Impact of Artificial Intelligence on In Vitro Fertilization: Revolutionizing Reproductive Medicine

ARTICLE INFO

Article Type

Review Article

Authors

AboTaleb Saremi[1,2], Bahareh Abbasi[3*], Elham Karimi-MansourAbad[1,2], Yasin Ashourian[1,2]

1- Sarem Gynecology, Obstetrics and Infertility Research Center, Sarem Women's Hospital, Iran University of Medical Science (IUMS), Tehran, Iran.
2- Sarem Cell Research Center (SCRC), Sarem Women's Hospital, Tehran, Iran.
3- Department of Medical Genetics, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology (NIGEB), Tehran, Iran.

Corresponding Authors:
Bahareh Abbasi1; MD, Department of Medical Genetics, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology (NIGEB), Tehran, Iran.
Email: b.abbasi@nigeb.ac.ir

Received: 21 November 2023
Accepted: 21 December 2023
e Published: 4 August 2024

Article History

ABSTRACT

This paper provides an in-depth analysis of the significant impact Artificial Intelligence (AI) has on In Vitro Fertilization (IVF). It traces the evolution of IVF from its inception to the integration of AI, highlighting how AI enhances embryo selection accuracy and personalizes treatment protocols to improve success rates and efficiency. The paper examines AI's roles in predictive analytics, computer-aided embryo selection, genetic screening, and laboratory optimization, demonstrating how these advancements lead to better decision-making and treatment outcomes. Real-world case studies and clinical outcomes are presented to evidence the effectiveness of AI in increasing pregnancy rates and improving the IVF process. Looking forward, the paper anticipates future advancements in AI, including its integration with genomic data, improvements in patient-physician interactions, and contributions to global reproductive health. Overall, the paper showcases AI's transformative potential in IVF, making treatments more personalized, outcomes more predictable, and enhancing the patient experience.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), In Vitro Fertilization (IVF), Embryo Selection, Predictive Analytics, Genetic Screening, Deep Learning, Treatment Personalization.

Copyright© 2021, ASP Ins. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License which permits Share (copy and distribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-Noncommercial terms.

[Downloaded from saremjrm.com on 2026-01-29]

تأثیر هوش مصنوعی بر لقاح آزمایشگاهی: انقلابی در پزشکی باروری

دکتر ابوطالب صارمی[۱،۲]، دکتر بهاره عباسی*[۳]، الهام کریمی منصورآباد[۱،۲]، یاسین عاشوریان[۱،۲]

[۱] مرکز تحقیقات زنان زایمان و ناباروری صارم، بیمارستان فوق تخصصی صارم، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

[۲] مرکز تحقیقات سلولی- مولکولی و سلول‌های بنیادی صارم، بیمارستان فوق تخصصی صارم تهران، ایران

[۳] دپارتمان ژنتیک پزشکی، موسسه ملی مهندسی ژنتیک و بیوتکنولوژی (NIGEB)، تهران، ایران.

چکیده

این مقاله تجزیه و تحلیل عمیقی از تأثیر قابل توجه هوش مصنوعی (AI) بر لقاح آزمایشگاهی (IVF) ارائه می‌دهد. این تکامل IVF را از آغاز آن تا ادغام هوش مصنوعی ردیابی می‌کند، و نشان می‌دهد که چگونه هوش مصنوعی دقت انتخاب جنین را افزایش و پروتکل های درمانی را شخصی می‌کند تا میزان موفقیت و کارایی را بهبود بخشد. این مقاله به بررسی نقش هوش مصنوعی در تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده، انتخاب جنین به کمک رایانه، غربالگری ژنتیکی و بهینه‌سازی آزمایشگاهی می‌پردازد و نشان می‌دهد که چگونه این پیشرفت‌ها منجر به تصمیم‌گیری و نتایج درمانی بهتر می‌شوند. مطالعات موردی در دنیای واقعی و نتایج بالینی برای اثبات اثربخشی هوش مصنوعی در افزایش میزان بارداری و بهبود فرآیند IVF ارائه شده است. با نگاهی به آینده، این مقاله پیشرفت‌های آینده در هوش مصنوعی، از جمله ادغام آن با داده‌های ژنومی، بهبود در تعاملات بیمار و پزشک، و کمک به سلامت باروری جهانی را پیش‌بینی می‌کند. به طور کلی، این مقاله پتانسیل تحول‌آفرین هوش مصنوعی را در IVF نشان، درمان‌ها را شخصی‌تر، نتایج را قابل پیش‌بینی‌تر می‌کند و تجربه بیمار را افزایش می‌دهد.

کلید واژه‌ها: هوش مصنوعی (AI)، لقاح آزمایشگاهی (IVF)، انتخاب جنین، تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده، غربالگری ژنتیک، یادگیری عمیق، شخصی‌سازی درمان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

تاریخ چاپ:

*نویسنده مسئول: بهاره عباسی؛ پزشک، گروه ژنتیک پزشکی، موسسه ملی مهندسی ژنتیک و بیوتکنولوژی (NIGEB)، تهران، ایران؛ ایمیل: b.abbasi@nigeb.ac.ir

مقدمه

لقاح آزمایشگاهی (IVF) چراغ امیدی برای میلیون‌ها نفری است که با ناباروری دست و پنجه نرم می‌کنند. از زمان تولد لوئیز براون در سال ۱۹۷۸، اولین نوزادی که از طریق IVF باردار شد، این فناوری پزشکی به طور قابل توجهی تکامل یافته است. طی دهه‌ها، IVF از یک روش آزمایشی پیشگامانه به یک درمان استانداردتر و پذیرفته‌شده‌تر تبدیل شده است و به لقاح میلیون‌ها نوزاد در سراسر جهان کمک می‌کند. سفر IVF منعکس کننده یک تلاش مستمر برای بهبود نرخ موفقیت و نتایج بهتر بیمار است که با پیشرفت در فناوری پزشکی و درک بیولوژی تولید مثل انسان شکل گرفته است [۱-۴].

ظهور هوش مصنوعی (AI) یک جهش انقلابی در زمینه پزشکی باروری، به ویژه IVF است. هوش مصنوعی با توانایی خود در تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های گسترده و کشف الگوهایی که به راحتی توسط انسان قابل تشخیص نیستند، فرصتی بی‌سابقه برای تقویت جنبه‌های مختلف IVF ارائه می‌کند. ادغام هوش مصنوعی در این زمینه فقط یک مفهوم آینده‌نگر نیست، بلکه واقعیتی است که چشم انداز درمان های باروری را تغییر می‌دهد [۵-۷].

نقش هوش مصنوعی در IVF را می‌توان از طریق چندین لنز مشاهده کرد. اولاً، این پتانسیل (یک گام مهم در فرآیند IVF) که به طور قابل توجهی دقت انتخاب جنین را بهبود بخشد را ارائه می‌دهد. با تجزیه و تحلیل تصاویر میکروسکوپی جنین‌ها، الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند با دقت بیشتری پیش‌بینی کنند که کدام جنین به احتمال زیاد منجر به بارداری موفق می‌شود. این پیشرفت نه تنها احتمال موفقیت در هر چرخه IVF را افزایش، بلکه بار فیزیکی و عاطفی بیماران تحت این درمان‌ها را کاهش می‌دهد [۸، ۹].

علاوه بر این، هوش مصنوعی در شخصی‌سازی پروتکل‌های درمانی مؤثر است. سیستم‌های هوش مصنوعی با تجزیه و تحلیل داده‌های زیادی از جمله تاریخچه پزشکی بیمار، اطلاعات ژنتیکی و نتایج قبلی IVF می‌توانند برنامه‌های درمانی را برای بیماران جداگانه تنظیم کنند و کارایی و کارایی فرآیند IVF را افزایش دهند [۱۰، ۱۱].

ادغام هوش مصنوعی در IVF به عملیات آزمایشگاهی نیز گسترش می‌یابد، جایی که به خودکارسازی و بهبود دقت رویه‌های مختلف کمک می‌کند، در نتیجه خطای انسانی را کاهش می‌دهد و کنترل کیفیت بالاتر را تضمین می‌کند. از بهینه‌سازی شرایط برای کشت جنین گرفته تا ساده‌سازی مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌ها، هوش مصنوعی به عنوان یک ابزار تحول‌آفرین در آزمایشگاه IVF است [۱۲، ۱۳].

همانطور که عمیق‌تر به تأثیر هوش مصنوعی بر IVF می‌پردازیم، کاربردهای چند وجهی آن را از افزایش انتخاب جنین و شخصی‌سازی پروتکل‌های درمانی تا پیمایش در مناظر اخلاقی و قانونی بررسی خواهیم کرد. ادغام هم‌افزایی هوش مصنوعی در IVF نه تنها نویدبخش افزایش نرخ موفقیت، بلکه برای باز کردن مرزهای جدید در پزشکی باروری نیز

[Downloaded from saremjrm.com on 2026-01-29]

نویدبخش است. ML شامل الگوریتم‌هایی است که می‌تواند الگوهای پیچیده در داده‌ها را تجزیه و تحلیل و تفسیر کند و دقت آنها را در طول زمان با تجربه بهبود بخشد. یادگیری عمیق، زیرمجموعه پیشرفته‌تری از ML، از شبکه‌های عصبی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها با سطحی از پیچیدگی و انتزاع مشابه با شناخت انسان استفاده می‌کند. این فناوری‌ها با ارائه بینش‌ها و پیش‌بینی‌های مبتنی بر مجموعه داده‌های بزرگ، زمینه‌های مختلف از جمله پزشکی تولید مثل را متحول کرده‌اند [۱۹-۱۴].

تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده

تجزیه و تحلیل پیش‌بینی، شاخه‌ای پیچیده از هوش مصنوعی (AI)، به طور فزاینده‌ای به سنگ بنای افزایش نرخ موفقیت لقاح آزمایشگاهی (IVF) تبدیل می‌شود. این فناوری از مدل‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های گسترده استفاده، الگوها و پیش‌بینی‌ها را با دقت بیشتری نسبت به روش‌های سنتی ترسیم می‌کند و در نتیجه تأثیر قابل‌توجهی بر تصمیم‌گیری و اثربخشی درمان در IVF دارد [۲۲-۲۰].

قلب تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده در IVF نقش انقلابی آن در انتخاب جنین است. الگوریتم‌های هوش مصنوعی با استفاده از داده‌های تصویربرداری با گذشت زمان و میزان موفقیت تاریخی، می‌توانند احتمال هر جنینی را که منجر به بارداری موفق می‌شود، پیش‌بینی کنند. این رویکرد نه تنها ذهنیت را در انتخاب جنین کاهش، بلکه شانس بارداری موفق را نیز افزایش می‌دهد[۲۴، ۲۳].

فراتر از انتخاب جنین، تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده در مناسب‌سازی درمان‌های IVF برای بیماران فردی برتر است. مدل‌های هوش مصنوعی با بررسی داده‌های خاص بیمار از جمله سن، زمینه ژنتیکی، سابقه پزشکی و پاسخ به درمان‌های قبلی، می‌توانند موثرترین پروتکل‌های درمانی را پیش‌بینی کنند. این سفارشی‌سازی نه تنها شانس موفقیت را افزایش می‌دهد، بلکه عوارض جسمی و عاطفی بیماران را نیز به حداقل می‌رساند. یک کاربرد حیاتی از تجزیه و تحلیل پیش‌بینی در بهینه‌سازی پروتکل‌های تحریک تخمدان است. با تجزیه و تحلیل پاسخ به داروهای محرک، سطوح هورمون و سایر داده‌های مربوط به بیمار، هوش مصنوعی می‌تواند مناسب‌ترین داروها و دوزها را برای هر بیمار پیش‌بینی کند. این نه تنها کیفیت و کمیت تخمک را بهبود می‌بخشد، بلکه خطر عوارضی مانند: سندرم تحریک بیش از حد تخمدان (OHSS) را نیز به حداقل می‌رساند [۲۷-۲۵].

علاوه بر این، مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی با در نظر گرفتن عوامل مختلفی مانند: روش‌های درمان، شرایط آزمایشگاهی و جمعیت‌شناسی بیمار، تخمین‌های نرخ موفقیت واقعی را برای چرخه‌های IVF ارائه می‌کنند. این به تعیین انتظارات واقع‌بینانه و به پزشکان در تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر کمک می‌کند [۲۹، ۲۸].

یکی از جنبه‌های جذاب تجزیه و تحلیل پیش‌بینی، توانایی آن در شناسایی عوامل کمتر آشکار موثر بر نتایج IVF است. با تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های جامع، هوش مصنوعی می‌تواند همبستگی‌ها و عوامل مسببی را که ممکن است در تحلیل‌های مرسوم نادیده گرفته شوند، کشف کند، که شامل تأثیرات محیطی، انتخاب‌های سبک زندگی، و شرایط پزشکی ظریف می‌شود. این بینش‌ها پزشکان را با درک دقیق‌تری مجهز و به اصلاح طرح‌های درمانی کمک می‌کند [۳۱، ۳۰].

علاوه بر این، تجزیه و تحلیل پیش‌بینی کننده نقش اساسی در کاهش بروز حاملگی‌های چند قلو و خطرات مرتبط با آن ایفا می‌کند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی به انتخاب بادوام‌ترین جنین برای انتقال، ترویج بارداری‌های تک قلو سالم‌تر و به حداقل رساندن عوارض مرتبط با چند قلو کمک می‌کنند. دامنه تحلیل‌های پیش‌بینی فراتر از مراحل اولیه IVF است. پس از انتقال جنین، هوش مصنوعی می‌تواند شاخص‌های بالقوه لانه‌گزینی و علائم اولیه بارداری را با تجزیه و تحلیل سطوح هورمونی و سایر نشانگرهای فیزیولوژیکی بررسی کند. این تشخیص زودهنگام مداخلات به موقع را امکان‌پذیر می‌کند که برای موفقیت بارداری بسیار مهم است [۳۵-۳۲].

با نگاهی به افق درمان گسترده‌تر، به ویژه برای بیمارانی که به چرخه‌های متعدد IVF نیاز دارند، تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده در برنامه‌ریزی بلند مدت بسیار ارزشمند است. با ارزیابی نتایج چرخه‌های قبلی، هوش مصنوعی به استراتژی‌سازی تلاش‌های آینده، بهینه‌سازی آنها برای افزایش احتمال تجمعی موفقیت کمک می‌کند [۳۷، ۳۶].

در اصل، تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده در IVF نشان‌دهنده یک جهش قابل توجه به جلو در درمان‌های باروری است. این یک رویکرد مبتنی بر داده و شخصی به جنبه‌های مختلف IVF، از اصلاح انتخاب جنین و سفارشی‌سازی پروتکل‌های درمانی تا بهبود نتایج بیمار و هدایت تصمیم‌های بالینی را ارائه می‌کند. همانطور که فناوری‌های هوش مصنوعی به تکامل خود ادامه می‌دهند، نقش آن‌ها در IVF حتی پیچیده‌تر می‌شود و راه‌های جدیدی را در تلاش برای والدین موفق باز می‌کند [۴۰-۳۸].

انتخاب جنین به کمک کامپیوتر

انتخاب جنین به کمک رایانه نشان‌دهنده کاربرد پیشگامانه هوش مصنوعی (AI) در زمینه لقاح آزمایشگاهی (IVF) است که نشان‌دهنده تغییر قابل توجهی از روش‌های سنتی و ذهنی ارزیابی جنین به رویکردی عینی‌تر و مبتنی بر داده است. در قلب این نوآوری، استفاده از تکنیک‌های پیشرفته تجزیه و تحلیل تصویر است که توسط بینایی کامپیوتری و الگوریتم‌های یادگیری عمیق، که جنین‌ها را در سطحی از جزئیات بسیار فراتر از توانایی‌های چشم انسان بررسی می‌کند. به‌طور سنتی، جنین‌شناسان به تخصص و بررسی میکروسکوپی خود برای ارزیابی جنین‌ها بر اساس معیارهایی مانند تعداد سلول، ظاهر و سرعت رشد تکیه می‌کردند. اگرچه این روش با تنوع در ارزیابی‌ها بین ناظران مختلف مؤثر است، اما می‌تواند ذهنی باشد. انتخاب جنین به کمک کامپیوتر این تنوع را به حداقل می‌رساند و یک رویکرد ثابت و تکرارپذیر برای ارزیابی جنین ارائه می‌دهد [۴۳-۴۱].

این فرآیند با تصویربرداری دقیق از جنین در مراحل مختلف رشد شروع می‌شود. سپس این تصاویر توسط الگوریتم‌های پیشرفته هوش مصنوعی،

[Downloaded from saremjrm.com on 2026-01-29]

که بر روی مجموعه داده‌های وسیعی از تصاویر جنین مرتبط با نتایج بارداری آموزش داده شده است، تجزیه و تحلیل می‌شوند. الگوریتم‌ها پارامترهای متعددی مانند الگوهای تقسیم سلولی، ویژگی‌های مورفولوژیکی و حتی تغییرات ظریف فیزیولوژیکی را ارزیابی می‌کنند تا بقای جنین و پتانسیل لانه‌گزینی موفق را تعیین کنند [۴۶-۴۴].

یکی از مهمترین مزایای این رویکرد مبتنی بر هوش مصنوعی، دقت پیش‌بینی آن است. هوش مصنوعی با شناسایی جنین‌هایی که بیشترین پتانسیل موفقیت را دارند، کارایی فرآیند IVF را افزایش و به طور بالقوه تعداد سیکل‌های مورد نیاز برای رسیدن به بارداری موفق را کاهش می‌دهد. این نه تنها مزایای روحی و جسمی برای بیماران، بلکه مزایای اقتصادی نیز دارد [۴۹-۴۷].

علاوه بر این، انتخاب جنین به کمک کامپیوتر به طور مداوم در حال تکامل است. با جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌های بیشتر، این مدل‌های هوش مصنوعی به طور فزاینده‌ای اصلاح می‌شوند و ارزیابی‌های دقیق‌تری ارائه می‌دهند. این حلقه یادگیری پیوسته، ذاتی در مدل‌های یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق، به این معنی که فناوری همیشه در حال بهبود است و با اکتشافات و بینش‌های جدید در زمینه جنین‌شناسی سازگار می‌شود [۵۱، ۵۰].

به طور خلاصه، انتخاب جنین به کمک کامپیوتر گواهی بر این که چگونه هوش مصنوعی انقلابی در IVF ایجاد کرده است. با ارائه روشی عینی‌تر، دقیق‌تر و ثابت‌تر برای انتخاب جنین‌ها، می‌توان نرخ موفقیت IVF را به میزان قابل توجهی بهبود بخشد و به افراد و زوج‌های بی‌شماری که برای تحقق رویاهای والدینی خود به این فناوری تکیه می‌کنند، امیدوار است [۵۳، ۵۲].

غربالگری و آنالیز ژنتیکی

غربالگری و تجزیه و تحلیل ژنتیکی در زمینه لقاح آزمایشگاهی (IVF) با ظهور هوش مصنوعی (AI) عمیقاً افزایش یافته است. این ادغام فناوری پیشرفته در تجزیه و تحلیل ژنتیک نشان‌دهنده یک جهش رو به جلو در پزشکی باروری است که به زوج‌ها شانس بیشتری برای بارداری موفق با یک فرزند سالم ارائه می‌دهد [۵۵، ۵۴].

به طور سنتی، غربالگری ژنتیکی در IVF شامل فرآیندهای دستی که زمان‌بر بوده و در برخی مواقع مستعد خطای انسانی است. اما با ظهور هوش مصنوعی، این محدودیت‌ها در حال رفع شدن هستند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی این قابلیت را دارند که اطلاعات ژنتیکی پیچیده را سریعتر و دقیق‌تر از گذشته تجزیه و تحلیل کنند. این پیشرفت به ویژه در آزمایش ژنتیکی پیش از لانه‌گزینی (PGT) مشهود است، روشی که برای شناسایی ناهنجاری‌های ژنتیکی در جنین‌ها قبل از کاشت استفاده می‌شود [۵۸-۵۶].

PGT که شرایط ژنتیکی خاص و ناهنجاری‌های کروموزومی را غربالگری می‌کند، برای اطمینان از سلامت نوزاد بسیار مهم است، به ویژه در مواردی که خطر اختلالات ژنتیکی وجود دارد. هوش مصنوعی این فرآیند را با تجزیه و تحلیل سریع داده‌های ژنتیکی جنین‌ها افزایش می‌دهد. این سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند طیف وسیعی از ناهنجاری‌های ژنتیکی، از اختلالات تک ژنی گرفته تا ناهنجاری‌های کروموزومی پیچیده‌تر را شناسایی کنند. سرعت و دقت هوش مصنوعی در تجزیه و تحلیل داده‌های ژنتیکی به این معنی است که جنین‌شناسان و متخصصان باروری می‌توانند تصمیمات آگاهانه‌تری در مورد اینکه کدام جنین سالم‌ترین و مناسب‌ترین برای انتقال است، بگیرند [۶۱-۵۹].

علاوه بر این، نقش هوش مصنوعی در غربالگری ژنتیکی فراتر از شناسایی اختلالات ژنتیکی است. همچنین بینش‌هایی را در مورد سلامت ژنتیکی کلی جنین‌ها ارائه می‌دهد که یک عامل مهم در تعیین احتمال لانه گزینی و بارداری موفق است. با تجزیه و تحلیل نشانگرها و الگوهای ژنتیکی، هوش مصنوعی می‌تواند به انتخاب جنین‌هایی با بهترین شانس برای ایجاد یک بارداری سالم کمک کند و در نتیجه میزان موفقیت درمان‌های IVF را افزایش دهد [۶۳، ۶۲].

دقت ارائه شده توسط هوش مصنوعی در غربالگری و تجزیه و تحلیل ژنتیکی همچنین به این معنی است که والدین آینده‌نگر می‌توانند بهتر از سلامت فرزند آینده خود مطلع شوند. این امر به ویژه برای زوج‌هایی که سابقه اختلالات ژنتیکی دارند مهم است، زیرا هوش مصنوعی می‌تواند درک واضح‌تری از خطرات و احتمال انتقال این بیماری‌ها به فرزندانشان ارائه دهد [۶۶-۶۴].

در اصل، ادغام هوش مصنوعی در غربالگری و تجزیه و تحلیل ژنتیکی در **IVF** نشان‌دهنده یک گام مهم در فناوری تولیدمثل است. این نه تنها کارایی و دقت آزمایشات ژنتیکی را افزایش می‌دهد، بلکه نقش مهمی در تضمین سلامت و رفاه نسل آینده ایفا می‌کند. همانطور که فناوری هوش مصنوعی به تکامل خود ادامه می‌دهد، انتظار می‌رود تاثیر آن بر غربالگری ژنتیکی در IVF افزایش یابد و این زمینه را متحول کند و به زوج‌های بی‌شماری که به دنبال ایجاد خانواده خود هستند، امیدوار باشد [۶۹-۶۷].

بهینه‌سازی فرآیندهای آزمایشگاهی

بهینه‌سازی فرآیند آزمایشگاهی از طریق هوش مصنوعی در IVF یک پیشرفت حیاتی است که نحوه عملکرد آزمایشگاه‌های IVF را تغییر می‌دهد. در محیط ظریف و دقیق آزمایشگاه IVF، حتی کوچکترین متغیرها می‌توانند به‌طور قابل توجهی بر موفقیت درمان تأثیر بگذارند. اینجاست که هوش مصنوعی وارد می‌شود و سطح جدیدی از دقت و کارایی را به فرآیندهای آزمایشگاهی می‌آورد [۷۲-۷۰].

یکی از مهمترین کاربردهای هوش مصنوعی در این زمینه، اتوماسیون وظایف معمول است. رویه‌هایی مانند نظارت بر جنین که به‌طور سنتی مستلزم مشاهده مداوم انسان بود، اکنون می‌تواند توسط سیستم‌های هوش مصنوعی مدیریت شود. این سیستم‌ها از تکنیک‌های پیچیده تجزیه و تحلیل تصویر برای ردیابی رشد جنین استفاده می‌کنند و داده‌هایی را در زمان واقعی ارائه می‌دهند که هم دقیق و هم با جزئیات هستند. این نه تنها زمان ارزشمندی را برای جنین‌شناسان آزاد می‌کند، بلکه خطر خطای انسانی را نیز به حداقل می‌رساند، یک عامل مهم در فرآیندی که حتی نادیده گرفتن‌های جزئی می‌تواند عواقب قابل توجهی داشته باشد [۷۴، ۷۳].

[Downloaded from saremjrm.com on 2026-01-29]

هوش مصنوعی همچنین نحوه مدیریت شرایط جوجه‌کشی را تغییر می‌دهد. با تجزیه و تحلیل مداوم داده‌های محیط جوجه‌کشی، الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند شرایطی مانند دما، رطوبت و ترکیب گاز را در زمان واقعی تنظیم کنند تا محیط بهینه برای رشد جنین حفظ شود. این سطح از دقت در ایجاد و حفظ شرایط رشد ایده‌آل چیزی که دستیابی به آن به صورت دستی چالش‌برانگیز است [۷۵-۷۷].

علاوه بر این، هوش مصنوعی در افزایش انتخاب محیط کشت برای جنین نقش دارد. جنین‌های مختلف ممکن است در شرایط کشت مختلف رشد کنند و هوش مصنوعی می تواند به شخصی‌سازی این شرایط برای مطابقت با نیازهای خاص هر جنین کمک کند. این رویکرد شخصی می‌تواند به‌طور قابل توجهی شانس رشد و لانه‌گزینی موفق جنین را بهبود بخشد. حوزه دیگری که هوش مصنوعی به بهینه‌سازی آزمایشگاهی کمک می‌کند، مدیریت و تجزیه و تحلیل حجم وسیعی از داده‌های تولید شده در آزمایشگاه‌های IVF است. از پاسخ‌های درمانی بیمار گرفته تا ارزیابی‌های دقیق جنین‌شناسی، سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند این داده‌ها را پردازش و تجزیه و تحلیل تا بینشی ارائه کنند که می‌تواند برای اصلاح پروتکل‌های درمانی و بهبود میزان موفقیت کلی استفاده شود [۷۸، ۷۹].

به طور خلاصه، ادغام هوش مصنوعی در فرآیندهای آزمایشگاهی IVF یک بازی را تغییر می‌دهد. این نه تنها دقت و کارایی روش‌های مختلف را افزایش می‌دهد، بلکه به درک عمیق‌تر رشد جنین کمک می‌کند. این تکامل تکنولوژیکی از طریق بهبود نرخ موفقیت به نفع بیماران است و راه را برای پزشکی تولیدمثل پیشرفته‌تر و شخصی‌شده‌تر هموار می‌کند [۸۰، ۸۱].

نتایج بالینی

مطالعات موردی و نتایج بالینی در حوزه کاربردهای هوش مصنوعی در IVF شواهد قانع‌کننده‌ای از تأثیر تغییردهنده این فناوری بر پزشکی باروری ارائه می‌کند. یک مطالعه موردی قابل توجه شامل استفاده از هوش مصنوعی برای انتخاب جنین است. یک کلینیک باروری با پیاده‌سازی یک سیستم هوش مصنوعی آموزش دیده بر روی هزاران تصویر تاریخی از جنین‌ها، افزایش قابل توجهی در میزان موفقیت چرخه‌های IVF گزارش کرد. سیستم هوش مصنوعی قادر به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مورفولوژیکی ظریف و الگوهای رشد جنین‌ها بود که منجر به انتخاب دقیق‌تری برای لانه گزینی شد. این در مقایسه با روش سنتی ارزیابی دستی جنین توسط جنین شناسان، منجر به نرخ بالاتر بارداری و تولد زنده موفق شد. این مورد نه تنها پتانسیل هوش مصنوعی را در افزایش دقت انتخاب جنین برجسته، بلکه بر توانایی آن در ارائه ارزیابی‌های منسجم و بی‌طرفانه نیز تاکید کرد [۸۲-۸۴].

مطالعه موردی دیگری بر قدرت پیش‌بینی هوش مصنوعی در تعیین پروتکل بهینه تحریک تخمدان متمرکز است. با تجزیه و تحلیل داده‌های خاص بیمار مانند: سن، وزن، سطح هورمون و نتایج قبلی IVF، یک مدل هوش مصنوعی توانست رژیم‌های دارویی شخصی‌سازی شده را برای بیماران تحت درمان IVF توصیه کند. نتیجه بهبود قابل توجهی در تعداد تخمک‌های با کیفیت بالا و کاهش موارد سندرم تحریک بیش از حد تخمدان، یک عارضه جانبی رایج درمان‌های IVF بود. این نشان‌دهنده توانایی هوش مصنوعی نه تنها در بهبود میزان موفقیت IVF بلکه در افزایش ایمنی و راحتی بیمار است [۸۵-۸۸].

علاوه بر این موارد فردی، نتایج بالینی از چندین مطالعه امیدوارکننده بوده است. تحقیقاتی که نتایج چرخه‌های IVF را قبل و بعد از ادغام فناوری‌های هوش مصنوعی مقایسه می‌کند، روند ثابتی را نشان می‌دهد: نرخ بارداری بالاتر، نرخ کمتر سقط جنین و بهبود کلی در کارایی فرآیند IVF. این مطالعات همچنین نشان داد که هوش مصنوعی می‌تواند زمان و هزینه مرتبط با IVF را با به حداقل رساندن تعداد سیکل‌های مورد نیاز برای رسیدن به یک بارداری موفق کاهش دهد [۸۹-۹۱].

علاوه بر این، نقش هوش مصنوعی در غربالگری و تجزیه و تحلیل ژنتیکی انقلابی بوده است. کلینیک‌هایی که از الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای آزمایش‌های ژنتیکی قبل از لانه‌گزینی استفاده می‌کنند، دقت بالاتری را در تشخیص ناهنجاری‌های ژنتیکی گزارش کردند و از انتقال جنین‌های سالم‌تر اطمینان حاصل کردند. این نه تنها میزان موفقیت IVF را بهبود می بخشد، بلکه پیامدهای طولانی مدتی برای سلامت فرزندان نیز دارد [۹۲-۹۴].

به طور خلاصه، ادغام هوش مصنوعی در IVF نه تنها بهبود قابل اندازه‌گیری در نتایج بالینی را نشان داده، بلکه یک بهبود کیفی در مراقبت از بیمار و تجربه درمان را نیز نشان داده است. این مطالعات موردی و نتایج بالینی گواهی بر پتانسیل هوش مصنوعی به عنوان ابزاری محوری در تکامل پزشکی تولیدمثلی است که امید و شانس‌های موفقیت‌آمیزی را برای کسانی که به دنبال کمک در سفر خود به سمت والدین هستند، ارائه می‌کند [۹۵، ۹۶].

جهت‌گیری‌ها و نوآوری‌های آینده

جهت‌گیری‌ها و نوآوری‌های آینده در کاربرد هوش مصنوعی در IVF آماده است که اساساً پزشکی باروری را متحول کند. با ورود بیشتر به این عصر پیشرفت فناوری، چندین حوزه کلیدی توسعه برجسته می‌شوند که نویدبخش افزایش اثربخشی و دسترسی به درمان‌های IVF به طور قابل توجهی است [۹۷، ۹۸].

یکی از پیش‌بینی‌شده‌ترین پیشرفت‌ها، اصلاح الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای انتخاب دقیق‌تر جنین است. با تحقیقات مداوم و درک بهتر نشانگرهای رشد جنینی، انتظار می‌رود سیستم‌های هوش مصنوعی در شناسایی زنده‌ترین جنین‌ها با دقت بی‌سابقه‌ای ماهر شوند. این دقت نه تنها نرخ بارداری را بهبود می‌بخشد، بلکه تعداد سیکل‌های مورد نیاز برای بارداری موفق و در نتیجه فشار فیزیکی و روحی را بر روی بیماران کاهش می‌دهد. یکی دیگر از زمینه‌های امیدوارکننده، ادغام هوش مصنوعی با داده‌های ژنومی است. با مقرون به صرفه‌تر و گسترده‌تر شدن توالی ژنومی، توانایی هوش مصنوعی برای تجزیه و تحلیل اطلاعات پیچیده ژنتیکی می‌تواند منجر به پیشرفت‌هایی در درک مسائل باروری شود. این ادغام می‌تواند توسعه برنامه‌های درمانی بسیار شخصی‌سازی‌شده را بر اساس

[Downloaded from saremjrm.com on 2026-01-29]

ترکیب ژنتیکی بیمار، ایجاد انقلابی در نحوه تنظیم درمان‌ها و بهبود نتایج ایجاد کند [۹۹-۱۰۱].

علاوه بر این، نقش هوش مصنوعی در آزمایش‌های غیر تهاجمی قبل از تولد (NIPT) و آزمایش‌های ژنتیکی پیش از لانه‌گزینی (PGT) قرار است گسترش یابد. پیشرفت‌های آینده ممکن است امکان غربالگری جامع‌تر و دقیق‌تر را برای اختلالات ژنتیکی فراهم و سلامت و زنده ماندن جنین‌های انتخاب شده برای لانه گزینی را تضمین کند [۱۰۲-۱۰۴].

همچنین احتمالاً شاهد افزایش تعاملات بیمار و پزشک توسط سیستم‌های هوش مصنوعی خواهیم بود. پلتفرم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند اطلاعات شخصی، راهنمایی و پشتیبانی را در طول فرآیند IVF به بیماران ارائه دهند. این سیستم‌ها، مجهز به پردازش زبان طبیعی، می‌توانند به پرسش‌های بیمار پاسخ دهند، حمایت عاطفی ارائه دهند، و حتی در تصمیم‌گیری کمک سفر IVF را برای بیماران آموزنده‌تر و کمتر دلهره‌آور کنند [۱۰۵،۱۰۶].

در آزمایشگاه، آینده هوش مصنوعی شامل اتوماسیون بیشتر است. این نه تنها روش‌های IVF را ساده می‌کند، بلکه خطاهای انسانی را نیز به حداقل می‌رساند و از ثبات و قابلیت اطمینان در فرآیندهایی مانند بازیابی تخمک، لقاح، و کشت جنین اطمینان حاصل می‌کند. استفاده از هوش مصنوعی در نظارت بر رشد جنین در زمان واقعی می‌تواند بینش‌های حیاتی را در اختیار جنین‌شناسان قرار دهد که منجر به تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر در مورد انتخاب و انتقال جنین شود [۱۰۷-۱۰۹].

علاوه بر این، از آنجایی که داده‌ها همچنان سنگ بنای هوش مصنوعی هستند، تجمیع و تجزیه و تحلیل داده‌های جهانی IVF می‌تواند به بینش جدیدی در مورد روند باروری، اثربخشی درمان و عوامل جمعیت شناختی مؤثر بر باروری منجر شود. این تجزیه و تحلیل داده‌ها در مقیاس بزرگ می‌تواند به سیاست‌های بهداشت عمومی و درک جهانی مسائل بهداشت باروری کمک کند. به طور کلی، مسیر هوش مصنوعی در IVF به آینده‌ای اشاره می‌کند که در آن درمان‌ها شخصی‌تر، نتایج قابل پیش‌بینی‌تر هستند و تجربه کلی بیمار تا حد زیادی افزایش می‌یابد. این نوآوری‌ها فقط گام‌هایی رو به جلو در پزشکی تولیدمثل نیستند، بلکه نشان دهنده یک تغییر پارادایم در نحوه برخورد، درک و حل چالش‌های باروری هستند [۱۱۰-۱۱۲].

نتیجه

این مقاله با تأکید بر تأثیر انقلابی هوش مصنوعی (AI) بر لقاح آزمایشگاهی (IVF) به پایان می‌رسد. ادغام هوش مصنوعی در IVF به طور قابل توجهی دقت انتخاب جنین، پروتکل های درمانی شخصی و فرآیندهای آزمایشگاهی را بهبود بخشیده است که منجر به نرخ موفقیت بالاتر و نتایج بهتر بیمار می شود. استفاده از تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده و تکنیک‌های کامپیوتری در انتخاب جنین و غربالگری ژنتیکی، فرآیند تصمیم‌گیری را متحول کرده و آن را مبتنی بر داده‌ها و دقیق‌تر کرده است. پیشرفت‌های هوش مصنوعی نه تنها درمان‌های باروری مؤثرتری را ارائه می‌کند، بلکه آینده‌ای را نوید می‌دهد که در آن روش‌های IVF شخصی‌تر هستند، نتایج قابل پیش‌بینی‌تر هستند، و تجربیات کلی بیمار بسیار بهبود می‌یابد. این ادغام هوش مصنوعی در پزشکی باروری نشان دهنده یک تغییر اساسی به سمت مراقبت های باروری پیشرفته تر، کارآمدتر و دلسوزانه است.

تاییدیه اخلاقی

این مطالعه مروری، ملاحظات اخلاقی در بر ندارد.

تعارض در منافع

در این مطالعه هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

منابع مالی

حمایت مالی این مطالعه توسط مرکز تحقیقات زنان، زایمان و ناباروری صارم، بیمارستان فوق تخصصی صارم، صورت پذیرفته است.

شناسه ارکید نویسندگان

AboTaleb Saremi
http://orcid.org/0000-0003-4191-6624

منابع

1. Abdullah KAL, Atazhanova T, Chavez-Badiola A, Shivhare SB. Automation in ART: Paving the Way for the Future of Infertility Treatment. Reprod Sci. 2023;30(4):1006-16.
2. Ahlström A, Berntsen J, Johansen M, Bergh C, Cimadomo D, Hardarson T, Lundin K. Correlations between a deep learning-based algorithm for embryo evaluation with cleavage-stage cell numbers and fragmentation. Reprod Biomed Online. 2023;47(6):103408.
3. Al Rahwanji MJ, Abouras H, Shammout MS, Altalla R, Al Sakaan R, Alhalabi N, Alhalabi M. The optimal period for oocyte retrieval after the administration of recombinant human chorionic gonadotropin in in vitro fertilization. BMC Pregnancy Childbirth. 2022;22(1):184.
4. Arsalan M, Haider A, Choi J, Park KR. Detecting Blastocyst Components by Artificial Intelligence for Human Embryological Analysis to Improve Success Rate of In Vitro Fertilization. J Pers Med. 2022;12(2).
5. Aziz A, Pane S, Iacovacci V, Koukourakis N, Czarske J, Menciassi A, et al. Medical Imaging of Microrobots: Toward In Vivo Applications. ACS Nano. 2020;14(9):10865-93.

[Downloaded from saremjrm.com on 2026-01-29]

6. Babayev E. Man versus machine in in vitro fertilization-can artificial intelligence replace physicians? Fertil Steril. 2020;114(5):963.
7. Babayev E, Feinberg EC. Embryo through the lens: from time-lapse cinematography to artificial intelligence. Fertil Steril. 2020;113(2):342-3.
8. Bamford T, Smith R, Easter C, Dhillon-Smith R, Barrie A, Montgomery S, et al. Association between a morphokinetic ploidy prediction model risk score and miscarriage and live birth: a multicentre cohort study. Fertil Steril. 2023;120(4):834-43.
9. Barnes J, Brendel M, Gao VR, Rajendran S, Kim J, Li Q, et al. A non-invasive artificial intelligence approach for the prediction of human blastocyst ploidy: a retrospective model development and validation study. Lancet Digit Health. 2023;5(1):e28-e40.
10. Barnett-Itzhaki Z, Elbaz M, Butterman R, Amar D, Amitay M, Racowsky C, et al. Machine learning vs. classic statistics for the prediction of IVF outcomes. J Assist Reprod Genet. 2020;37(10):2405-12.
11. Berman A, Anteby R, Efros O, Klang E, Soffer S. Deep learning for embryo evaluation using time-lapse: a systematic review of diagnostic test accuracy. Am J Obstet Gynecol. 2023;229(5):490-501.
12. Berntsen J, Rimestad J, Lassen JT, Tran D, Kragh MF. Robust and generalizable embryo selection based on artificial intelligence and time-lapse image sequences. PLoS One. 2022;17(2):e0262661.
13. Bori L, Meseguer M. Will the introduction of automated ART laboratory systems render the majority of embryologists redundant? Reprod Biomed Online. 2021;43(6):979-81.
14. Bori L, Paya E, Alegre L, Viloria TA, Remohi JA, Naranjo V, Meseguer M. Novel and conventional embryo parameters as input data for artificial neural networks: an artificial intelligence model applied for prediction of the implantation potential. Fertil Steril. 2020;114(6):1232-41.
15. Bormann CL, Curchoe CL, Thirumalaraju P, Kanakasabapathy MK, Gupta R, Pooniwala R, et al. Deep learning early warning system for embryo culture conditions and embryologist performance in the ART laboratory. J Assist Reprod Genet. 2021;38(7):1641-6.
16. Bormann CL, Kanakasabapathy MK, Thirumalaraju P, Gupta R, Pooniwala R, Kandula H, et al. Performance of a deep learning based neural network in the selection of human blastocysts for implantation. Elife. 2020;9.
17. Brązert M, Kranc W, Celichowski P, Jankowski M, Piotrowska-Kempisty H, Pawelczyk L, et al. Expression of genes involved in neurogenesis, and neuronal precursor cell proliferation and development: Novel pathways of human ovarian granulosa cell differentiation and transdifferentiation capability in vitro. Mol Med Rep. 2020;21(4):1749-60.
18. Buldo-Licciardi J, Large MJ, McCulloh DH, McCaffrey C, Grifo JA. Utilization of standardized preimplantation genetic testing for aneuploidy (PGT-A) via artificial intelligence (AI) technology is correlated with improved pregnancy outcomes in single thawed euploid embryo transfer (STEET) cycles. J Assist Reprod Genet. 2023;40(2):289-99.
19. Campanholi SP, Garcia Neto S, Pinheiro GM, Nogueira MFG, Rocha JC, Losano JDA, et al. Can in vitro embryo production be estimated from semen variables in Senepol breed by using artificial intelligence? Front Vet Sci. 2023;10:1254940.
20. Canovas S, Ivanova E, Hamdi M, Perez-Sanz F, Rizos D, Kelsey G, Coy P. Culture Medium and Sex Drive Epigenetic Reprogramming in Preimplantation Bovine Embryos. Int J Mol Sci. 2021;22(12).
21. Caroppo E, Colpi GM. Prediction of sperm retrieval with the aid of machine-learning models cannot help in the management of patients with non-obstructive azoospermia when a less-effective surgical treatment is used. Hum Reprod. 2020;35(12):2872-3.
22. Charnpinyo N, Suthicharoenpanich K, Onthuam K, Engphaiboon S, Chaichaowarat R, Suebthawinkul C, Siricharoen P. Embryo Selection for IVF using Machine Learning Techniques Based on Light Microscopic Images of Embryo and Additional Factors. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2023;2023:1-4.
23. Chavez-Badiola A, Flores-Saiffe Farias A, Mendizabal-Ruiz G, Garcia-Sanchez R, Drakeley AJ, Garcia-Sandoval JP. Predicting pregnancy test results after embryo transfer by image feature extraction and analysis using machine learning. Sci Rep. 2020;10(1):4394.
24. Chavez-Badiola A, Flores-Saiffe-Farías A, Mendizabal-Ruiz G, Drakeley AJ, Cohen J. Embryo Ranking Intelligent Classification Algorithm (ERICA): artificial intelligence clinical assistant predicting embryo ploidy and implantation. Reprod Biomed Online. 2020;41(4):585-93.
25. Chéles DS, Molin EAD, Rocha JC, Nogueira MFG. Mining of variables from embryo morphokinetics, blastocyst's morphology and patient parameters: an approach to predict the live birth in the assisted reproduction service. JBRA Assist Reprod. 2020;24(4):470-9.
26. Chen F, Chen Y, Mai Q. Multi-Omics Analysis and Machine Learning Prediction Model for Pregnancy Outcomes After Intracytoplasmic Sperm Injection-in vitro Fertilization. Front Public Health. 2022;10:924539.

[Downloaded from saremjrm.com on 2026-01-29]

27. Chen Y, Wei H, Liu Y, Gao F, Chen Z, Wang P, et al. Identification of new protein biomarkers associated with the boar fertility using iTRAQ-based quantitative proteomic analysis. Int J Biol Macromol. 2020;162:50-9.
28. Chen Z, Wang Z, Du M, Liu Z. Artificial Intelligence in the Assessment of Female Reproductive Function Using Ultrasound: A Review. J Ultrasound Med. 2022;41(6):1343-53.
29. Chen Z, Zhang D, Zhen J, Sun Z, Yu Q. Predicting cumulative live birth rate for patients undergoing in vitro fertilization (IVF)/intracytoplasmic sperm injection (ICSI) for tubal and male infertility: a machine learning approach using XGBoost. Chin Med J (Engl). 2022;135(8):997-9.
30. Chermuła B, Kranc W, Jopek K, Budna-Tukan J, Hutchings G, Dompe C, et al. Human Cumulus Cells in Long-Term In Vitro Culture Reflect Differential Expression Profile of Genes Responsible for Planned Cell Death and Aging-A Study of New Molecular Markers. Cells. 2020;9(5).
31. Chow DJX, Wijesinghe P, Dholakia K, Dunning KR. Does artificial intelligence have a role in the IVF clinic? Reprod Fertil. 2021;2(3):C29-c34.
32. Cimadomo D, Innocenti F, Taggi M, Saturno G, Campitiello MR, Guido M, et al. How should the best human embryo in vitro be? Current and future challenges for embryo selection. Minerva Obstet Gynecol. 2023.
33. Cimadomo D, Sosa Fernandez L, Soscia D, Fabozzi G, Benini F, Cesana A, et al. Inter-centre reliability in embryo grading across several IVF clinics is limited: implications for embryo selection. Reprod Biomed Online. 2022;44(1):39-48.
34. Correa N, Cerquides J, Arcos JL, Vassena R. Supporting first FSH dosage for ovarian stimulation with machine learning. Reprod Biomed Online. 2022;45(5):1039-45.
35. Correa N, Cerquides J, Arcos JL, Vassena R, Popovic M. Personalizing the first dose of FSH for IVF/ICSI patients through machine learning: a non-inferiority study protocol for a multi-center randomized controlled trial. Trials. 2024;25(1):38.
36. Costa M, Strumane A, Raes A, Van Soom A, Babin D, Aelterman J. Deep-Learning Based Quantification of Bovine Oocyte Quality From Microscopy Images(). Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2023;2023:1-4.
37. Coticchio G, Borini A, Zacà C, Makrakis E, Sfontouris I. Fertilization signatures as biomarkers of embryo quality. Hum Reprod. 2022;37(8):1704-11.
38. Curchoe CL. The paper chase and the big data arms race. J Assist Reprod Genet. 2021;38(7):1613-5.
39. Curchoe CL, Bormann C, Hammond E, Salter S, Timlin C, Williams LB, et al. Assuring quality in assisted reproduction laboratories: assessing the performance of ART Compass - a digital art staff management platform. J Assist Reprod Genet. 2023;40(2):265-78.
40. Curchoe CL, Malmsten J, Bormann C, Shafiee H, Flores-Saiffe Farias A, Mendizabal G, et al. Predictive modeling in reproductive medicine: Where will the future of artificial intelligence research take us? Fertil Steril. 2020;114(5):934-40.
41. Curchoe CL, Tarafdar O, Aquilina MC, Seifer DB. SART CORS IVF registry: looking to the past to shape future perspectives. J Assist Reprod Genet. 2022;39(11):2607-16.
42. Danardono GB, Erwin A, Purnama J, Handayani N, Polim AA, Boediono A, Sini I. A Homogeneous Ensemble of Robust Pre-defined Neural Network Enables Automated Annotation of Human Embryo Morphokinetics. J Reprod Infertil. 2022;23(4):250-6.
43. Danardono GB, Handayani N, Louis CM, Polim AA, Sirait B, Periastiningrum G, et al. Embryo ploidy status classification through computer-assisted morphology assessment. AJOG Glob Rep. 2023;3(3):100209.
44. Diakiw SM, Hall JMM, VerMilyea M, Lim AYX, Quangkananurug W, Chanchamroen S, et al. An artificial intelligence model correlated with morphological and genetic features of blastocyst quality improves ranking of viable embryos. Reprod Biomed Online. 2022;45(6):1105-17.
45. Diakiw SM, Hall JMM, VerMilyea MD, Amin J, Aizpurua J, Giardini L, et al. Development of an artificial intelligence model for predicting the likelihood of human embryo euploidy based on blastocyst images from multiple imaging systems during IVF. Hum Reprod. 2022;37(8):1746-59.
46. Dimitriadis I, Zaninovic N, Badiola AC, Bormann CL. Artificial intelligence in the embryology laboratory: a review. Reprod Biomed Online. 2022;44(3):435-48.
47. Doody KJ. Infertility Treatment Now and in the Future. Obstet Gynecol Clin North Am. 2021;48(4):801-12.
48. Duval A, Nogueira D, Dissler N, Maskani Filali M, Delestro Matos F, Chansel-Debordeaux L, et al. A hybrid artificial intelligence model leverages multi-centric clinical data to improve fetal heart rate pregnancy prediction across time-lapse systems. Hum Reprod. 2023;38(4):596-608.
49. Enatsu N, Miyatsuka I, An LM, Inubushi M, Enatsu K, Otsuki J, et al. A novel system based on artificial intelligence for predicting blastocyst viability and visualizing the explanation. Reprod Med Biol. 2022;21(1):e12443.

[Downloaded from saremjrm.com on 2026-01-29]

50. Fadon P, Gallegos E, Jalota S, Muriel L, Diaz-Garcia C. Time-Lapse Systems: A Comprehensive Analysis on Effectiveness. Semin Reprod Med. 2021;39(5-06):e12-e8.
51. Fanton M, Nutting V, Rothman A, Maeder-York P, Hariton E, Barash O, et al. An interpretable machine learning model for individualized gonadotrophin starting dose selection during ovarian stimulation. Reprod Biomed Online. 2022;45(6):1152-9.
52. Fanton M, Nutting V, Solano F, Maeder-York P, Hariton E, Barash O, et al. An interpretable machine learning model for predicting the optimal day of trigger during ovarian stimulation. Fertil Steril. 2022;118(1):101-8.
53. Fernandez EI, Ferreira AS, Cecílio MHM, Chéles DS, de Souza RCM, Nogueira MFG, Rocha JC. Artificial intelligence in the IVF laboratory: overview through the application of different types of algorithms for the classification of reproductive data. J Assist Reprod Genet. 2020;37(10):2359-76.
54. Ferrand T, Boulant J, He C, Chambost J, Jacques C, Pena CA, et al. Predicting the number of oocytes retrieved from controlled ovarian hyperstimulation with machine learning. Hum Reprod. 2023;38(10):1918-26.
55. Firuzinia S, Afzali SM, Ghasemian F, Mirroshandel SA. A robust deep learning-based multiclass segmentation method for analyzing human metaphase II oocyte images. Comput Methods Programs Biomed. 2021;201:105946.
56. Fitz VW, Kanakasabapathy MK, Thirumalaraju P, Kandula H, Ramirez LB, Boehnlein L, et al. Should there be an "AI" in TEAM? Embryologists selection of high implantation potential embryos improves with the aid of an artificial intelligence algorithm. J Assist Reprod Genet. 2021;38(10):2663-70.
57. Fordham DE, Rosentraub D, Polsky AL, Aviram T, Wolf Y, Perl O, et al. Embryologist agreement when assessing blastocyst implantation probability: is data-driven prediction the solution to embryo assessment subjectivity? Hum Reprod. 2022;37(10):2275-90.
58. Fu K, Li Y, Lv H, Wu W, Song J, Xu J. Development of a Model Predicting the Outcome of In Vitro Fertilization Cycles by a Robust Decision Tree Method. Front Endocrinol (Lausanne). 2022;13:877518.
59. Garcia-Belda A, Cairó O, Martínez-Moro Á, Cuadros M, Pons MC, de Mendoza MVH, et al. Considerations for future modification of The Association for the Study of Reproductive Biology embryo grading system incorporating time-lapse observations. Reprod Biomed Online. 2024;48(1):103570.
60. Gardner DK. 'The way to improve ART outcomes is to introduce more technologies in the laboratory'. Reprod Biomed Online. 2022;44(3):389-92.
61. Gardner DK, Sakkas D. Making and selecting the best embryo in the laboratory. Fertil Steril. 2023;120(3 Pt 1):457-66.
62. Geller J, Collazo I, Pai R, Hendon N, Lokeshwar SD, Arora H, et al. An Artificial Intelligence-Based Algorithm for Predicting Pregnancy Success Using Static Images Captured by Optical Light Microscopy during Intracytoplasmic Sperm Injection. J Hum Reprod Sci. 2021;14(3):288-92.
63. Giscard d'Estaing S, Labrune E, Forcellini M, Edel C, Salle B, Lornage J, Benchaib M. A machine learning system with reinforcement capacity for predicting the fate of an ART embryo. Syst Biol Reprod Med. 2021;67(1):64-78.
64. Glatstein I, Chavez-Badiola A, Curchoe CL. New frontiers in embryo selection. J Assist Reprod Genet. 2023;40(2):223-34.
65. Go KJ, Hudson C. Deep technology for the optimization of cryostorage. J Assist Reprod Genet. 2023;40(8):1829-34.
66. Gomez T, Feyeux M, Boulant J, Normand N, David L, Paul-Gilloteaux P, et al. A time-lapse embryo dataset for morphokinetic parameter prediction. Data Brief. 2022;42:108258.
67. Goswami N, Winston N, Choi W, Lai NZE, Arcanjo RB, Chen X, et al. EVATOM: an optical, label-free, machine learning assisted embryo health assessment tool. Commun Biol. 2024;7(1):268.
68. Goyal A, Kuchana M, Ayyagari KPR. Machine learning predicts live-birth occurrence before in-vitro fertilization treatment. Sci Rep. 2020;10(1):20925.
69. Grzegorczyk-Martin V, Roset J, Di Pizio P, Fréour T, Barrière P, Pouly JL, et al. Adaptive data-driven models to best predict the likelihood of live birth as the IVF cycle moves on and for each embryo transfer. J Assist Reprod Genet. 2022;39(8):1937-49.
70. Gunderson SJ, Puga Molina LC, Spies N, Balestrini PA, Buffone MG, Jungheim ES, et al. Machine-learning algorithm incorporating capacitated sperm intracellular pH predicts conventional in vitro fertilization success in normospermic patients. Fertil Steril. 2021;115(4):930-9.
71. Guo X, Zhan H, Zhang X, Pang Y, Xu H, Zhang B, et al. Predictive models for starting dose of gonadotropin in controlled ovarian hyperstimulation: review and progress update. Hum Fertil (Camb). 2023;26(6):1609-16.
72. Guo Y, Chen P, Li T, Jia L, Zhou Y, Huang J, et al. Single-cell transcriptome and cell-specific network analysis reveal the reparative effect of

[Downloaded from saremjrm.com on 2026-01-29]

neurotrophin-4 in preantral follicles grown in vitro. Reprod Biol Endocrinol. 2021;19(1):133.
73. Hariton E, Pavlovic Z, Fanton M, Jiang VS. Applications of artificial intelligence in ovarian stimulation: a tool for improving efficiency and outcomes. Fertil Steril. 2023;120(1):8-16.
74. Hernández-González J, Valls O, Torres-Martín A, Cerquides J. Modeling three sources of uncertainty in assisted reproductive technologies with probabilistic graphical models. Comput Biol Med. 2022;150:106160.
75. Hickman CFL, Alshubbar H, Chambost J, Jacques C, Pena CA, Drakeley A, Freour T. Data sharing: using blockchain and decentralized data technologies to unlock the potential of artificial intelligence: What can assisted reproduction learn from other areas of medicine? Fertil Steril. 2020;114(5):927-33.
76. Hillyear LM, Zak LJ, Beckitt T, Griffin DK, Harvey SC, Harvey KE. Morphokinetic Profiling Suggests That Rapid First Cleavage Division Accurately Predicts the Chances of Blastulation in Pig In Vitro Produced Embryos. Animals (Basel). 2024;14(5).
77. Horer S, Feichtinger M, Rosner M, Hengstschläger M. Pluripotent Stem Cell-Derived In Vitro Gametogenesis and Synthetic Embryos-It Is Never Too Early for an Ethical Debate. Stem Cells Transl Med. 2023;12(9):569-75.
78. Hori K, Hori K, Kosasa T, Walker B, Ohta A, Ahn HJ, Huang TTF. Comparison of euploid blastocyst expansion with subgroups of single chromosome, multiple chromosome, and segmental aneuploids using an AI platform from donor egg embryos. J Assist Reprod Genet. 2023;40(6):1407-16.
79. Houri O, Gil Y, Danieli-Gruber S, Shufaro Y, Sapir O, Hochberg A, et al. Prediction of oocyte maturation rate in the GnRH antagonist flexible IVF protocol using a novel machine learning algorithm - A retrospective study. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol. 2023;284:100-4.
80. Huang B, Tan W, Li Z, Jin L. An artificial intelligence model (euploid prediction algorithm) can predict embryo ploidy status based on time-lapse data. Reprod Biol Endocrinol. 2021;19(1):185.
81. Huang TTF, Kosasa T, Walker B, Arnett C, Huang CTF, Yin C, et al. Deep learning neural network analysis of human blastocyst expansion from time-lapse image files. Reprod Biomed Online. 2021;42(6):1075-85.
82. Huang Y, Li Z, Lin E, He P, Ru G. Oxidative damage-induced hyperactive ribosome biogenesis participates in tumorigenesis of offspring by cross-interacting with the Wnt and TGF-β1 pathways in IVF embryos. Exp Mol Med. 2021;53(11):1792-806.
83. Iftikhar P, Kuijpers MV, Khayyat A, Iftikhar A, DeGouvia De Sa M. Artificial Intelligence: A New Paradigm in Obstetrics and Gynecology Research and Clinical Practice. Cureus. 2020;12(2):e7124.
84. Isiksacan Z, D'Alessandro A, Wolf SM, McKenna DH, Tessier SN, Kucukal E, et al. Assessment of stored red blood cells through lab-on-a-chip technologies for precision transfusion medicine. Proc Natl Acad Sci U S A. 2023;120(32):e2115616120.
85. Jakubczyk P, Paja W, Pancerz K, Cebulski J, Depciuch J, Uzun Ö, et al. Determination of idiopathic female infertility from infrared spectra of follicle fluid combined with gonadotrophin levels, multivariate analysis and machine learning methods. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2022;38:102883.
86. Jiang VS, Bormann CL. Noninvasive genetic screening: current advances in artificial intelligence for embryo ploidy prediction. Fertil Steril. 2023;120(2):228-34.
87. Jiang VS, Bormann CL. Artificial intelligence in the in vitro fertilization laboratory: a review of advancements over the last decade. Fertil Steril. 2023;120(1):17-23.
88. Jiang VS, Kartik D, Thirumalaraju P, Kandula H, Kanakasabapathy MK, Souter I, et al. Advancements in the future of automating micromanipulation techniques in the IVF laboratory using deep convolutional neural networks. J Assist Reprod Genet. 2023;40(2):251-7.
89. Jin H, Shen X, Song W, Liu Y, Qi L, Zhang F. The Development of Nomograms to Predict Blastulation Rate Following Cycles of In Vitro Fertilization in Patients With Tubal Factor Infertility, Polycystic Ovary Syndrome, or Endometriosis. Front Endocrinol (Lausanne). 2021;12:751373.
90. Johansen MN, Parner ET, Kragh MF, Kato K, Ueno S, Palm S, et al. Comparing performance between clinics of an embryo evaluation algorithm based on time-lapse images and machine learning. J Assist Reprod Genet. 2023;40(9):2129-37.
91. Joshi AS, Alegria AD, Auch B, Khosla K, Mendana JB, Liu K, et al. Multiscale, multi-perspective imaging assisted robotic microinjection of 3D biological structures. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2021;2021:4844-50.
92. Kandel ME, Rubessa M, He YR, Schreiber S, Meyers S, Matter Naves L, et al. Reproductive outcomes predicted by phase imaging with computational specificity of spermatozoon ultrastructure. Proc Natl Acad Sci U S A. 2020;117(31):18302-9.
93. Khalife D, Abu-Musa A, Khalil A, Ghazeeri G. Towards the selection of embryos with the greatest implantation potential. J Obstet Gynaecol. 2021;41(7):1010-5.

[Downloaded from saremjrm.com on 2026-01-29]

94. Khan HL, Bhatti S, Abbas S, Kaloglu C, Isa AM, Younas H, et al. Extracellular microRNAs: key players to explore the outcomes of in vitro fertilization. Reprod Biol Endocrinol. 2021;19(1):72.
95. Khattar H, Goel R, Kumar P. Artificial Intelligence in Gynaecological Malignancies: Perspectives of a Clinical Oncologist. Cureus. 2023;15(9):e45660.
96. Kim HM, Ko T, Kang H, Choi S, Park JH, Chung MK, et al. Improved prediction of clinical pregnancy using artificial intelligence with enhanced inner cell mass and trophectoderm images. Sci Rep. 2024;14(1):3240.
97. Kim J, Lee J, Jun JH. Non-invasive evaluation of embryo quality for the selection of transferable embryos in human in vitro fertilization-embryo transfer. Clin Exp Reprod Med. 2022;49(4):225-38.
98. Kragh MF, Karstoft H. Embryo selection with artificial intelligence: how to evaluate and compare methods? J Assist Reprod Genet. 2021;38(7):1675-89.
99. Kresch E, Efimenko I, Gonzalez D, Rizk PJ, Ramasamy R. Novel methods to enhance surgical sperm retrieval: a systematic review. Arab J Urol. 2021;19(3):227-37.
100. Kromp F, Wagner R, Balaban B, Cottin V, Cuevas-Saiz I, Schachner C, et al. An annotated human blastocyst dataset to benchmark deep learning architectures for in vitro fertilization. Sci Data. 2023;10(1):271.
101. Kulus M, Kranc W, Wojtanowicz-Markiewicz K, Celichowski P, Światły-Błaszkiewicz A, Matuszewska E, et al. New Gene Markers Expressed in Porcine Oviductal Epithelial Cells Cultured Primary In Vitro Are Involved in Ontological Groups Representing Physiological Processes of Porcine Oocytes. Int J Mol Sci. 2021;22(4).
102. Kumar RS, Sharma S, Halder A, Gupta V. Deep Learning-Based Robust Automated System for Predicting Human Sperm DNA Fragmentation Index. J Hum Reprod Sci. 2023;16(1):16-21.
103. Lee CI, Su YR, Chen CH, Chang TA, Kuo EE, Zheng WL, et al. End-to-end deep learning for recognition of ploidy status using time-lapse videos. J Assist Reprod Genet. 2021;38(7):1655-63.
104. Lee R, Witherspoon L, Robinson M, Lee JH, Duffy SP, Flannigan R, Ma H. Automated rare sperm identification from low-magnification microscopy images of dissociated microsurgical testicular sperm extraction samples using deep learning. Fertil Steril. 2022;118(1):90-9.
105. Letterie G. Three ways of knowing: the integration of clinical expertise, evidence-based medicine, and artificial intelligence in assisted reproductive technologies. J Assist Reprod Genet. 2021;38(7):1617-25.
106. Letterie G. Artificial intelligence and assisted reproductive technologies: 2023. Ready for prime time? Or not. Fertil Steril. 2023;120(1):32-7.
107. Letterie G, Mac Donald A. Artificial intelligence in in vitro fertilization: a computer decision support system for day-to-day management of ovarian stimulation during in vitro fertilization. Fertil Steril. 2020;114(5):1026-31.
108. Letterie G, MacDonald A, Shi Z. An artificial intelligence platform to optimize workflow during ovarian stimulation and IVF: process improvement and outcome-based predictions. Reprod Biomed Online. 2022;44(2):254-60.
109. Li J, Lu M, Zhang P, Hou E, Li T, Liu X, et al. Aberrant spliceosome expression and altered alternative splicing events correlate with maturation deficiency in human oocytes. Cell Cycle. 2020;19(17):2182-94.
110. Li L, Cui X, Yang J, Wu X, Zhao G. Using feature optimization and LightGBM algorithm to predict the clinical pregnancy outcomes after in vitro fertilization. Front Endocrinol (Lausanne). 2023;14:1305473.
111. Liang X, Liang J, Zeng F, Lin Y, Li Y, Cai K, et al. Evaluation of oocyte maturity using artificial intelligence quantification of follicle volume biomarker by three-dimensional ultrasound. Reprod Biomed Online. 2022;45(6):1197-206.
112. Liao S, Pan W, Dai WQ, Jin L, Huang G, Wang R, et al. Development of a Dynamic Diagnosis Grading System for Infertility Using Machine Learning. JAMA Netw Open. 2020;3(11):e2023654.

[Downloaded from saremjrm.com on 2026-01-29]