ذرات اگزوزوم‌ها در بیماری‌های مختلف شده است.

سیستم دارورسانی هدفمند در نانوپزشکی روی آزادسازی مناسب اگزوزوم‌ها برای فعالیت بیولوژیکی در سایت مورد هدف تمرکز می‌کند. اگزوزوم‌ها به‌عنوان یک وکتور یا مولکول حامل استفاده می‌شوند که پاسخ‌های بیولوژیکی را استنباط کنند. EcVs مشتق‌شده از انواع سلول‌ها و بافت‌های مختلف هستند. هنگام رساندن بافت بیمار شده خاص، تحت شرایط خاص، EcVs باعث بازسازی بافت و هموستاز می‌شوند.

EcVs مشتق از سلول‌های استرومایی مزانشیمی، قابلیت زنده‌مانی، تغذیه‌ای، ضدالتهابی، تعدیل‌کنندگی ایمنی و درمانی نشان می‌دهند.<sup>۱۰</sup> آنها از نوآنتی‌ژن‌ها و تکثیر سلولی پشتیبانی می‌کنند.

برتری محموله‌های اگزوزومی نسبت به سلول‌های بنیادی بر پتانسیل بالینی و درمانی مشخص شده است که عبارت‌اند از، عدم وجود خطر ذاتی مرتبط با درمان‌های بر پایه سلول از جمله سلول‌های بنیادی، عدم وجود پتانسیل تکثیر و خطر تبدیل به بدخیمی‌ها، عدم پاسخ ایمنی نسبت به عفونت‌ها و سرطان‌ها، اقدام هدفمند در محل مورد نظر.<sup>۱۱</sup>

تطبیق‌پذیری فوق‌الذکر EcVs قابلیت‌های سیگنال‌دهی درون‌سلولی و حرکت آنها در سراسر غشاهای سلولی برای بازایی هموستاز میکرومولکولی را افزایش می‌دهد. جدا از این مزایا، اگزوزوم‌ها نیز محافظت و انعطاف‌پذیری عصبی را با عبور از عرض سدخونی-مغزی در بیماری‌های عصبی ارائه می‌دهند.<sup>۱۲</sup>

در مجموع ۷۷ کارآزمایی بالینی در میان محققان جهانی در آسیب شناسی‌های مختلف آنها ثبت شده است. از ۷۷ آزمایش، ۱۱ کارآزمایی بالینی تکمیل‌شده و اثرات مثبت تشخیصی و درمانی درمان مبتنی بر اگزوزوم در سرطان‌های مختلف، نورودژنراتیو و بیماری‌های خونی را ثابت کرده است.<sup>۱۳</sup>

همه‌گیری ویروس کرونا ۲۰۱۹ (COVID-19)، مطالعات جالب در مورد نقش درمان اگزوزومی به‌عنوان یک کاندید درمانی امیدوارکننده وجود داشته است.<sup>۱۵</sup>

MSCs به‌عنوان منابع اگزوزوم، سلول‌های بنیادی مزانشیمی هم قابلیت خودتجدیدی (یعنی خودشان می‌توانند MSC های بیشتری تولید کنند) و هم پتانسیل تمایز (به انواع دیگر سلول‌ها) دارند. MSCs را می‌توان از طیف وسیعی از بافت‌ها و مایعات بدن، مانند بافت چربی، مغزاستخوان (BM)، پالپ دندان، مایع سینوویال (SF)، مایع آمنیوتیک (AF)، جفت (PL)، بندناف (UC)، خون بندناف (UCB) و وارتون ژله (WJ) به‌دست آورد.

سلول‌های بنیادی مزانشیمی همچنین می‌توانند از سلول‌های بنیادی جنینی (ESCs) یا سلول‌های بنیادی پرتوان القایی (iPSCs) استحصال شوند.<sup>۱</sup> سلول‌های بنیادی مزانشیمی، بسته به منشا خود، می‌توانند به انواع مختلفی از سلول‌ها تمایز پیدا کنند شامل سلول‌های چربی، کندروسیت‌ها، استئوبلاست‌ها و میوسیت‌ها. علاوه‌براین، MSCs دارای خواص تعدیل‌کننده ایمنی هستند که سلول‌های مختلف درگیر در پاسخ‌های ایمنی را تنظیم می‌کنند مانند سلول‌های دندریتیک (DCs)، لنفوسیت‌ها، ماکروفاژها، ماست‌سل‌ها، نوتروفیل‌ها و کشنده طبیعی (NK). براین اساس، در طول دهه‌های گذشته سلول‌های بنیادی مزانشیمی به‌عنوان یک کاندید سلول درمانی قوی برای بیماری‌های مختلف موردتوجه قرار گرفته اند.

در مطالعات پیش‌بالینی گزارش شده از اگزوزوم‌های MSCs، MSCs از بافت‌ها/سلول‌های مختلف جداسازی شدند، به‌ترتیب زیر مغزاستخوان BM (۵۱٪)، بافت ناف/جفت (۲۳٪)، بافت چربی (۱۳٪)، مشتق‌شده از ESC ها یا iPSC ها (۸٪) و دیگران (۵٪). از آنجایی که ویژگی‌ها و عملکرد سلول‌های بنیادی مزانشیمی به منشا آنها بستگی دارد، بدیهی است که اگزوزوم‌های MSCs براساس منشا MSCs متفاوت است. با این‌حال، مطالعات مقایسه‌ای اگزوزوم‌های MSCs براساس منشا بافتی آنها هنوز محدود است و فقط چند گزارش وجود دارد اگزوزوم‌های MSC مختلف را در همان مطالعه مقایسه کرده‌اند.<sup>۱۶-۲۰</sup> اگزوزوم‌های مشتق از سلول بنیادی مزانشیمی (Adipose derived stem cells, ASCs) بافت‌های چربی فعالیت بیشتری از نپری‌لیزین، آنزیم تخریب‌کننده پپتید آمیلوئید (A) را در مغز نسبت به اگزوزوم‌های MSCs مغزاستخوان انسان

نشانی (Bone Marrow mesenchymal stem cells, BM-MSCs) دادند، که ارتباط درمانی اگزوزوم‌های ASC در بیماری آلزایمر نشان می‌دهد، اگزوزوم‌ها مشتق از سلول بنیادی مزانشیمی مغزاستخوان انسانی و اگزوزوم‌های مشتق از سلول بنیادی مزانشیمی وارتون ژلی تکثیر سلولی را کاهش دادند و آپوپتوز را القا کردند، درحالی‌که اگزوزوم‌ها مشتق از سلول بنیادی مزانشیمی بزرگسال ASC-exosomes تکثیر سلولی را افزایش دادند و هیچ اثر آپوپتوز در سلول‌های گلیوبلاستوم U87MG نداشتند.<sup>۱۷</sup> با این‌حال، اثرات اگزوزوم‌های MSCs بر روی سلول‌های سرطانی بحث برانگیز است. به‌عنوان مثال، ASC-exosomes گزارش شده است که فعالیت ضدسرطانی بر روی سرطان پروستات هم در شرایط *in vitro* و هم *in vivo* دارند. اگزوزوم‌های MSC مایع قاعدگی انسان (Mense) و اگزوزوم‌های BM-MSCs هر دو باعث رشد نوریت در نورون‌های قشری و حسی شدند، درحالی‌که MSC-exosomes کوریون انسانی و UC-MSC-exosomes این‌طور نبودند. این نشان می‌دهد که انتخاب مناسب منابع MSCs ممکن است برای درمان بیماری‌های عصبی ضروری باشد.<sup>۱۸</sup> اگزوزوم‌های iPSC MSC و اگزوزوم‌های MSC غشای سینوویال انسانی SM-MSCs هر دو سبب تضعیف استئوآرتریت (OA) در مدل موش شدند، اما اگزوزوم‌های iPSC مقایسه با اگزوزوم‌های SM-MSCs، اثر درمانی برتری داشتند. یک مطالعه با مقایسه سلول‌های بنیادی مزانشیمی سگ گزارش داد که BM-MSCs نسبت ASCs سطح بالاتری از ترشحات اگزوزومی را آزاد می‌کنند، سلول‌های بنیادی مزانشیمی مایع آمنیوتیک انسانی (AF-MSCs) مقدار بیشتری از اگزوزوم‌ها را نسبت به BM-MSCs آزاد کردند. با این‌حال، مقایسه مستقیم نتایج بین مطالعات فوق دشوار است، زیرا که آنها با فرآیندها یا روش‌های مختلف جداسازی می‌شوند.<sup>۲۰،۲۱</sup> علاوه‌براین، تغییرات از اهدا کنندگان یا روش‌های مختلف آماده‌سازی برای سلول‌های بنیادی مزانشیمی همچنان یک چالش برجسته است. با این وجود پیشنهاد می‌شود که اگزوزوم‌های MSCs ممکن است بسته به منشا MSCs، ویژگی‌ها و کیفیت متفاوتی از خود نشان دهند. بنابراین، تفاوت‌های بیولوژیکی مانند منشا MSCs و کارایی اگزوزوم‌های آنها باید برای کاربردهای بالینی خاص در نظر گرفته شود. با افزایش طیف درمان‌های اگزوزومی، انجمن بین‌المللی وزیکول‌های خارج‌سلولی (ISEV) و شبکه اروپایی میکرووزیکول‌ها

در مطالعات پیش‌بالینی گزارش شده از اگزوزوم‌های MSCs، MSCs از بافت‌ها/سلول‌های مختلف جداسازی شدند، به‌ترتیب زیر مغزاستخوان BM (۵۱٪)، بافت ناف/جفت (۲۳٪)، بافت چربی (۱۳٪)، مشتق‌شده از ESC ها یا iPSC ها (۸٪) و دیگران (۵٪). از آنجایی که ویژگی‌ها و عملکرد سلول‌های بنیادی مزانشیمی به منشا آنها بستگی دارد، بدیهی است که اگزوزوم‌های MSCs براساس منشا MSCs متفاوت است. با این‌حال، مطالعات مقایسه‌ای اگزوزوم‌های MSCs براساس منشا بافتی آنها هنوز محدود است و فقط چند گزارش وجود دارد اگزوزوم‌های MSC مختلف را در همان مطالعه مقایسه کرده‌اند.<sup>۱۶-۲۰</sup> اگزوزوم‌های مشتق از سلول بنیادی مزانشیمی (Adipose derived stem cells, ASCs) بافت‌های چربی فعالیت بیشتری از نپری‌لیزین، آنزیم تخریب‌کننده پپتید آمیلوئید (A) را در مغز نسبت به اگزوزوم‌های MSCs مغزاستخوان انسان

بومی که به‌عنوان سیستم‌های دارورسانی استفاده می‌شوند، به‌عنوان حامل برای ترکیبات شیمیایی و بیولوژیکی کاربرد دارند و به‌عنوان داروی بیولوژیکی در نظر گرفته می‌شوند.

از آنجایی که فرآورده‌های دارویی بیولوژیکی شامل طیفی از داروهای مختلف می‌باشند، اینها به‌عنوان محصولات دارویی درمانی پیشرفته (Advanced therapy medicinal products, ATMP) در سال ۲۰۰۷ طبقه‌بندی شدند.<sup>۲۴</sup> بیشتر به زیرگروه‌های فرآورده‌های دارویی بیولوژیکی به‌دلیل خواص بیولوژیکی، خواص فیزیکوشیمیایی و ایمونوشیمیایی تقسیم می‌شوند.<sup>۲۳</sup>

که شامل محصولات سلول‌درمانی، ژن‌درمانی و مهندسی بافت می‌باشند. درمان‌های ATMP شامل محصولاتی است که عبارتند از حداقل دستکاری مانند رشد و کشت سلولی، برای استفاده غیرهمولوگ مثلاً استفاده از سلول‌های خونساز برای ارتوپدی، سلول‌های هسته‌دار و زنده‌موجود در محصول، محصولات با ترانس ژن فعال درمانی از سلول‌های دستکاری شده ژنتیکی به‌عنوان ATMP در نظر گرفته می‌شود، مستقل از وجود سلول هسته‌دار و زنده، درمان‌های مبتنی بر EVs طبقه‌بندی شده به‌عنوان ATMP از مواد انسانی تولید می‌شوند توسط یک فرآیند ساخت در مقایسه با تولید ATMP.

کنترل کیفیت EVs برای توسعه EVs های درمانی، تولید EVs با درجه بالینی با فرایندهای تولید خوب و کنترل کیفی (Quality Control, QC) برای توسعه درمان‌های مبتنی بر EVs اهمیت دارد. QC مناسب همچنین برای مطالعات تکرارپذیر در محیط‌های دانشگاهی بسیار مهم است. اخیراً انجمن بین‌المللی وزیکول‌های خارج‌سلولی (International society for extracellular vesicles, ISEV) مجموعه‌ای از اطلاعات را برای مطالعات وزیکول‌های خارج‌سلولی (Minimal information for studies of extracellular vesicles, MISEV) نهایی شده به‌عنوان MISEV2018 پیشنهاد داده است. وزارت غذا و داروی کره (MFDS) اولین دستورالعمل جهان را برای محصولات درمانی EVs با عنوان دستورالعمل در مورد ارزیابی کیفیت، غیربالینی و بالینی بودن محصولات درمانی وزیکول‌های خارج‌سلولی منتشر کرد. معیارهای معمول QC شامل تعیین کمیت، اندازه، هویت و خلوص می‌باشد.<sup>۲۵</sup> کمیت و اندازه EVs، هر دو دستورالعمل MISEV 2018 و MFDS استفاده از حداقل دو روش

و آگزوزوم در سلامت و بیماری (ME-HaD)، دستورالعمل‌های خاص و مشخصی را به جهت تقویت استفاده آنها تدوین کرده است. مقررات در مورد پروتکل‌های عملیاتی استاندارد توضیح داده شده است که باید در فرآیند جمع‌آوری، پردازش، آزمایش، کنترل کیفیت و ساخت آگزوزوم برای استفاده بالینی دنبال شوند. با کمک این سیاست‌ها، می‌توان از پتانسیل EVs با استانداردهای مناسب برای کاربردهای درمانی استفاده نمود. هر درمان جدید یا دارویی در حال توسعه به راهبردهای استانداردسازی فرآیند وابسته است که تمرکز بر اعتبارسنجی فناوری پیشنهادی دارد. در حال حاضر هیچ محصول آگزوزوم مورد تایید سازمان غذا و دارو (FDA) برای استفاده انسانی در ایالات متحده وجود ندارد. طبق FDA، آگزوزوم‌ها نیاز به مطالعاتی دارد که به‌طور موثر ایمنی و کارایی، همراه با خلوص محصول و قدرت درمان بیماری را نشان می‌دهد. درمان‌های بر پایه آگزوزوم‌ها تحت مرحله توسعه داروی تحقیقاتی جدید (IND) هستند و نیاز به تایید آژانس‌های نظارتی پیش از شروع کارآزمایی بالینی دارند. چارچوب نظارتی به استانداردهای ایمنی برای آلودگی میکروبی و ویروسی می‌پردازد و به استانداردهای (GxP=GxP) تولید خوب/آزمایشگاه، خوب/توزیع، خوب/بالینی، خوب/عملکرد علمی خوب یا (GMP/GLP/GDP/GCP/GSP) برای تولید و کنترل کیفیت درمان‌های مربوطه نیاز دارد، آن قادر است که انجام آزمایشات بالینی را تنظیم کند.<sup>۲۲،۲۱</sup>

دسته دارویی آماده‌سازی EVs، به گزارش مرکز تحقیقات و ارزیابی بیولوژیکی (CBER)، آگزوزوم‌ها به‌عنوان محصولات بیولوژیکی در نظر گرفته می‌شوند.<sup>۲۳</sup> براساس انواع، چارچوبی که برای محصولات این دسته تعیین شد برای آگزوزوم‌ها اعمال می‌شود. به‌عنوان مثال، یک واکنش ضدتومور که از آگزوزوم‌ها استفاده می‌کند تحت تنظیم مقررات ارایه‌شده برای واکنش‌های درمانی سرطان کنترل می‌شود. بخش عملکردی در درمان مبتنی بر EVs نوع دارویی آن را تعیین می‌کند. از این رو، ISEV درمان مبتنی بر EVs را تحت داروهای بیولوژیکی با خواص زیر دسته‌بندی می‌کند، درمان‌های به‌دست آمده از سلول‌های اصلاح نشده، درمان‌های به‌دست آمده از سلول‌های دستکاری شده ژنتیکی (بدون ژن ترانس)، درمان‌های به‌دست آمده از آگزوزوم‌ها و سلول‌های اصلاح شده ژنی با ترانس ژن که به‌عنوان محصولات ژن‌درمانی طبقه‌بندی می‌شوند GTP، درمان‌های آگزوزومی

و CD81)، آنکسین‌ها، فلوتیلین، پروتیین ایکس با (ALG-2 Alix) و پروتیین تومور ژن حساسیت (TSG101).<sup>۳۱</sup>

پروتیین‌هایی مانند CD9, CD63, CD81, TSG101 و Alix به‌عنوان نشانگرهای خاص برای اکوزوم‌ها توصیه می‌شود زیرا آنها به‌شدت غنی از اکوزوم‌ها در مقایسه با سلول‌های منشا هستند.<sup>۳۲,۳۳</sup> علاوه‌براین، چون Alix و TSG101 در تشکیل اجسام چند وزیکولی (Multivesicular endosome biogenesis, MVBs) دخیل هستند، حضور این پروتیین‌ها به‌منظور حمایت از منشا آندوسیتی اکوزوم‌ها ضروری است.<sup>۳۱</sup> برای QC، حداقل روش‌های نیمه‌کمی برای تشخیص این پروتیین‌ها در اکوزوم‌ها توصیه می‌شود. سنجش ایمنوسوربنت مرتبط با آنزیم (ELISA) و آنالیز فلوسایتمتری هر کدام برای تسهیلات مطابق با GMP و آزمایشگاه‌های دانشگاهی عمومی مناسب هستند.

اگرچه وسترن بلات به‌طور گسترده‌ای در آزمایشگاه‌های دانشگاهی استفاده شده است، این روش به‌خاطر فقدان کمی‌سازی مناسب و اعتبارسنجی روش محدود است.<sup>۳۳</sup>

خلوص EVs نیز یک معیار حیاتی برای QC است. یک روش ساده برای نظارت بر خلوص EVs است که نسبت‌های ذره به پروتیین، پروتیین به لیپید یا RNA به ذره تعیین می‌کند. عدم‌وجود پروتیین‌های داخل‌سلولی، مانند هیستون‌ها، لامین A/C, GRP94 (HSP90B1)، GM130 (GOLGA2) سیتوکروم C (CYC1)، یکی دیگر از معیارهای مهم برای تعیین خلوص EVs یا اکوزوم است، این پروتیین‌ها در اکوزوم‌ها به‌دلیل محل سلولی دقیق آنها غنی نمی‌شوند. ناخالصی‌های حاصل از فرآیند کشت سلولی از جمله آنتی‌بیوتیک‌ها و سرم نیز باید برای نظارت بر حذف مواد خطرناک بالقوه تجزیه‌وتحلیل شوند.<sup>۲۵</sup>

هر دسته‌ای از EVs باید به‌وسیله QC معمولی تایید شوند پیش از اینکه برای اهداف درمانی یا سنجش‌های عملکردی، حتی در آزمایشگاه‌های دانشگاهی استفاده شوند. سنجش‌های قدرت مهم‌ترین معیار QC است که کارایی EVs در داخل بدن پیش‌بینی می‌کند. مقامات نظارتی مانند سازمان غذا و داروی ایالات متحده (FDA) استفاده مناسب از تست‌های قدرتی را برای محصولات سلولی و ژن درمانی توصیه می‌کنند.<sup>۳۳</sup> دستورالعمل‌های MISEV2018 و MFDS همچنین استفاده از سنجش قدرت برای EV QC را توصیه می‌کند.<sup>۲۵</sup>

متفاوت را برای تعیین مقدار EVs توصیه می‌کنند.<sup>۲۵</sup> مقدار EV را می‌توان با اندازه‌گیری مقدار کل پروتیین‌ها، لیپیدها یا RNA ها به‌دست آورد، زیرا EVs از همه این مولکول‌ها تشکیل شده‌اند. این روش‌ها، با این‌حال، اطلاعاتی در مورد تعداد ذرات EVs ارائه نمی‌کنند. چندین روش برای اندازه‌گیری تعداد و اندازه ذرات موجود است، از جمله تجزیه‌وتحلیل ردیابی نانوذرات (Nanoparticle tracking analysis, NTA)، سنجش پالس مقاومتی (Resistive pulse sensing, RPS) و پراکندگی نور دینامیک (Dynamic light scattering, DLS). پراکندگی نور دینامیک (DLS) برای اندازه‌گیری تعداد و اندازه ذرات را با ردیابی حرکت براونی تک ذرات در محلول آبی تعیین می‌کند. با این‌حال، NTA از سطح وضوح پایینی برای نمونه‌های پراکنده برخوردار است. علاوه‌براین، NTA نمی‌تواند EVs را از سایر نانوذرات مانند دانه‌های پروتیینی متمایز نمی‌کند.

اخیراً ابزارهایی برای NTA فلورسانس معرفی شده است که EVs نشاندار شده با فلورسنت با آنتی‌بادی‌های خاص را تشخیص می‌دهد. کمیت EVs، با این‌حال، همچنان بسیار چالش برانگیز است. فناوری‌ها و ابزارهای جدید معرفی شده‌اند سالانه، به‌ویژه در طول کنفرانس ISEV، مانند فلوسیتومتری نانو، میکروسکوپ بازسازی نوری تصادفی مستقیم، ExoCounter با فناوری دیسک‌نوری و فلوسیتومتری تصویری.<sup>۲۷-۳۰</sup>

اگرچه توسعه ابزارهای کاملاً سازگار با GMP مدتی طول می‌کشد، انتظار می‌رود گام‌های بزرگ رو به جلو در روش‌های تعیین کمیت EVs در آینده نزدیک برداشته شود. هر دو دستورالعمل MISEV2018 و MFDS استفاده از حداقل دو روش متفاوت را برای تعیین مقدار EVs توصیه می‌کنند.<sup>۲۵</sup>

کمیت EVs را می‌توان با اندازه‌گیری مقدار کل پروتیین‌ها، لیپیدها یا RNA ها به‌دست آورد، زیرا EVs از همه این مولکول‌ها تشکیل شده‌اند. این روش‌ها، با این‌حال، اطلاعاتی در مورد تعداد ذرات EVs ارائه نمی‌کنند. چندین روش در دسترس برای اندازه‌گیری تعداد و اندازه ذرات هستند، از جمله تجزیه‌وتحلیل ردیابی نانوذرات (NTA)، سنجش پالس مقاومتی (RPS)، و پراکندگی نور پویا (DLS).

هویت EVs، انواع پروتیین‌ها گزارش شده است که با EVs مرتبط هستند، به‌ویژه اکوزوم‌ها، از جمله تتراسپانین‌ها (CD63, CD9)

نتیجه‌گیری با تحقیقات اخیر، آگروزوم‌های MSC اکنون به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان نسل بعدی درمان‌های بدون سلول برای بیماری‌های صعب‌العلاج پذیرفته شده‌اند.

هنوز هم چالش‌های زیادی در صنعتی شدن آگروزوم‌ها وجود دارد مانند کشت سلول‌های بنیادی مزانشیمی در مقیاس بزرگ، عرضه مداوم سلول‌های بنیادی مزانشیمی با اثرات درمانی مشابه و تعیین دقیق کمیت و کیفیت آگروزوم. با این حال، پیشرفت‌های فنی در زمینه سلول درمانی MSC، با اولین تایید بازاریابی موردانتظار توسط FDA ایالات متحده در آینده نزدیک، نیز می‌تواند به زودی در صنعت آگروزوم ادغام شوند.

کاربرد MSCs های با ثبات، با عملکردها و مشخصات ایمنی مشابه در مقایسه با MSCs معمولی، ممکن است یک استراتژی جایگزین برای تولید MSCs پایدار باشد. تجاری‌سازی موفقیت‌آمیز آگروزوم‌های MSCs ممکن است یک برنامه درمانی کاملاً جدید ارائه دهد.

توانمندی به‌عنوان "توانایی خاص یا ظرفیت محصول" تعریف می‌شود، همان‌طور که نشان داده شده است توسط تست‌های آزمایشگاهی مناسب یا با کنترل کافی داده‌های بالینی به‌دست آمده از طریق تجویز محصول به روشی که در نظر گرفته شده است.<sup>۳۴</sup> بسیاری از سنجش‌های بیولوژیکی و بیوشیمیایی نشان داده شده‌اند که قدرت EVs یا آگروزوم‌ها را تعیین می‌کنند.<sup>۳۵،۳۶</sup> از آنجایی که تعیین کمیت EVs ها همچنان چالش برانگیز است، ایجاد یک سنجش قدرتی مناسب ابزار ارزشمندی برای نظارت بر سازگاری دسته‌به‌دسته خواهد بود و دوز EVs را تعیین می‌کند.<sup>۳۷</sup> اگرچه سنجش‌های قدرت ایده‌آل باید معرف MOA باشد، اما راه‌اندازی یک سنجش قدرت مناسب با روش‌های بیوشیمیایی تک یا مبتنی بر سلول‌های جدا شده به‌دلیل مشکل در شناسایی مواد فعال زیستی منفرد در محموله پیچیده EVs دشوار است. به‌عنوان مثال، تقلید پاسخ‌های ایمنی پیچیده در داخل بدن با سنجش سلولی آزمایشگاهی دشوار است.<sup>۳۸-۳۹</sup>

## References

- Mehdizadeh M, Ghiasi M, khatib shad L. Development and Application of Mesenchymal Stem Cell derived Exosomes in Cartilage Tissue Repair. *Journal of Military Medicine* 2022;24 (5): 1319-1329.
- Vlassov AV, Magdaleno S, Setterquist R, et al. Exosomes: current knowledge of their composition biological functions, and diagnostic and therapeutic potentials. *Biochim Biophys Acta* 2012, 1820(7):940-8.
- Van Niel G, d'Angelo G, Raposo G. Shedding light on the cell biology of extracellular vesicles. *Nature reviews Molecular cell biology* 2018; 19 (4):213-28.
- Momen-Heravi F, Balaj L, Alian S, Mantel PY, Halleck AE, Trachtenberg AJ, Soria CE, Oquin S, Bonebreak CM, Saracoglu E, Skog J. Current methods for the isolation of extracellular vesicles. *Biological chemistry* 2013; 394 (10):1253-62.
- Carnell-Morris P, Tannetta D, Siupa A, Hole P, Dragovic R. Analysis of extracellular vesicles using fluorescence nanoparticle tracking analysis. *Extracellular vesicles: methods and protocols* 2017:153-73.
- Liu JJ, Bratkowski MA, Liu X, Niu CY, Ke A, Wang HW. Visualization of distinct substrate-recruitment pathways in the yeast exosome by EM. *Nature structural & molecular biology* 2014; 21(1):95-102.
- Buschow SI, Van Balkom BW, Aalberts M, Heck AJ, Wauben M, Stoorvogel W. MHC class II-associated proteins in B- cell exosomes and potential functional implications for exosome biogenesis. *Immunology and cell biology* 2010; 88 (8):851-6.
- Clayton A, Turkes A, Dewitt S, Steadman R, Mason MD, Hallett MB. Adhesion and signaling by B cell- derived exosomes: the role of integrins. *The FASEB journal* 2004; 18 (9):977-9.
- Masyuk AI, Masyuk TV, LaRusso NF. Exosomes in the pathogenesis, diagnostics and therapeutics of liver diseases. *Journal of hepatology* 2013; 59 (3):621-5.
- Zhang B, Yin Y, Lai RC, Tan SS, Choo AB, Lim SK. Mesenchymal stem cells secrete immunologically active exosomes. *Stem cells and development* 2014; 23 (11):1233-44.
- Bunggulawa EJ, Wang W, Yin T, Wang N, Durkan C, Wang Y, Wang G. Recent advancements in the use of exosomes as drug delivery systems. *Journal of Nanobiotechnol* 2018; 16:81.
- Jan AT, Malik MA, Rahman S, Yeo HR, Lee EJ, Abdullah TS, Choi I. Perspective insights of exosomes in neurodegenerative diseases: a critical appraisal. *Frontiers in aging neuroscience* 2017 Sep 29; 9:317.
- ClinicalTrials.gov [Accessed on 23.07.2020. Available online : ][https://clinicaltrials.gov/ct2/results?cond=exosome&Search=Apply&recrs=e&age\\_v=&gndr=&type=&rslt](https://clinicaltrials.gov/ct2/results?cond=exosome&Search=Apply&recrs=e&age_v=&gndr=&type=&rslt)
- Ha D, Yang N, Nadithe V. Exosomes as therapeutic drug carriers and delivery vehicles across biological membranes: current perspectives and future challenges. *Acta Pharmaceutica Sinica B* 2016; 6 (4):287-96.
- Sengupta V, Sengupta S, Lazo A, Woods P, Nolan A, Bremer N. Exosomes Derived from Bone Marrow Mesenchymal Stem Cells as Treatment for Severe COVID-19. *Stem Cells Dev* 2020; 15; 29 (12):747-754.
- Katsuda T, Tsuchiya R, Kosaka N, Yoshioka Y, Takagaki K, Oki K, Takeshita F, Sakai Y, Kuroda M, Ochiya T. Human adipose tissue-derived mesenchymal stem cells secrete functional neprilysin-bound exosomes. *Scientific reports* 2013; 3 (1):1197.
- Del Fattore A, Luciano R, Saracino R, Battafarano G, Rizzo C, Pascucci A, Alessandri G, Pessina A, Perrotta A, Fierabracci A, Muraca M. Differential effects of extracellular vesicles secreted by mesenchymal stem cells from different sources on glioblastoma cells. *Expert opinion on biological therapy* 2015; 15 (4):495-504.
- Lopez-Verrilli M.A, Caviedes A, Cabrera A, Sandoval S, Wyneken U, Khoury M. Mesenchymal stem cell-derived exosomes from different sources selectively promote neuritic

- out growth. *Neuroscience* 2016; 21:320:129-39.
19. Zhu Y, Wang Y, Zhao B, Niu X, Hu B, Li Q, Zhang J, Ding J, Chen Y, Wang Y. Comparison of exosomes secreted by induced pluripotent stem cell-derived mesenchymal stem cells and synovial membrane-derived mesenchymal stem cells for the treatment of osteoarthritis. *Stem cell research & therapy* 2017; 8 (1):1-1.
  20. Villatoro AJ, Alcoholado C, Martín-Astorga MC, Fernández V, Cifuentes M, Becerra J. Comparative analysis and characterization of soluble factors and exosomes from cultured adipose tissue and bone marrow mesenchymal stem cells in canine species. *Veterinary immunology and immunopathology* 2019; 208: 6-15.
  21. GMP guidelines. [assessed on 28 July 2020]. Available online [http://ec.europa.eu/health/documents/eudralex/vol-4/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/documents/eudralex/vol-4/index_en.htm).
  22. Clinical Trials Guidelines. [assessed on 28 July 2020]. Available online [http://ec.europa.eu/health/documents/eudralex/vol-10/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/documents/eudralex/vol-10/index_en.htm).
  23. EMEA/CHMP/410869/2006. Guideline on human cell based medicinal products
  24. REGULATION/EC/1394/2007. Regulation on advanced therapy medicinal products.
  25. Cell and Gene Therapy Products Division, Biopharmaceutical and Herbal Medicine Evaluation Department, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Ministry of Food and Drug Safety Guideline on Quality, Non-Clinical and Clinical Assessment of Extracellular Vesicles Therapy. Products. 2018 .Available online [www.nifds.o.kr/brd/m\\_15/down.do?brd\\_id=167&seq=12625&data\\_tp=A&file\\_seq=1](http://www.nifds.o.kr/brd/m_15/down.do?brd_id=167&seq=12625&data_tp=A&file_seq=1)(accessed on 13 December 2019).
  26. Van der Pol E, Coumans FA, Grootemaat AE, Gardiner C, Sargent IL, Harrison P, Sturk A, Van Leeuwen TG, Nieuwland R. Particle size distribution of exosomes and microvesicles determined by transmission electron microscopy, flow cytometry, nanoparticle tracking analysis, and resistive pulse sensing. *Journal of Thrombosis and Haemostasis* 2014; 12 (7):1182-92.
  27. Danielson KM, Estanislau J, Tigges J, Toxavidis V, Camacho V, Felton EJ, Khoory J, Kreimer S, Ivanov Alexander, Mantel PY, Jones J, Akuthota P, Das S, Ghiran I. Diurnal variations of circulating extracellular vesicles measured by nano flow cytometry. *PLoS ONE* 2016; 11(1): e0144678.
  28. Nizamudeen Z, Markus R, Lodge R, Parmenter C, Platt M, Chakrabarti L, Sottile V. Rapid and accurate analysis of stem cell-derived extracellular vesicles with super resolution microscopy and live imaging. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research* 2018; 1865 (12):1891-900.
  29. Kabe Y, Suematsu M, Sakamoto S, Hirai M, Koike I, Hishiki T, Matsuda A, Hasegawa Y, Tsujita K, Ono M, Minegishi N. Development of a highly sensitive device for counting the number of disease-specific exosomes in human sera. *Clinical chemistry* 2018; 64 (10):1463-73.
  30. Görgens A, Bremer M, Ferrer-Tur R, Murke F, Tertel T, Horn PA, Thalmann S, Welsh JA, Probst C, Guerin C, Boulanger CM. Optimisation of imaging flow cytometry for the analysis of single extracellular vesicles by using fluorescence-tagged vesicles as biological reference material. *Journal of extracellular vesicles* 2019; 8 (1):1587567.
  31. Stuffers S, Sem Wegner C, Stenmark H, Brech A. Multivesicular endosome biogenesis in the absence of ESCRTs. *Traffic* 2009; 10 (7):925-37.
  32. Lee Y, El Andaloussi S, Wood MJ. Exosomes and microvesicles: extracellular vesicles for genetic information transfer and gene therapy. *Human molecular genetics* 2012; 21 (R1):R125-34.
  33. Butler TA, Paul JW, Chan EC, Smith R, Tolosa JM. Misleading westerns: common quantification mistakes in western blot densitometry and proposed corrective measures. *BioMed research international* 2019.
  34. Center for Biologics Evaluation and Research, Food and Drug Administration, US Department of Health and Human Services. Guidance for Industry, Potency Tests for Cellular and Gene Therapy Products. Available online [www.fda.gov/Biologics/Blood Vaccines/Guidance Compliance Regulatory Information Guidances/default.htm](http://www.fda.gov/Biologics/Blood%20Vaccines/Guidance%20Compliance%20Regulatory%20Information/Guidances/default.htm) (accessed on 21 December 2019).
  35. Willis GR, Kourembanas S, Mitsialis SA. Toward exosome-based therapeutics: isolation, heterogeneity, and fit-for-purpose potency. *Frontiers in Cardiovascular Medicine* 2017;4: 63.
  36. Pacienza N, Lee R.H, Bae E.H, Kim DK, Liu Q, JProckop D, Yannarelli G. In vitro macrophage assay predicts the in vivo anti-inflammatory potential of exosomes from human mesenchymal stromal cells. *Molecular Therapy-Methods & Clinical Development* 2018; 15:13:67-76.
  37. Pacienza N, Lee RH, Bae EH, Kim DK, Liu Q, Prockop DJ, Yannarelli G. In vitro macrophage assay predicts the in vivo anti-inflammatory potential of exosomes from human mesenchymal stromal cells. *Molecular Therapy-Methods & Clinical Development* 2019; 13: 67-76.
  38. Conforti A, Scarsella M, Starc N, Giorda E, Biagini S, Proia A, Carsetti R, Locatelli F, Bernardo ME. Microvesicles derived from mesenchymal stromal cells are not as effective as their cellular counterpart in the ability to modulate immune responses in vitro. *Stem cells and development* 2014; 23 (21):2591-9.
  39. Gouveia de Andrade A.V, Bertolino G, Riewaldt J, Bieback K, Karbanová J, Odendahl M, Bornhäuser M, Schmitz M, Corbeil D, Tonn T. Extracellular vesicles secreted by bone marrow-and adipose tissue-derived mesenchymal stromal cells fail to suppress lymphocyte proliferation. *Stem Cells Dev* 2015; 1; 24 (11):1374-6.

## An overview of future developments of exosomes in cell-free therapies: a review article

### Abstract

Received: 30 July. 2023    Revised: 07 Aug. 2023    Accepted: 17 Sep. 2023    Available online: 23 Sep. 2023

Seyed Khalil Pestehei M.D., MPH.<sup>1</sup>  
Mahdieh Ghiasi Ph.D.<sup>2\*</sup>  
Seyed-Hassan Emami-Razavi M.D.<sup>2</sup>

*1- Department of Anesthesiology, School of Medicine, Imam Khomeini Hospital Complex, Tehran University of Medical Science, Tehran, Iran.*

*2- Brain and Spinal Cord Injury Research Center, Neuroscience Institute, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.*

\* Corresponding author: Brain and Spinal Cord Injury Research Center, Neuroscience Institute, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.  
Tel: +98-21-66581701  
E-mail: mahdieh.ghiasi@yahoo.com.

Human mesenchymal stromal cells are multipotent cells capable of differentiating into the mesenchymal lineage that can be isolated from bone marrow and adipose tissue or from umbilical cord blood and fetal tissues. Among the widely characterized in vitro properties, MSCs show strong anti-proliferative and anti-inflammatory effects on immune responses. Exosomes derived from mesenchymal stem cells derived from different tissues are promising cell-free treatments for tissue damage repair. Exosomes serve as a potential portal for cell-free drug delivery systems, as these drugs possess the properties of the parent cell from which they are derived. Extracellular vesicles (EVs) play key roles in cell biology and may provide new clinical diagnostics and therapies. Exosomes, called extracellular vesicles (EcVs), are present in almost all cells, tissues, and body fluids. They contribute to intercellular signaling and maintain tissue homeostasis. The biogenesis of exosomes starts in the endosomal system. Researchers have identified 9769 proteins, 2838 miRNAs, 3408 and 1116 lipids present in exosome of mRNA cargo. Isolation of exosomes from cells, tissues and body fluids follows a different pattern. Exosomes interact with receptor cells through their surface receptor molecules and ligands and are internalized into receptor cells through micropinocytosis and phagocytosis. This varies depending on the origin of the EV, its physiological and pathological state, and even the exact site of cellular release. The composition of the protein inside can also indicate the presence of disease pathologies such as cancer or inflammatory diseases; However, exosomes also contain a number of common proteins as well as proteins involved in vesicle formation. Advanced technologies in regenerative medicine have caused researchers to use exosomes isolated from mesenchymal stem cells (MSCs) with high regeneration ability in diseases. Exosome cargo plays a key role in diagnosis and treatment by controlling the disease process. Various studies in laboratory conditions have shown the effectiveness and therapeutic potential of exosomes in cancer, neurodegenerative, cardiovascular and orthopedic diseases. This article describes the therapeutic role and potential of exosomes derived from mesenchymal stem cells, as well as the necessary precautions for their processing.

**Keywords:** exosome, isolation, mesenchymal stem cell, tissue regeneration.