

Personalized Medicine and Artificial Intelligence in Ovarian Stimulation Protocols for Female Infertility: A Review Article

ARTICLE INFO

DOI: 1052547/sjrm.9.4.7

Article Type

Review Article

Authors

Vida Shafti¹, Alireza Azarboo^{2*}

1. School of Medicine, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran.
2. School of Medicine, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

*Corresponding Authors:

Alireza Azarboo MD.; School of Medicine, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Email: alirezaazarboo52@gmail.com

ABSTRACT

Introduction: In vitro fertilization (IVF) assisted by artificial intelligence (AI) is a rapidly evolving research field. This approach enhances ovarian stimulation outcomes and efficiency, personalizes drug dosage and timing, and streamlines the IVF process, ultimately leading to improved clinical outcomes.

Materials and Methods: This study was conducted as a systematic review. Relevant literature was retrieved from reputable scientific databases, including PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar. Articles published between 2010 and 2024 on personalized medicine, AI, and ovarian stimulation protocols in female infertility were reviewed. The selected keywords included "artificial intelligence," "personalized medicine," "ovarian stimulation," "female infertility," "IVF treatment," "clinical decision-making," and "decision support systems." Studies were screened based on predefined inclusion and exclusion criteria, encompassing original research articles, clinical trials, systematic reviews, and meta-analyses. Data from the selected studies were extracted and analyzed to identify current trends, potential applications, advantages, challenges, and future directions for integrating AI into ovarian stimulation protocols. Furthermore, the role of advanced technologies such as machine learning (ML), artificial neural networks (ANN), and clinical decision support systems (CDSS) in optimizing the IVF process was examined.

Conclusion: This review aimed to provide an overview of the role of personalized medicine and AI in ovarian stimulation protocols for infertility treatment. This innovative approach not only plays a crucial role in IVF clinics but also enhances treatment outcomes and reduces pregnancy-related complications.

Keywords: Artificial Intelligence; Personalized Medicine; Decision Support Systems; Assisted Reproductive Technology (ART); Infertility

Received: 14 January 2025
Accepted: 08 February 2025
e Published: 16 March 2025

Article History

Copyright© 2025, 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.

نتیجه گیری: هدف از این مقاله مروری بررسی یک نمای کلی از پزشکی شخصی سازی شده و هوش مصنوعی در پروتکل های تحریک تخمدان در ناباروری بود. این روش درمانی، علاوه بر نقش کلیدی در تکنیک های IVF، نتایج را بهبود بخشیده و همچنین عوارض بارداری را کاهش خواهد داد.

کلیدواژه ها: هوش مصنوعی؛ پزشکی شخصی سازی شده؛ سیستم های پشتیبانی تصمیم؛ فناوری های کمک باروری؛ ناباروری.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰

***نویسنده مسئول:** علیرضا آذربو؛ دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

مقدمه

ناباروری میلیون ها نفر در سنین باروری را در سراسر جهان تحت تاثیر قرار می دهد. تقاضای جهانی برای فناوری های کمک باروری (ARTs) به طور قابل توجهی افزایش یافته است. همچنین، پروسه درمانی IVF طولانی و از نظر مالی برای بیمار مشکل ساز خواهد بود [۱]. اگر چه نرخ انتقال از این روش ها با حدود ۲۵ درصد موفقیت در هر انتقال جنین اتولوگوس تازه و ۳۰ درصد برای انتقال منجمد شده می باشد [۲]. برای افزایش میزان بارداری در IVF، پروتکل هایی برای تحریک رشد فولیکول های متعدد استفاده می شوند که امکان بازایی چندین تخمک را فراهم می کند. این رویکرد اجازه می دهد که جنین مناسب برای لانه گزینی انتخاب شود.

در این مسیر ممکن است تخمدان به خوبی تحریک نشده و یا تحریک بیش از حد تخمدان اتفاق افتاده و در نتیجه تخمک مناسب کمتری ایجاد شود [۳]. درمان IVF یک فرآیند پیچیده است، نه تمامی فولیکول ها تبدیل به تخمک شده و نه همه تخمک ها تبدیل به جنین می شوند. تجویز مناسب گنادوتروپین با توجه به پتانسیل تخمدان منجر به تولید مناسب فولیکول می شود [۴]. شخصی سازی نمودن تحریک کنترل شده تخمدان بر اساس یک سری تصمیمات بالینی حیاتی می باشد. این تصمیمات شامل انتخاب مناسب ترین پروتکل تحریک، تعیین دوز شروع بهینه گنادوتروپین ها، ارزیابی نیاز بالقوه به عوامل کمکی، تعداد دفعات سونوگرافی و آزمایش خون برای پایش رشد فولیکولی، تصمیم گیری در مورد زمان بهینه برای شروع بلوغ نهایی تخمک و همچنین انتخاب نحوه تریگر است [۵].

فناوری های هوش مصنوعی (AI) [۶] از ابزارهای گسترده ای استفاده می کنند. مجموعه داده ها برای تجزیه و تحلیل متغیرهایی مانند پروفایل ژنتیک و عوامل سبک زندگی منجر به ارائه بینش برای تشخیص و درمان می شود [۶]. به تازگی، استفاده از تصمیم گیری بالینی پشتیبانی از الگوریتم ها (CDSA) [۷] و AI، از جمله یادگیری ماشین (ML) [۸] شاخص شده است. AI دارای پتانسیل ایجاد انقلاب با شخصی سازی پروتکل های

پزشکی شخصی سازی شده و هوش مصنوعی در پروتکل های تحریک تخمدان در ناباروری زنان: مقاله مروری

ویدا شفتی^۱، علیرضا آذربو^{۲*}

^۱ دانشکده پزشکی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران

^۲ دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: لقاح آزمایشگاهی با کمک هوش مصنوعی یک حوزه تحقیقاتی به سرعت در حال رشد است. با استفاده از این روش می توان نتایج و کارایی تحریک تخمدان را ارتقاء داد، دوز و زمان بندی داروها را شخصی سازی نمود و با ساده سازی فرآیند IVF در نهایت منجر به بهبود نتایج بالینی شد.

روش ها: این مطالعه به صورت یک مرور نظام مند انجام شده است. برای جمع آوری اطلاعات، پایگاه های علمی معتبر مانند Scopus، PubMed، Web of Science و Google Scholar مورد جستجو قرار گرفتند. مقالات منتشر شده در زمینه پزشکی شخصی سازی شده، هوش مصنوعی و پروتکل های تحریک تخمدان در درمان ناباروری زنان از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ بررسی شدند. کلیدواژه های مورد استفاده شامل "هوش مصنوعی"، "پزشکی شخصی سازی شده"، "تحریک تخمدان"، "ناباروری زنان"، "درمان IVF"، "تصمیم گیری بالینی" و "سیستم های پشتیبانی تصمیم" بودند. مقالات انتخاب شده بر اساس معیارهای ورود و خروج مشخص شامل مطالعات اصیل، کارآزمایی های بالینی، مطالعات مرور سیستماتیک و متاآنالیزها ارزیابی شدند. داده ها از مقالات منتخب استخراج و تجزیه و تحلیل شدند تا روندهای فعلی، کاربردهای بالقوه، مزایا، چالش ها و مسیرهای آینده ادغام هوش مصنوعی در پروتکل های تحریک تخمدان مشخص شوند. همچنین، نقش فناوری های نوین مانند یادگیری ماشین (ML)، شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم های پشتیبانی تصمیم بالینی (CDSS) در بهینه سازی فرآیند IVF بررسی شد.

Clinical Decision Support System (CDSS)[†]
Machine Learning (ML)[‡]

Assisted Reproductive Technology (ART)[†]
Artificial Intelligence (AI)[‡]

به افزایش دسترسی به مراقبت و در نهایت ساده سازی فرآیند IVF شود^[۱۵]. هدف پزشکی شخصی سازی شده، سفارشی کردن مراقبت های بهداشتی با تطبیق درمان ها با ویژگی های فردی بیمار است. در زمینه ناباروری زنان، به ویژه در طی پروتکل های تحریک تخمدان در IVF، ادغام AI در افزایش شخصی سازی و نتایج درمان نویدبخش می باشد^[۱۶]. در این روش، با تجزیه و تحلیل داده های بیمار شامل سن بیمار، وزن، سطح هورمونی و ذخیره تخمدان می توان پروتکل های شخصی سازی شده جهت مدیریت بیمار را طراحی نمود. چنین کاری منجر به کاهش حجم کاری کلینیک های نازایی خواهد شد^[۱۷]. یک بررسی محدود نشان داد که ماشین های بردار پشتیبان از جمله تکنیک های ترجیحی AI برای پیش بینی نتایج تحریک تخمدان هستند. با این حال، این بررسی همچنین اشاره کرد که بیشتر مطالعات بر داده های کلینیک های ناباروری تکیه کرده که بر نیاز به همکاری های چند کلینیکی برای افزایش تعمیم پذیری مدل های AI تأکید می کند.

پیش بینی نتیجه

در توسعه مدل های پیش بینی با استفاده از AI، نتیجه پیش بینی یک جزء حیاتی است. با تعیین پیش آگهی قبل، در طول یا بعد از یک چرخه درمانی می توان با مشاوره و برنامه ریزی درمان بیمار را شخصی سازی نمود. در حوزه ART، الگوریتم های AI برای پیش بینی احتمال بارداری بالینی و تولد زنده با استفاده از اطلاعات دموگرافیک بیمار و نتایج چرخه بالینی ایجاد شده است^[۱۸].

انتخاب دوز و پروتکل

با توجه به فقدان دستورالعمل های پذیرفته شده جهانی، تصمیمات درمان تحریک تخمدان می تواند به طور قابل توجهی بر اساس نظر پزشک متفاوت باشد^[۱۹]. اخیراً مدل ML برای ارتباط شروع دوز FSH بر اساس سن بیمار، BMI، AMH و AFC انجام شده است^[۲۰]. از تکنیک های AI جهت انتخاب نوع پروتکل تحریک نیز استفاده شده اند^[۲۱]. تحریک تخمدان (OS) برای تحریک رشد فولیکول های متعدد تخمدان به منظور ایجاد تخمک های متعدد برای بازیابی استفاده می شود^[۲۲]. مطالعات اخیر همچنین اثرات دموگرافیک، غدد درون ریز و داده های ژنتیکی جهت بهینه سازی سیستم عامل را مورد ارزیابی قرار داده اند^[۲۳].

برنامه ریزی

گردش کار کلینیک و کارایی پرونده الکترونیکی پزشکی، از سایر اهداف مرتبط برای سیستم های مبتنی بر AI است^[۲۴]. با ظهور این تکنولوژی در مراقبت های بهداشتی، پلتفرم های دیجیتال مانند ChatGPT جایگزین های نوآورانه ای برای مشاوره های پزشکی سنتی ارائه می کنند. مشاوره های ChatGPT با کمک AI، جایگزین امیدوارکننده ای برای مشاوره های سنتی در پزشکی کمک باروری است. در حالی که رضایت بیماران با ChatGPT بیشتر بود و مدت زمان مشاوره کوتاه تر بود، با توجه به مطالب ذکر شده، مطالعات بیشتری برای درک پیامدهای بلند مدت و نتایج بالینی مرتبط با مشاوره پزشکی مبتنی بر AI مورد نیاز است^[۲۵].

درمانی، افزایش دقت انتخاب جنین و توسعه فناوری های جدید می باشد^[۷]. این ابزارها برای کمک به پزشکان و بیماران در تصمیم گیری آگاهانه با مدیریت و تفسیر داده های گسترده و پیچیده است. ادغام AI در IVF به طور قابل توجهی ادبیات مدل های AI را گسترش داده است. این مدل پوشش دهنده طیف وسیعی از درمان بوده که حتی شامل مشاوره پیش درمان خواهد بود^[۸] و می تواند در مورد دوز مناسب درمان با گنادوتروپین ها و کنترل پاسخ تحریک نیز همراهی کند^[۹]. هدف از نگارش این مقاله، بررسی آخرین پیشرفت های AI در زمینه پروتکل های تحریک تخمک گذاری می باشد.

روش ها:

این مطالعه به صورت یک مرور نظام مند انجام شده است. برای جمع آوری اطلاعات، پایگاه های علمی معتبر مانند PubMed، Scopus، Web of Science و Google Scholar مورد جستجو قرار گرفتند. مقالات منتشر شده در زمینه پزشکی شخصی سازی شده، هوش مصنوعی و پروتکل های تحریک تخمدان در درمان ناباروری زنان از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ بررسی شدند. کلیدواژه های مورد استفاده شامل "هوش مصنوعی"، "پزشکی شخصی سازی شده"، "تحریک تخمدان"، "ناباروری زنان"، "درمان IVF"، "تصمیم گیری بالینی" و "سیستم های پشتیبانی تصمیم" بودند. مقالات انتخاب شده بر اساس معیارهای ورود و خروج مشخص شامل مطالعات اصلی، کارآزمایی های بالینی، مطالعات مرور سیستماتیک و متاآنالیزها ارزیابی شدند. داده ها از مقالات منتخب استخراج و تجزیه و تحلیل شدند تا روندهای فعلی، کاربردهای بالقوه، مزایا، چالش ها و مسیرهای آینده ادغام هوش مصنوعی در پروتکل های تحریک تخمدان مشخص شوند. همچنین، نقش فناوری های نوین مانند یادگیری ماشین (ML)، شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم های پشتیبانی تصمیم بالینی (CDSS) در بهینه سازی فرآیند IVF بررسی شد.

هوش مصنوعی و پروتکل های تحریک تخمک گذاری

AI نقش مهمی در زمینه های مختلف پزشکی ایفا می کند. تبدیل شیوه های پزشکی در مدیریت بیمار با پیشرفت روزافزون در فناوری های دیجیتال و زیرساخت های محاسباتی، منجر به تغییرات زیادی در رویکرد پزشکان شده است^[۱۱]. کاربردهای متعددی در پزشکی باروری و ART در حال حاضر ایجاد شده اند. حوزه کمک باروری پیشرفت های چشمگیر در ۴۰ سال اخیر داشته و با تمرکز فزاینده بر بهبود نتایج بیمار از طریق استفاده از فناوری های جدید در حال تحول می باشد^[۱۲]. در سال های اخیر، مراقبت های بهداشتی از الگوریتم های ML استفاده نموده و با استفاده از مجموعه داده های بزرگ برای بهبود مراقبت از بیمار و افزایش بهره وری در مسیر تعالی پیش می رود^[۱۳]. اگرچه هنوز AI در پزشکی تولیدمثل در دوران کودکی خود است، اما با افزایش تحقیقات و سرمایه گذاری در دو جنبه علمی و فناوری شاهد رشد آن خواهیم بود^[۱۴]. AI می تواند به بهینه سازی دوز و زمان مصرف داروها، کاهش احتمال تحریک بیش از حد یا کمتر تحریک نمودن تخمدان کمک نموده و منجر

آموزش و آگاهی رسانی

AI این توانایی را دارد که با آموزش و ساده‌سازی اصطلاحات پیچیده پزشکی به بیماران، این امکان را بدهد تا با تصمیم‌های آگاهانه مسیر پیچیده پروتکل‌های درمانی را طی کنند. گرچه AI نمی‌تواند جایگزین مشاورین پزشکی شود ولی می‌تواند در کنار آن‌ها به عنوان یک دستیار عالی به یاری بیماران بشتابد. AI می‌تواند با ارائه راهکارهای مقابله، تکنیک‌های آرام‌بخشی، مراقبت از سلامت روان، پشتیبانی دلسوزانه‌ای فراهم کند. اگرچه جایگزینی برای روان‌درمانی نیست، اما این پشتیبانی می‌تواند برای افرادی که نیاز به اطمینان فوری یا دلگرمی دارند، یک راه‌حل موقتی باشد.

توصیه‌های سفارشی سبک زندگی

AI می‌تواند با پیشنهادات شخصی‌سازی شده به بیماران در مورد نکات تغذیه‌ای برای بهبود سلامت باروری یا تکنیک‌های آرام‌بخشی برای کاهش استرس اثر بخشی درمان‌های پزشکی را افزایش دهد.

تداوم مراقبت

درمان‌های ناباروری اغلب شامل مراحل و ملاقات‌های متعددی هستند. AI می‌تواند با توضیح پروتکل‌های درمانی، یادآوری در مورد داروها و پاسخ به سوالات رایج، بین ویزیت‌ها نظم بیشتری در روند درمان بدهد.

مانیتورینگ فولیکول با سونوگرافی

فرآیند مانیتورینگ فولیکولی زمان بر است. AI می‌تواند با نظارت خودکار فولیکولی حتی در منزل به رفع این مشکلات کمک کند. این تکنولوژی مبتنی بر تقسیم بندی یا شبکه‌های عصبی تکراری به تجزیه و تحلیل تصویربرداری سونوگرافی سه بعدی (D3) پرداخته است. در میان اندازه‌های مختلف فولیکول، مدل‌های یادگیری عمیق می‌توانند اندازه‌گیری فولیکول با همبستگی تا ۹۸ درصد را ردیابی کنند^[۲۶]. سونوگرافی قابل حمل (پرتابل) با کیفیت بالینی مناسبی کمک کننده است^[۲۷].

Triggering

هنگامی که چندین فولیکول در طول سیکل IVF رشد می‌کنند، یک محرک یا تریگر هورمونی جهت آماده‌سازی برای بازیابی تخمک به فرد تجویز می‌شود^[۲۸]. تصمیم در مورد زمان تزریق جهت تریگر برای القاء تخمک با معیارهای مختلف که می‌تواند به طور قابل توجهی بین تجربیات مختلف، متفاوت باشد بر اساس نظر پزشک است. به طور کلی، معیارهایی مانند اندازه فولیکول‌ها و استرادیول موثر خواهد بود. با این حال، AI این پتانسیل را دارد که با ترکیب اطلاعات بسیار بیشتر، برای زمان این تصمیم‌گیری کمک کند^[۲۹]. سایر مدل‌های AI ارتباط مستقیم را بین اندازه فولیکول و بازده تخمک با استفاده از تفسیر خطی یافته‌اند^[۳۰].

نرخ تولد زنده تجمعی

نرخ تولد زنده تجمعی (CLBR)^۳ به عنوان یک معیار کلیدی IVF در نظر گرفته شده است. مدل پیش‌بینی دقیق CLBR می‌تواند جهت دستیابی به نتایج مورد انتظار کمک کند. گزارش شده است که AFC پایه، قادر به پیش‌بینی تولد زنده قبل از دریافت است^[۳۱]. افزایش AFC یک ارتباط غیر خطی با شانس بالاتر تولد زنده دارد^[۳۲].

مزایای یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی

گنجاندن AI در پروتکل‌های تحریک تخمدان چندین مزیت دارد: ۱- شخصی‌سازی: AI توسعه برنامه‌های درمانی فردی را بر اساس تجزیه و تحلیل جامع داده‌های خاص بیمار امکان پذیر می‌کند و به طور بالقوه نرخ موفقیت IVF را بهبود می‌بخشد. پلتفرم‌ها به کمک AI می‌توانند جریان کار بالینی را در طول تحریک تخمدان و IVF ساده‌سازی کنند و کارایی فرآیند و پیش‌بینی نتیجه را افزایش دهند. همچنین، AI این توانایی را دارد که با کم نمودن چرخه‌های درمانی مورد نیاز، بار عاطفی و مالی بر زوجین را نیز کاهش دهد^[۳۳]. ۲- ایمنی: با پیش‌بینی دقیق پاسخ‌های تخمدان، AI می‌تواند به جلوگیری از پیامدهای نامطلوب مانند سندرم تحریک بیش از حد تخمدان کمک کند و پروتکل‌های درمانی ایمن‌تری را تضمین کند.

چالش‌ها و جهت‌گیری‌های آینده

علیرغم پتانسیل امیدوارکننده AI در شخصی‌سازی پروتکل‌های تحریک تخمدان، چالش‌هایی همچنان باقی مانده است. در دسترس بودن محدود مجموعه داده‌های متنوع و چند مرکزی می‌تواند کاربرد مدل‌های AI را در جمعیت‌های مختلف محدود کند. علاوه بر این، تکامل سریع فناوری‌های AI مستلزم اعتبارسنجی و به‌روزرسانی مداوم مدل‌های پیش‌بینی برای حفظ دقت و ارتباط آن‌ها می‌باشد. تحقیقات آینده باید بر روی موارد زیر متمرکز شود: ۱- تنوع داده‌ها: همکاری در چندین کلینیک برای جمع‌آوری مجموعه داده‌های متنوع، افزایش استحکام و تعمیم مدل‌های AI. ۲- اعتبارسنجی مدل: انجام بررسی‌های سیستماتیک و متاآنالیز برای ارزیابی عملکرد و کارایی مدل‌های مختلف AI در پیش‌بینی نتایج تحریک تخمدان. ۳- ادغام بالینی: توسعه ابزارهای AI کاربر پسند که می‌توانند به طور یکپارچه در عمل بالینی ادغام شوند و بینش عملی را برای بهینه‌سازی مراقبت از بیمار به پزشکان ارائه دهند. در نتیجه، ادغام AI در پروتکل‌های تحریک تخمدان، نشان‌دهنده پیشرفت قابل توجهی در زمینه پزشکی باروری است که پتانسیل افزایش شخصی‌سازی و اثربخشی درمان‌های ناباروری را ارائه می‌دهد.

اصول اخلاق پزشکی

Cumulative live birth rate (CLBR)^۴

Murillo et al. ^[۲۱]	۲۰۲۳	مقایسه پروتکل های تحریک در پاسخ دهندگان ضعیف	تحلیل داده های بیماران IVF	AI نشان داد که تغییر پروتکل تحریک اثر قابل توجهی در بهبود نتایج ندارد.
Li et al. ^[۲۲]	۲۰۲۱	توسعه ابزار مبتنی بر AI برای تعیین دوز گنادوتروپین	یادگیری ماشین و مدل سازی بالینی	مدل پیشنهادی توانست دوز را بر اساس پارامترهای بیمار شخصی سازی کند.
Cheng et al. ^[۲۳]	۲۰۲۴	مقایسه مشاوره سنتی و AI در بیماران ناباروری	مطالعه مقطعی	بیماران از مشاوره مبتنی بر AI رضایت بالاتری داشتند، اما نیاز به بررسی بیشتر وجود دارد.

نتیجه گیری

ظهور AI آغاز عصری جدید در مراقبت از ناباروری است که حمایت قابل دسترس، همدلانه و دانش محور را برای بیماران در مسیر پیچیده چالش های سلامت باروری فراهم می کند. با تکمیل درمان های پزشکی سنتی، این پلتفرم ها پتانسیل توانمندسازی افراد، کاهش بار عاطفی و در نهایت بهبود نتایج را دارند. با پیشرفت فناوری، نقش آن در شکل دادن به آینده درمان های ناباروری بدون شک گسترش خواهد یافت و رویکردی فراگیرتر و بیمار محورتر در سلامت باروری را ارتقا خواهد داد. پزشکی دقیق و شخصی سازی شده، نوعی از پزشکی است که به دنبال فردی کردن درمان فراتر از آنچه در حال حاضر انجام می شود، می باشد. AI و علم داده، دو زمینه ای که در حال رشد بوده و به طور فزاینده ای نقش اصلی را در گسترش دامنه پزشکی دقیق ایفا می کنند. الگوریتم ها دارای پتانسیل برای تسریع و افزایش دقت تشخیص، هدایت درمان شخصی و مراقبت کلی از بیمار را بهبود می بخشند. در آینده ی نزدیک، می توانیم انتظار پیشرفت های بیشتری داشته باشیم که امیدهای جدیدی را برای کمک به زوج هایی که با ناباروری دست و پنجه نرم می کنند به ارمغان آورد. در واقع، ابزارهای خودکار ممکن است به جستجوگران و پزشکان کمک کند تا بینش های عمیق تری به دست آورند. با یکپارچه سازی مجموعه داده های متنوع و شبیه سازی سناریوهای مختلف، این مدل ها قول می دهند افزایش نفوذ تشخیصی، بهینه سازی استراتژی های درمانی و بهبود نتایج درمان برای نابارور را به ارمغان آورند. هنوز چالش های زیادی در مورد چگونگی استفاده از AI در پزشکی تولید مثل وجود دارد.^[۲۴] در آینده ای قابل پیش بینی، یک ابرالگوریتم که تمام کامپیوترها را یکپارچه می کند و ابزارهای AI که از نظر بالینی تایید شده اند، می توانند در کلینیک های ART توسط باروری پذیرفته شوند. شخصی سازی در ادامه راه می تواند نتایج بالینی ART را بهتر بهبود بخشند.

تعارض منافع

در این مطالعه هیچگونه تعارض منافی وجود ندارد.

منابع تامین مالی

این طرح هزینه ای نداشته است.

رعایت اصول اخلاق پزشکی و حفظ حریم خصوصی در پزشکی شخصی سازی شده و استفاده از AI در پروتکل های تحریک تخمدان، ضروری می باشد. با ایجاد یک چارچوب اخلاقی قوی و آموزش مستمر پزشکان، می توان اطمینان حاصل کرد که پیشرفت های علمی به نفع بیماران و جامعه باشد؛ بدون اینکه حقوق فردی نقض شود. چارچوب ها و مقررات اخلاقی قوی برای اطمینان از استفاده مسؤولانه و عادلانه از AI در پزشکی باروری مورد نیاز خواهد بود.^[۲۴]

آینده هوش مصنوعی در درمان ناباروری

پتانسیل AI در سلامت باروری فراتر از حمایت بیمار است. پیشرفت های آینده می تواند شامل تحلیل های پیش بینی کننده برای ارزیابی پتانسیل باروری، واقعیت مجازی (VR) برای کاهش استرس و الگوریتم های مبتنی بر AI برای بهینه سازی نرخ موفقیت ART باشد. ادغام پلتفرم هایی مانند ChatGPT با پرونده های سلامت الکترونیکی (EHR) می تواند مراقبت شخصی شده را با تنظیم توصیه ها برای سوابق پزشکی فردی افزایش دهد (جدول ۱).

جدول ۱: مرور مطالعات گذشته در زمینه هوش مصنوعی و پزشکی شخصی سازی شده در تحریک تخمدان.

مطالعه	سال انتشار	هدف مطالعه	روش شناسی	یافته های کلیدی
Dabbagh Rezaeiye et al. ^[۱]	۲۰۲۲	بررسی پارامترهای پیش بینی کننده موفقیت IVF	آنالیز داده های بالینی بیماران IVF	برخی پارامترها مانند سن و سطح AMH تأثیر معناداری بر موفقیت IVF دارند.
Hanassab et al. ^[۲]	۲۰۲۴	پتانسیل AI در شخصی سازی درمان های کمک باروری	مرور سیستماتیک	AI می تواند دوزهای گنادوتروپین را بهینه سازی کند و نیاز به آزمایش های اضافی را کاهش دهد.
Ferrand et al. ^[۱۰]	۲۰۲۳	پیش بینی تعداد تخمک های بازپای شده در تحریک تخمدان	مدل یادگیری ماشین	مدل های ML عملکرد بهتری نسبت به روش های سنتی در پیش بینی پاسخ تخمدان داشتند.
Hariton et al. ^[۱۵]	۲۰۲۳	نقش هوش مصنوعی در افزایش کارایی و نتایج تحریک تخمدان	کارآزمایی بالینی	AI توانست روز بهینه تزریق تریگر را با دقت بالایی پیش بینی کند.
Letterie et al. ^[۱۶]	۲۰۲۰	طراحی سیستم پشتیبانی تصمیم برای مدیریت تحریک تخمدان	مدل سازی تصمیم گیری	سیستم CDSS دقت پزشکان در انتخاب دوز اولیه را افزایش داد.
Dhillon et al. ^[۲۱]	۲۰۱۶	پیش بینی احتمال تولد زنده در IVF	آنالیز داده های بیماران	مدل AI قادر به تخمین احتمال تولد زنده بر اساس مشخصات بیمار بود.
Mañas et al. ^[۸]	۲۰۲۱	توسعه الگوریتم AI برای انتخاب دوز مناسب FSH	مدل یادگیری ماشین	مدل پیشنهادی توانست با دقت بالایی دوز بهینه را تعیین کند.

12. Niederberger, C., et al., *Forty years of IVF. Fertility and sterility*, 2018. **110**(2): p. 185-324. e5.

13. Davenport, T. and R. Kalakota, *The potential for artificial intelligence in healthcare*. *Future healthcare journal*, 2019. **6**(2): p. 94-98.

14. Albertini, D.F., *The making and managing of a niche for artificial intelligence in reproductive medicine*. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*, 2023. **40**(2): p. 211-212.

15. Hariton, E., et al., *Applications of artificial intelligence in ovarian stimulation: a tool for improving efficiency and outcomes*. *Fertility and sterility*, 2023. **120**(1): p. 8-16.

16. Letterie, G. and A. Mac Donald, *Artificial intelligence in in vitro fertilization: a computer decision support system for day-to-day management of ovarian stimulation during in vitro fertilization*. *Fertility and Sterility*, 2020. **114**(5): p. 1026-1031.

17. Letterie, G., *Three ways of knowing: the integration of clinical expertise, evidence-based medicine, and artificial intelligence in assisted reproductive technologies*. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*, 2021. **38**(7): p. 1617-1625.

18. Xia, L., et al., *Predicting personalized cumulative live birth rate after a complete in vitro fertilization cycle: an analysis of 32,306 treatment cycles in China*. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 2024. **22**(1): p. 65.

19. Wald, K., et al., *Changing stimulation protocol on repeat conventional ovarian stimulation cycles does not lead to improved laboratory outcomes*. *Fertility and Sterility*, 2021. **116**(3): p. 757-765.

20. Li, Y., et al., *A novel nomogram for individualized gonadotropin starting dose in GnRH antagonist protocol*. *Frontiers in Endocrinology*, 2021. **12**: p. 688654.

21. Murillo, F., et al., *Causal inference indicates that poor responders have similar outcomes with the antagonist protocol compared with flare*. *Fertility and sterility*, 2023. **120**(2): p. 289-296.

22. Broekmans, F.J., *Individualization of FSH doses in assisted reproduction: facts and fiction*. *Frontiers in endocrinology*, 2019. **10**: p. 181.

23. Xu, H., et al., *POvaStim: An online tool for directing individualized FSH doses in ovarian stimulation*. *The Innovation*, 2023. **4**(2).

24. Letterie, G., A. MacDonald, and Z. Shi, *An artificial intelligence platform to optimize workflow during ovarian stimulation and IVF: process improvement and*

منابع

1. Rezaeiye, R.D., et al., *Impact of various parameters as predictors of the success rate of in vitro fertilization*. *International Journal of Fertility & Sterility*, 2022. **16**(2): p. 76.

2. Smeenk, J., et al., *ART in Europe, 2019: results generated from European registries by ESHRE*. *Human Reproduction*, 2023. **38**(12): p. 2321-2338.

3. Datta, A.K., et al., *Mild versus conventional ovarian stimulation for IVF in poor, normal and hyper-responders: a systematic review and meta-analysis*. *Human reproduction update*, 2021. **27**(2): p. 229-253.

4. Abbara, A., et al., *FSH requirements for follicle growth during controlled ovarian stimulation*. *Frontiers in endocrinology*, 2019. **10**: p. 579.

5. Shrestha, D., X. La, and H.L. Feng, *Comparison of different stimulation protocols used in in vitro fertilization: a review*. *Annals of translational medicine*, 2015. **3**(10): p. 137.

6. Hanassab, S., et al., *The prospect of artificial intelligence to personalize assisted reproductive technology*. *Npj digital medicine*, 2024. **7**(1): p. 55.

7. Medenica, S., et al., *The future is coming: artificial intelligence in the treatment of infertility could improve assisted reproduction outcomes—the value of regulatory frameworks*. *Diagnostics*, 2022. **12**(12): p. 2979.

8. Mañas, N.C., et al., *P-637 Development and validation of an Artificial Intelligence algorithm that matches a clinician ability to select the best follitropin dose for ovarian stimulation*. *Human Reproduction*, 2021. **36**(Supplement_1): p. deab130. 636.

9. Choo, C.-W. and J.H. Kim, *A prospective cohort study to develop a treatment algorithm for controlled ovarian stimulation to select a starting dose of recombinant follicle stimulating hormone based on patient characteristics and ovarian response (fame study)*. *Fertility and Sterility*, 2021. **116**(3): p. e196.

10. Ferrand, T., et al., *Predicting the number of oocytes retrieved from controlled ovarian hyperstimulation with machine learning*. *Human Reproduction*, 2023. **38**(10): p. 1918-1926.

11. Hajirasouliha, I. and O. Elemento, *Precision medicine and artificial intelligence: overview and relevance to reproductive medicine*. *Fertility and Sterility*, 2020. **114**(5): p. 908-913.

outcome-based predictions. Reproductive biomedicine online, 2022. **44**(2): p. 254-260.

25. Cheng, S., et al., *Comparative outcomes of AI-assisted ChatGPT and face-to-face consultations in infertility patients: a cross-sectional study*. Postgraduate Medical Journal, 2024. **100**(1189): p. 851-855.

26. Liang, X., et al., *Evaluation of oocyte maturity using artificial intelligence quantification of follicle volume biomarker by three-dimensional ultrasound*. Reproductive biomedicine online, 2022. **45**(6): p. 1197-1206.

27. Chung, E.H., et al., *Virtual compared with in-clinic transvaginal ultrasonography for ovarian reserve assessment*. Obstetrics & Gynecology, 2022. **139**(4): p. 561-570.

28. Abbara, A., S.A. Clarke, and W.S. Dhillon, *Novel concepts for inducing final oocyte maturation in in vitro fertilization treatment*. Endocrine reviews, 2018. **39**(5): p. 593-628.

29. Hariton, E., et al., *A machine learning algorithm can optimize the day of trigger to improve in vitro fertilization outcomes*. Fertility and Sterility, 2021. **116**(5): p. 1227-1235.

30. Fanton, M., et al., *An interpretable machine learning model for predicting the optimal day of trigger during ovarian stimulation*. Fertility and Sterility, 2022. **118**(1): p. 101-108.

31. Dhillon, R., et al., *Predicting the chance of live birth for women undergoing IVF: a novel pretreatment counselling tool*. Human Reproduction, 2016. **31**(1): p. 84-92.

32. Cai, Q., et al., *Quality of embryos transferred and progesterone levels are the most important predictors of live birth after fresh embryo transfer: a retrospective cohort study*. Journal of Assisted Reproduction and Genetics, 2014. **31**: p. 185-194.

33. Bulletti, C., et al., *Artificial Intelligence, Clinical Decision Support Algorithms, Mathematical Models, Calculators Applications in Infertility: Systematic Review and Hands-On Digital Applications*. Mayo Clinic Proceedings: Digital Health, 2024.

34. Mendizabal-Ruiz, G., et al., *Artificial intelligence in human reproduction*. Archives of Medical Research, 2024. **55**(8): p. 103131.

35. Sellami, A., et al., # 364: *Precision Medicine and Artificial Intelligence in the Area of Infertility: Update Applications and Perspectives*. Fertility & Reproduction, 2023. **5**(04): p. 327-327.