Journal of Health and Biomedical Informatics 2024; 11(3): 203-213
doi: 10.34172/jhbmi.2024.25
Medical Informatics Research Center, Kerman University of Medical Sciences

Narrative Review

Digital Twins in Healthcare: Necessities, Pros, Cons, and Future Directions

Amir Hossein Nabizadeh[1], Mohammad Mehdi Ghaemi[2*]

1. Assistant Professor of Artificial Intelligence, Medical Informatics Research Center, Institute for Futures Studies in Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran / INESC-ID, Lisbon, Portugal
2. Assistant Professor of Medical Informatics, Medical Informatics Research Center, Institute for Futures Studies in Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

ARTICLE INFO:

Article History:

Received: 12 Aug 2024

Accepted: 30 Sep 2024

Published: 20 Dec 2024

**Corresponding Author:*

Mohammad Mehdi Ghaemi

Email:

m.ghaemi@kmu.ac.ir

Citation: Nabizadeh AH, Ghaemi MM. Digital Twins in Healthcare: Necessities, Pros, Cons, and Future Directions. Journal of Health and Biomedical Informatics 2024; 11(3): 203-13. [In Persian]

Abstract

Introduction: Digital Twin (DT) refers to a digital model of a physical product, system, or process used for simulation, monitoring, and optimization. In healthcare, this technology has transformed patient care by generating virtual models of patients, enabling the prediction and optimization of health outcomes. This study examines the benefits, challenges, implementation requirements, and future directions of this technology in healthcare, aiming to review and summarize prior studies while avoiding duplication of research.

Method: This study employs a narrative approach in the context of digital twins in healthcare. It does not follow a systematic methodology but rather relies on existing models, hypotheses, and personal expertise to derive general conclusions.

Results: This study describes how DT has facilitated personalized medicine, improved surgical outcomes, managed chronic diseases, streamlined clinical trials, and optimized hospital operations. Additionally, it highlights challenges associated with DT in healthcare, such as ethical implications, privacy concerns, and regulatory issues. It emphasizes the need for strong data governance and interdisciplinary collaboration to fully leverage the potential of DT. Finally, this research explores key areas for the future development of this technology.

Conclusion: The requirements, challenges, benefits, and future directions presented in this study can guide the design and implementation of accurate and intelligent DT in the healthcare domain

Keywords: Digital Twins, Healthcare, Artificial Intelligence

© 2024 The Author(s); Published by Kerman University of Medical Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cite

[Downloaded from jhbmi.com on 2026-02-17]

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.25]

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی دوره یازدهم، شماره سوم، سال ۱۴۰۳، ۲۱۳-۲۰۳
doi: 10.34172/jhbmi.2024.25
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

مقاله مروری روایتی

دوقلوی دیجیتال در سلامت: ملزومات، مزایا، چالش‌ها و آینده

امیرحسین نبی زاده [۱]، محمدمهدی قائمی [۲*]

۱. استادیار هوش مصنوعی، مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، پژوهشکده آینده‌پژوهی در سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران / مؤسسه تحقیقاتی سیستم‌ها و کامپیوتر – تحقیق و توسعه، لیسبون، پرتغال

۲. استادیار انفورماتیک پزشکی، مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، پژوهشکده آینده‌پژوهی در سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

اطلاعات مقاله:

سابقه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۲
پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۹
انتشار برخط: ۱۴۰۳/۹/۳۰

نویسنده مسئول:
محمدمهدی قائمی
ایمیل:
m.ghaemi@kmu.ac.ir

ارجاع: نبی زاده امیرحسین، قائمی محمدمهدی. دوقلوی دیجیتالی در سلامت: ملزومات، مزایا، چالش‌ها و آینده. مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی ۱۴۰۳؛ ۱۱(۳): ۲۰۳-۱۳.

چکیده

مقدمه: دوقلوی دیجیتال (Digital Twins) یک مدل دیجیتالی از یک محصول، سیستم یا فرآیند فیزیکی است که برای شبیه‌سازی، نظارت و بهینه‌سازی استفاده می‌شود. در حوزه سلامت، این فناوری با ایجاد مدل‌های مجازی از بیماران، تحولی در مراقبت‌های درمانی ایجاد کرده و امکان پیش‌بینی و بهینه‌سازی نتایج سلامتی را فراهم می‌کند. در این مطالعه، ما به بررسی مزایا، چالش‌ها، الزامات پیاده سازی وجهت گیری‌های آینده این تکنولوژی در سلامت می‌پردازیم و هدف این مطالعه مرور و جمع‌بندی مقالات پیشین و جلوگیری از تکرار مطالعات است.

روش: این مطالعه به شکل روایتی (Narrative) در زمینه دوقلوی دیجیتالی در حوزه سلامت نوشته شده به طوری که در این مطالعه از روش نظام‌مندی استفاده نشد و تنها با استفاده از تجربیات خود و مدل‌ها و فرضیه‌های موجود، نتیجه‌گیری کلی را ارائه شده است.

نتایج: در این مطالعه بیان شد که چگونه دوقلوی دیجیتالی توانسته پزشکی شخصی‌سازی شده، نتایج جراحی، بیماری‌های مزمن، آزمایشات بالینی، و عملیات بیمارستان‌ها را ساده‌سازی، مدیریت و بهینه کند. علاوه بر این، چالش‌های این تکنولوژی از جمله پیامدهای اخلاقی، حریم خصوصی و نظارتی این فناوری را بیان کرد و بر نیاز به حاکمیت قوی داده‌ها و همکاری میان رشته‌ای برای تحقق کامل قابلیت های این تکنولوژی تأکید کرد. در آخر، این مطالعه به بحث در مورد برخی از زمینه‌های بالقوه و کلیدی توسعه آینده این تکنولوژی پرداخت.

نتیجه‌گیری: الزامات، چالش‌ها، مزایا و سوگیری‌های آینده ارائه شده در این مطالعه می‌تواند به طراحی و پیاده سازی یک دوقلوی دیجیتال دقیق و هوشمند در حوزه سلامت کمک کند.

کلیدواژه‌ها: دوقلوی دیجیتال، همزاد دیجیتال، سلامت، هوش مصنوعی

[Downloaded from jhbmi.com on 2026-02-17]

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.25]

مقدمه

دوقلوی دیجیتال (DT) نشان دهنده یک پیشرفت تکنولوژیکی مهم با قابلیت ایجاد انقلابی در حوزه مراقبت‌های درمانی و بهداشتی و همچنین شیوه مراقبت از بیمار و تحقیقات پزشکی است [۱]. DT به یک کپی مجازی از یک عنصر فیزیکی اشاره دارد که این عنصر در حوزه سلامت می‌تواند یک بیمار، یک اندام، و یا حتی یک سیستم در یک بیمارستان باشد [۲]. این کپی مجازی به طور مداوم با داده‌های لحظه‌ای به روز می‌شود و می‌تواند سناریوهای مختلف را شبیه‌سازی کند، نتایج را پیش‌بینی کند، و برنامه‌های درمانی شخصی را ارائه دهد. مفهوم DT برای اولین بار در صنعت متولد شد، جایی که از آن برای بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و عملیات تعمیر و نگهداری استفاده شد [۲،۳]. اگرچه کاربرد آن در حوزه سلامت نسبتاً جدید است؛ اما با وجود پیشرفت در روش‌های جمع آوری داده، قدرت محاسباتی و هوش مصنوعی (AI(Artificial Intelligence به سرعت در حال گسترش است. استفاده و ادغام تکنولوژی اینترنت اشیا (Internet of Things)IoT، پرونده الکترونیک سلامت (EHR(Electronic Health Records و تکنیک های تصویربرداری پیشرفته امکان نظارت مستمر و دقیق بر بیماران را فراهم می‌کند که علاوه بر تسریع در همه‌گیری این تکنولوژی برای ایجاد یک DT دقیق ضروری است [۴].

در حوزه سلامت، DT این پتانسیل را دارد که همه چیز را از تشخیص و برنامه‌ریزی درمان گرفته تا شبیه‌سازی‌های جراحی و مدیریت بیماری‌های مزمن تغییر دهد. این تکنولوژی ارائه‌دهندگان خدمات سلامت و مراقبت‌های درمانی را قادر می‌سازد تا عوارض را پیش‌بینی کنند، مداخلات را متناسب با نیازهای بیمار انجام دهند و اثربخشی درمان را در زمان واقعی نظارت کنند. فراتر از مراقبت از بیمار، DT می‌تواند عملیات بیمارستان را بهینه کند، توسعه فناوری‌های جدید پزشکی را افزایش دهد و با ارائه محیط‌های مجازی برای آزمایش، تحقیقات را تسریع بخشد.

هدف این مطالعه، بررسی مزایا، چالش‌ها، الزامات پیاده‌سازی و جهت‌گیری‌های آینده این تکنولوژی در حوزه سلامت و درمان است.

مزایا

DTها در حوزه سلامت مزایای متعددی از جمله بهبود مراقبت از بیمار، افزایش بهره وری عملیاتی و تسریع تحقیقات پزشکی را ارائه می‌دهند. گسترش این مزایا منجر به نوآوری، بهینه‌سازی نتایج درمان، و هموار کردن راه برای شیوه‌های پزشکی نوین و مبتنی بر داده از جمله پزشکی شخصی‌سازی شده می‌شود. در این جا به برخی از مزایای کلیدی پیاده‌سازی DT در حوزه بهداشت و درمان اشاره خواهد شد:

۱- شخصی‌سازی خدمات پزشکی [۱۵]

- درمان‌های متناسب: DT امکان ایجاد نسخه‌های/کپی‌های مجازی از بیماران را فراهم می‌کنند. این موضوع می‌تواند برنامه‌های درمانی شخصی‌سازی شده را بر اساس داده‌های فیزیولوژیکی و ژنتیکی منحصربه‌فرد هر بیمار امکان‌پذیر کند.
- تجزیه و تحلیل با پیش‌بینی‌کننده: با شبیه‌سازی نحوه پاسخ بیمار به درمان‌های مختلف، ارائه‌دهندگان مراقبت‌های درمانی و بهداشتی می‌توانند نتایج را با دقت بیشتری پیش‌بینی کنند و درمان‌ها را بر اساس آن تنظیم کنند.

۲- افزایش دقت تشخیص [۱۶]

- شبیه‌سازی‌های جامع: DT ها می‌توانند داده‌ها را از منابع مختلف مانند تصویربرداری پزشکی، اطلاعات ژنتیکی و پرونده‌های سلامت الکترونیکی دریافت، ادغام و تجزیه و تحلیل کنند که منجر به تشخیص دقیق‌تر می‌شود.
- تشخیص زودهنگام: مدل‌های مبتنی بر DT می‌توانند با شناسایی الگوها و ناهنجاری‌هایی که ممکن است فوراً برای پزشکان قابل تشخیص نباشد، به تشخیص زودهنگام بیماری‌ها کمک کنند.

۳- بهبود برنامه‌ریزی درمان و نتایج آن [۱۷]

- شبیه‌سازی روش‌های جراحی: جراحان می‌توانند از DT برای برنامه‌ریزی و تمرین روش‌های پیچیده در یک محیط مجازی مبتنی بر واقعیت استفاده کنند که می‌تواند دقت جراحی را بهبود بخشد و خطرات را کاهش دهد.

[Downloaded from jhbmi.com on 2026-02-17]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.25]

- پیش‌بینی نتیجه: با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف درمانی، پزشکان و متخصصان می‌توانند مؤثرترین مداخلات را انتخاب کنند که به طور بالقوه باعث بهبود نتایج بیمار می‌شود.

۴- بهره وری عملیاتی [۵،۱۰]

- مدیریت منابع: بیمارستان‌ها می‌توانند با پیش‌بینی جریان بیمار و مدت زمان درمان هر بیمار با استفاده از DT به بهینه‌سازی استفاده از منابع، مانند اتاق‌های عمل و کادر پزشکی، مبادرت ورزند.
- تعمیر و نگهداری و ایمنی: DT ها با پیش‌بینی عملکرد و عمر تجهیزات و دستگاه‌ها می‌توانند از بهینه کار کردن آن‌ها اطمینان حاصل کرده و زمان خرابیشان را کاهش دهند.

۵- تحقیقات و نوآوری‌های پزشکی [۱۸،۱۹]

- توسعه دارو: محققان می‌توانند از DTها برای شبیه‌سازی اثرات داروهای جدید بر روی جمعیت بیماران مجازی استفاده کنند، روند توسعه را تسریع کنند و نیاز به آزمایش‌های بالینی گسترده را کاهش دهند.
- آزمایش‌های بالینی: DTها می‌توانند طراحی و اجرای آزمایش‌های بالینی را با ارائه بینش‌هایی در مورد تنوع بیمار و پاسخ‌های درمانی بالقوه بهبود بخشند.

۶- کاهش هزینه [۲۰]

- بهره وری: با بهینه‌سازی طرح‌های درمانی و فرآیندهای عملیاتی، DTها می‌توانند به کاهش هزینه‌ها کمک کنند.
- مراقبت‌های پیشگیرانه: تشخیص زودهنگام و درمان‌های شخصی‌سازی شده می‌تواند منجر به مراجعه کمتر به بیمارستان و زمان بهبودی کوتاه‌تر شود که در نهایت هزینه‌های کلی مراقبت‌های درمانی را کاهش می‌دهد.

۷- افزایش مشارکت و رضایت بیمار [۱۷،۲۱]

- تصمیم‌گیری آگاهانه: بیماران می‌توانند گزینه‌های درمانی و نتایج بالقوه را از طریق تجسم‌های ارائه شده توسط یک DT بهتر درک کنند و در رابطه با طرح درمان خود تصمیم آگاهانه‌تری بگیرند.
- نظارت مستمر: DTها می‌توانند نظارت مستمر و مدیریت پیشگیرانه سلامت را تسهیل کنند و منجر به بهبود رضایت و مشارکت بیمار شوند.

۸- آموزش و یادگیری [۱۷،۲۲]

- آموزش پزشکی: پزشکان و متخصصان می‌توانند از DTها برای اهداف آموزشی، تمرین رویه‌ها و بررسی سناریوهای بالینی مختلف در یک محیط بدون خطر استفاده کنند.
- آموزش بیمار: بیماران می‌توانند شرایط سلامتی و برنامه‌های درمانی خود را از طریق این تکنولوژی تجسم، بازبینی و بر آن‌ها نظارت کنند. این موضوع می‌تواند به درک ایشان از وضعیت سلامتیشان و رعایت دستورالعمل‌های درمانی کمک کند.

در آخر این که، DTها در حوزه سلامت رویکردی تحول‌آفرین برای مراقبت از بیمار، مدیریت عملیاتی و تحقیقات پزشکی ارائه می‌دهند و قابلیت بهبود قابل‌توجه نتایج مراقبت‌های درمانی را ارائه می‌دهند.

چالش‌ها

در حالی که DTها مزایای قابل توجهی را در حوزه سلامت و مباحث بهداشت و درمان ارائه می‌دهند، پیاده‌سازی آن‌ها نیز چالش‌های متعددی را به همراه دارد که باید برای تحقق کامل پتانسیل آن‌ها مورد توجه قرار گیرند. این چالش‌ها حوزه‌های فنی، اخلاقی و سازمانی را در بر می‌گیرند و غلبه بر آن‌ها نیازمند برنامه‌ریزی، همکاری و نوآوری دقیق است.

۱- یکپارچه‌سازی و مدیریت داده‌ها [۱۲،۲۳]

- منابع داده پیچیده: پیاده‌سازی یک DT موفق نیازمند داده‌های جامع و بروز از همزاد فیزیکی خودش است. ادغام انواع داده‌های مختلف (به عنوان مثال، سوابق پزشکی، داده‌های تصویربرداری، اطلاعات ژنتیکی) از سیستم‌های گوناگون می‌تواند پیچیده باشد.

[Downloaded from jhbmi.com on 2026-02-17]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.25]

- کیفیت داده‌ها: اطمینان از صحت و کامل بودن داده ها بسیار مهم است، زیرا خطاها می‌توانند به شبیه‌سازی‌ها و پیش‌بینی‌های نادرست منجر شوند.
- قابلیت همکاری/تعامل: سیستم‌ها و دستگاه‌های مختلف مراقبت‌های درمانی اغلب از شکل‌ها و استانداردهای گوناگون استفاده می‌کنند که تعامل این سیستم‌ها با همدیگر و یکپارچه‌سازی داده‌های آن‌ها ما را با چالش جدی رو به رو خواهد کرد.

۲- حریم خصوصی و امنیت [۹،۲۴]

- اطلاعات حساس: DTها شامل داده‌های بهداشتی و درمانی شخصی بسیار حساس هستند که نگرانی‌هایی را در مورد حفظ حریم خصوصی و حفاظت از این داده‌ها ایجاد می‌کند.
- خطرات امنیت سایبری: محافظت از DTها در برابر حملات سایبری برای جلوگیری از دسترسی غیرمجاز و نقض امنیت داده‌ها چالش دیگری است که باید به آن توجه شود.

۳- پیچیدگی محاسباتی [۱۶،۲۵]

- نیازهای محاسباتی بالا: ایجاد و نگهداری DTهای دقیق به قدرت محاسباتی قابل توجه و پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیچیده نیاز دارد که بتوانند حجم زیادی از داده‌ها را در زمانی کوتاه پردازش کنند.
- پردازش لحظه‌ای: برای کاربردهای بلادرنگ و لحظه‌ای، اطمینان از این‌که شبیه‌سازی‌ها و تجزیه و تحلیل‌ها به اندازه کافی سریع انجام می‌شوند تا در حوزه بالینی مفید باشند، یک چالش پراهمیت محسوب می‌شود.

۴- موانع فنی و عملیاتی [۱۰،۲۶]

- زیرساخت: طراحی، پیاده‌سازی و اجرای فناوری DT مستلزم سرمایه گذاری قابل توجهی در زیرساخت‌های حوزه انفورماتیک و فناوری اطلاعات از جمله سخت‌افزار، نرم‌افزار و قابلیت‌های شبکه است.
- تخصص فنی: توسعه و نگهداری فناوری DT نیاز به دانش تخصصی در زمینه‌هایی مانند علم داده، یادگیری ماشین، و مهندسی زیست پزشکی دارد که گردآوری همه این تخصص‌ها و تعامل آن‌ها با یکدیگر چالش برانگیز خواهد بود.

۵- مقررات و مسائل اخلاقی [۲۷]

- انطباق با مقررات: اطمینان از انطباق با مقررات مراقبت‌های درمانی و بهداشتی (به عنوان مثال، HIPAA در ایالات متحده [۲۸]، GDPR در اروپا [۲۹]) امری ضروری است که می‌تواند پیچیده باشد.
- نگرانی‌های اخلاقی: استفاده از DT سؤالات اخلاقی را در مورد مالکیت داده، رضایت و احتمال سوء استفاده از اطلاعات ایجاد می‌کند که باید یک راهکار اصولی برای آن در نظر گرفته شود.

۶- اعتبار سنجی و قابلیت اطمینان [۱۶،۳۰،۳۱]

- دقت مدل: اطمینان از این که DTها نماینده‌های (Representative) دقیقی از بیماران و سیستم‌های سلامت در دنیای واقعی باشند بسیار مهم است. مدل‌های نادرست می‌تواند منجر به تشخیص، درمان، و برنامه‌ریزی نادرست شود.
- به روز رسانی مداوم: DTها باید به طور مداوم و لحظه ای با داده‌های جدید به روز شوند تا دقیق باقی بمانند و نیاز به نظارت و تنظیم مداوم دارند.

۷- هزینه و تخصیص منابع [۳۲]

- سرمایه‌گذاری اولیه: هزینه پیاده‌سازی و توسعه فناوری DT می تواند بسیار زیاد وسنگین باشد، به ویژه برای ارائه‌دهندگان کوچک حوزه سلامت و مراقبت‌های درمانی و بهداشتی.
- تخصیص منابع: تخصیص منابع برای توسعه و نگهداری DT می‌تواند چالش برانگیز باشد، به‌خصوص برای شرکت‌ها و ارائه‌دهندگان مراقبت‌های درمانی با محدودیت منابع.

۸- پذیرش [۳۳]

[Downloaded from jhbmi.com on 2026-02-17]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.25]

- پذیرش بالینی: متخصصان مراقبت‌های درمانی و بهداشتی ممکن است در به کارگیری این فناوری بدون حصول اطمینان از مزایا و قابلیت‌های آن مردد باشند.
- اعتماد بیمار: ایجاد اعتماد در بیمار در استفاده از این فناوری ضروری است، زیرا نگرانی در مورد حفظ حریم خصوصی و دقت داده ها ممکن است مانع پذیرش این تکنولوژی توسط بیمار شود.

۹- استانداردسازی [۴]

- فقدان استانداردها: عدم وجود پروتکل‌های استاندارد برای ایجاد، توسعه و استفاده از DT می تواند منجر به ناهماهنگی و مانع از قابلیت همکاری، توسعه و استفاده از این فناوری شود.
- توسعه شیوه نامه های مؤثر: ایجاد شیوه نامه و دستورالعمل‌های کاربردی و مؤثر برای تسهیل‌سازی در جهت پیاده‌سازی و استفاده از DT در حوزه مراقبت‌های درمانی و بهداشتی ضروری است.

در نتیجه، در حالی که DTها پتانسیل ایجاد انقلابی در مراقبت‌های درمانی و بهداشتی را دارند، پرداختن به این چالش‌ها برای اجرای موفقیت آمیز و پذیرش گسترده آن‌ها بسیار مهم است.

ملزومات پیاده‌سازی DT

پیاده‌سازی DT در حوزه سلامت شامل چندین نیاز کلیدی است که برای اطمینان از ادغام موفقیت‌آمیز، عملکرد یکپارچه و حداکثر سود برای بیماران و ارائه‌دهندگان مراقبت‌های درمانی و بهداشتی ضروری است. این ضرورت‌ها شامل طیف وسیعی از ملاحظات فنی، عملیاتی و اخلاقی است که باید برای ایجاد DT های قوی، قابل اعتماد و مقیاس پذیر مورد توجه قرار گیرند. در این جا به نیازهای حیاتی برای پیاده‌سازی DT در حوزه مراقبت‌های درمانی و بهداشتی اشاره خواهد شد.

۱- جمع آوری و یکپارچه‌سازی داده‌ها [۵]

- منابع جامع داده: جمع‌آوری داده‌ها از سوابق الکترونیکی سلامت (EHR)، تصویربرداری پزشکی، پوشیدنی‌ها، دستگاه‌های اینترنت اشیاء و سایر منابع.
- قابلیت همکاری داده‌ها: اطمینان از یکپارچگی در سیستم ها و پلتفرم های مختلف.
- جریان داده در زمان واقعی: تسهیل به روزرسانی در زمان واقعی برای DT برای شبیه سازی و نظارت دقیق

۲- تجزیه و تحلیل پیشرفته و هوش مصنوعی [۶،۷]

- مدل‌های یادگیری ماشین: توسعه مدل‌های پیش‌بینی‌کننده که می‌توانند مجموعه‌های داده بزرگ را برای شناسایی الگوها و پیش‌بینی نتایج در زمان کوتاه تحلیل کنند.
- قابلیت‌های شبیه‌سازی: استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف و تأثیرات آن‌ها بر DT.
- شخصی سازی: طراحی مدل‌ها برای هر بیمار با هدف شخصی‌سازی مراقبت‌های درمانی و بهداشتی

۳- زیرساخت محاسباتی [۸]

- محاسبات با کارایی بالا: استفاده از منابع محاسباتی قدرتمند برای پردازش و شبیه‌سازی داده‌ها در مقیاس بزرگ
- خدمات ابری: استفاده از پلتفرم های مبتنی بر فضای ابری برای مقیاس پذیری، ذخیره‌سازی و قدرت پردازش
- ۴- امنیت سایبری و حریم خصوصی [۹]
  - امنیت داده‌ها: تضمین اقدامات امنیتی قوی برای محافظت از اطلاعات حساس سلامت
  - انطباق: رعایت مقرراتی مانند HIPAA (قانون قابل حمل و پاسخگویی بیمه سلامت) برای حفظ حریم خصوصی داده‌ها
  - رضایت کاربر: کسب رضایت بیمار برای استفاده از داده‌ها و اطمینان از شفافیت آن

۵- همکاری میان رشته‌ای [۱۰]

- متخصصان مراقبت‌های درمانی و بهداشتی: همکاری پزشکان، پرستاران و سایر ارائه‌دهندگان مراقبت‌های درمانی و بهداشتی برای اطمینان از همسویی DT با نیازهای بالینی
- دانشمندان فناوری اطلاعات و داده‌ها: درگیر کردن کارشناسان فنی برای توسعه و حفظ زیرساخت‌های DT

[Downloaded from jhbmi.com on 2026-02-17]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.25]

- پژوهشگران: همکاری با محققان دانشگاهی و صنعتی برای پیشبرد فناوری و تأیید کارایی DT

۶- رابط کاربری و تجربه کاربر [۱۱،۱۲]

- رابط‌های بصری: طراحی رابط های کاربر پسند برای متخصصان مراقبت‌های درمانی و بهداشتی برای تعامل با DT
- آموزش و پشتیبانی: ارائه آموزش کافی و پشتیبانی مداوم برای کاربران برای استفاده مؤثر از DT
- ابزارهای تجسم‌سازی: استفاده از تکنولوژی و پیاده‌سازی تکنیک‌های تجسم‌سازی پیشرفته برای ارائه با کیفیت داده‌ها و نتایج شبیه‌سازی

۷- برنامه‌های پایلوت و آزمایشی [۱۲،۱۳]

- نمونه‌سازی: توسعه پروژه‌های آزمایشی برای آزمایش DT در حوزه مراقبت‌های درمانی و بهداشتی در دنیای واقعی
- توسعه تکراری: بهبود مستمر سیستم بر اساس بازخورد و معیارهای عملکرد
- اعتبارسنجی: انجام مطالعات اعتبارسنجی دقیق برای اطمینان از صحت و قابلیت اطمینان

۸- برنامه‌ریزی مالی و استراتژیک [۵]

- سرمایه گذاری: تأمین بودجه برای راه‌اندازی اولیه و نگهداری مداوم سیستم‌های DT
- تجزیه و تحلیل هزینه و فایده: ارزیابی پیامدهای مالی و بازگشت بالقوه سرمایه گذاری
- اهداف استراتژیک: همسویی اجرا با اهداف استراتژیک گسترده تر سازمان بهداشت و درمان

۹- ملاحظات قانونی و اخلاقی [۱۲]

- استانداردهای اخلاقی: پرداختن به مسائل اخلاقی مربوط به استقلال بیمار، استفاده از داده ها و سوگیری‌های احتمالی در مدل‌های هوش مصنوعی
- تأیید مقررات: نظارتی دقیق و مستمر برای اطمینان از انطباق با مقررات ملی و بین‌المللی مراقبت‌های بهداشتی
- تعامل با ذی‌نفعان: درگیر کردن ذینفعان، از جمله بیماران، برای ایجاد اعتماد و رفع نگرانی‌ها

۱۰- مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری [۱۴]

- طراحی مقیاس پذیر (مدولار): توسعه یک معماری مقیاس پذیر که می‌تواند مقیاس و سازگاری با تنظیمات و سیستم‌های مختلف مراقبت‌های درمانی و بهداشتی داشته باشد.
- سازگاری: اطمینان از این که DT می‌تواند با پیشرفت‌های تکنولوژیکی و تغییر نیازهای مراقبت‌های درمانی و بهداشتی تکامل یابد.
- قابلیت همکاری: حفظ سازگاری با منابع داده جدید و فناوری‌های نوین حوزه درمان

DT این قابلیت را دارد که حوزه سلامت را به طور بنیادی دستخوش تغییرات قرار دهد، اما بسیاری از کاربردهای عملی این تکنولوژی هنوز در مراحل اولیه خود هستند که نیاز به تحقیق و ارزیابی بیشتر دارند. فعالان حوزه سلامت نیز باید برای فراهم‌سازی بهتر خدمات درمانی خود را با تکنولوژی‌های جدید همگام و با آن ها سازگار شوند.

آینده DT

آینده DT در مراقبت‌های درمانی و بهداشتی بسیار امیدوارکننده است. با پیشرفت فناوری انتظار می‌رود DT ها پیچیده‌تر، دقیق‌تر و به صورت ادغام‌شده‌تر در فرآیندهای روزمره درمانی استفاده شوند. این پیشرفت‌ها احتمالاً به درمان‌های شخصی‌سازی‌شده‌تر، پیش‌بینی‌کننده‌های دقیق‌تر و فرآیندهای درمانی و بهداشتی ساده‌تر منجر می‌شوند و یک سیستم درمانی کارآمدتر و بیمار محور را شکل می‌دهند. در ادامه این بخش، برخی از زمینه‌های بالقوه و کلیدی توسعه آینده DT را بحث خواهیم کرد.

۱- ادغام با هوش مصنوعی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین [۴،۳۴،۳۵،۳۶]

[Downloaded from jhbmi.com on 2026-02-17]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.25]

- تجزیه و تحلیل پیشرفته: الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین را می‌توان با DT ادغام کرد تا دقت پیش‌بینی‌ها و شبیه‌سازی‌ها را بهبود بخشد و امکان تشخیص دقیق‌تر و برنامه‌های درمانی شخصی‌سازی شده‌تر را فراهم کند.
- به‌روزرسانی‌های خودکار: هوش مصنوعی می‌تواند به خودکارسازی به‌روزرسانی مداوم و لحظه‌ای DT با داده‌های جدید کمک کند و اطمینان حاصل کند که داده‌ها همواره دقیق و مرتبط باقی می‌مانند.

۲- نظارت و مداخله در زمان واقعی [۳۱،۳۷]

- نظارت لحظه‌ای و مداوم بر سلامت: از DT می‌توان برای نظارت بر وضعیت سلامت بیماران به صورت لحظه‌ای و مداوم استفاده کرد که امکان تشخیص زودهنگام اختلالات سلامتی و مداخلات به موقع را برای پزشکان و متخصصان فراهم می‌کند.
- مدیریت بیمار از راه دور: با پیشرفت‌های IoT و فناوری‌های پوشیدنی (مانند ساعت‌های هوشمند)، DT می‌تواند نظارت و مدیریت بیمار از راه دور را تسهیل کند و نیاز به مراجعه مکرر به بیمارستان را کاهش دهد.

۳- گسترش و توسعه DT در حوزه مراقبت‌های درمانی و پیشگیرانه [۱۹،۳۲]

- مدل‌های پیش‌بینی‌کننده سلامت: DT را می‌توان برای پیش‌بینی مسائل بالقوه سلامت قبل از بروز آن‌ها مورد استفاده قرار داد، که امکان اقدامات پیشگیرانه و اصلاح شیوه زندگی را برای بهبود نتایج درازمدت سلامت فراهم می‌کند.
- برنامه‌های سلامت شخصی: بر اساس داده‌های سلامت فردی، DT ها می‌توانند به طراحی برنامه‌های سلامت شخصی متناسب با نیازها و شرایط خاص هر فرد کمک کنند.

۴- ادغام با ژنومیکس و شخصی‌سازی داروها [۱۵،۳۸،۳۹]

- ادغام داده‌های ژنومی: ترکیب داده‌های ژنومی هر فرد با DT می‌تواند باعث افزایش درک بهتر از ساختار ژنتیکی آن فرد شود که خود باعث بهبود برنامه‌های درمان شخصی خواهد شد.
- فارماکوژنومیک: DT را می‌توان برای شبیه‌سازی پاسخ‌های دارویی بر اساس پروفایل‌های ژنتیکی افراد طراحی و استفاده کرد که می‌تواند منجر به بهینه‌سازی انتخاب دارو و دوز تجویزی برای هر بیمار شود.

۵- پیشرفت در تمرین و آموزش پزشکی [۱۷،۲۲]

- ترکیب با شبیه‌سازهای واقعیت مجازی: ترکیب DT با فناوری واقعیت مجازی-VR می‌تواند محیط‌های آموزشی همه جانبه ای را برای متخصصان پزشکی ایجاد کند، مهارت‌ها را بهبود بخشد و هزینه‌های آموزشی را کاهش دهد.
- مدل‌های آموزشی استاندارد: DTها می‌توانند مدل‌های آموزشی استاندارد شده، واقعی و دقیقی را از قل فیزیکی ارائه دهند که می‌توانند در سراسر مؤسسات برای اطمینان از صحت و دقت آموزش استفاده شوند.

۶- استفاده در برنامه‌ریزی‌های جراحی و جراحی‌های رباتیکی [۴۰،۴۱]

- جراحی رباتیک: DTها می‌توانند با ارائه داده‌های خاص بیمار به صورت لحظه‌ای و همچنین ساخت مدل‌های دقیق بایولوژیکی از هر فرد، دقت و نتایج جراحی رباتیکی را بهبود بخشند.
- شبیه‌سازی‌های قبل از جراحی: جراحان می‌توانند از DT برای برنامه‌ریزی و تمرین جراحی‌های پیچیده، کاهش خطرات و بهبود میزان موفقیت عمل استفاده کنند.

۷- ادغام با پرونده الکترونیک سلامت (EHR) [۱۷]

- جریان یکپارچه داده: ادغام DT با سیستم‌های EHR می‌تواند جریان یکپارچه داده را تضمین کند و قل دیجیتالی را با داده‌های پرونده الکترونیک به صورت خودکار و لحظه ای به روزرسانی کرده و هماهنگی بین مراقبت و تصمیم‌گیری را افزایش دهد.
- بهبود تجزیه و تحلیل داده: با استفاده از داده‌های درون EHR، DTها می‌توانند تجزیه و تحلیل عمیق‌تر و دقیق‌تری در مورد روند و نتایج سلامت بیمار ارائه دهند.

۸- توسعه و تدوین چارچوب‌های قانونی و اخلاقی [۴]

- توسعه استانداردها: ایجاد پروتکل‌های نوین و استاندارد برای ایجاد و استفاده از DT می‌تواند پذیرش گسترده این تکنولوژی را در میان عامه مردم و قابلیت همکاری این تکنولوژی را با سایر سیستم‌ها و فناوری‌ها تسهیل کند.

[Downloaded from jhbmi.com on 2026-02-17]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.25]

- دستورالعمل‌های اخلاقی: تدوین دستورالعمل‌های اخلاقی برای استفاده از DT، به ویژه در مورد حفظ حریم خصوصی داده‌ها و رضایت بیمار، برای رسیدگی به نگرانی‌های اجتماعی و ایجاد اعتماد در بیماران حوزه دیگری است که می‌توان روی آن کار کرد.

۹- تحقیق و توسعه مشارکتی [۴۲]

- پایگاه‌های داده مشترک: یکی دیگر از حوزه‌های کاری DT در آینده این است که می‌توان پایگاه‌های داده مشترک مدل‌های DT را توسعه داد و محققان را قادر ساخت تا بینش‌های خود را به اشتراک بگذارند و اکتشافات و نوآوری‌های حوزه درمان و پزشکی را تسریع بخشند.

۱۰- توانمندسازی و مشارکت بیمار [۱۷،۴۳]

- پورتال‌های تعاملی بیماران: با ایجاد و راه اندازی این پورتال‌های آنلاین بیماران می‌توانند از طریق آن‌ها با DT خود ارتباط برقرار کنند و درک بهتری از گزینه‌های سلامت و درمان خود به دست آورند.
- تصمیم‌گیری آگاهانه: در آینده با توسعه پروتکل‌های استاندارد و پورتال‌های تعاملی می‌توان به توانمندسازی بیماران با اطلاعات DT مبادرت ورزید که می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر و مشارکت فعال بیماران در بحث مراقبت‌های درمانی شود.

۱۱- اقدامات بهداشت جهانی [۱۲،۴۴]

- پرداختن به نابرابری‌های آموزشی، درمانی و بهداشتی: تکنولوژی DT می‌تواند برای رسیدگی به نابرابری‌های آموزش و سلامت در جمعیت‌های مختلف استفاده شود و دسترسی و نتایج عادلانه‌تر را برای نظام بهداشت و درمان به ارمغان آورد.
- آمادگی برای بیماری‌های همه گیر: در طول همه‌گیری‌ها، DTها می‌توانند گسترش بیماری‌ها را مدل کنند و تأثیر مداخلات مختلف را ارزیابی کنند و به تصمیم گیری در مورد اقدامات و پاسخ‌های مؤثر در سلامت عمومی کمک کنند.

به طور خلاصه، آینده DT در مراقبت‌های درمانی و بهداشتی احتمالاً با یکپارچگی بیشتر با فناوری‌های پیشرفته، شخصی‌سازی بیشتر، بهبود آموزش و کارایی عملیاتی، و چارچوب‌های اخلاقی و نظارتی قوی گره خورده است. این پیشرفت‌ها پتانسیل بهبود قابل‌توجه نتایج بیمار، کاهش هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی و ایجاد نوآوری در تحقیقات و عمل پزشکی را به همراه خواهند داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

فناوری دوقلوی دیجیتال پتانسیل بسیار زیادی برای تغییر مراقبت‌های درمانی و بهداشتی با فعال کردن پزشکی شخصی، بهبود نتایج جراحی، مدیریت بیماری‌های مزمن و بهینه‌سازی عملیات بیمارستانی دارد. ادغام این تکنولوژی با هوش مصنوعی قابلیت‌های آن را بیشتر می‌کند و قابلیت‌های پیش‌بینی‌کننده و تحلیل‌های پیشرفته را ارائه می‌دهد. با این حال، پرداختن به چالش‌های اخلاقی، حریم خصوصی و مقرراتی برای پذیرش موفقیت‌آمیز این فناوری بسیار مهم و ضروری است. تحقیقات در حال انجام، همکاری بین رشته‌ای و توسعه چارچوب‌های مقرراتی قوی برای مؤثرتر کردن قابلیت‌های کامل این تکنولوژی در حوزه مراقبت‌های درمانی و بهداشتی ضروری است. با پذیرش این فناوری نوظهور، سیستم‌های مراقبت درمانی و بهداشتی می‌توانند مراقبت از بیمار را افزایش دهند و بهینه کنند، کارایی را بهبود بخشند و تحقیقات پزشکی را به جلو ببرند.

DT این قابلیت را دارد که حوزه سلامت را به طور بنیادی دستخوش تغییرات قرار دهد، اما بسیاری از کاربردهای عملی این تکنولوژی هنوز در مراحل اولیه خود هستند که نیاز به تحقیق و ارزیابی بیشتر دارند. فعالان حوزه سلامت نیز باید برای فراهم‌سازی بهتر خدمات درمانی خود را با تکنولوژی‌های جدید همگام و با آن‌ها سازگار شوند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

حمایت مالی

این طرح هیچ گونه حمایت مالی نداشته است.

[Downloaded from jhbmi.com on 2026-02-17]

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.25]

کد اخلاق

این مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی کرمان با کد IR.KMU.REC.1403.447 مورد تأیید قرار گرفت.

سهم مشارکت نویسندگان

نویسنده اول مقالات مرتبط را جمع اوری، تحلیل و متن مقاله را نوشته است. نویسنده دوم مقاله را مرور و ویرایش نموده است.

References

[1]. Björnsson B, Borrebaeck C, Elander N, Gasslander T, Gawel DR, Gustafsson M, et al. Digital twins to personalize medicine. Genome Med 2019;12(1):4. doi: 10.1186/s13073-019-0701-3.
[2]. Singh M, Fuenmayor E, Hinchy EP, Qiao Y, Murray N, Devine D. Digital twin: Origin to future. Appl Syst Innov 2021;4(2): 36. https://doi.org/10.3390/asi4020036
[3]. Rafsanjani HN, Nabizadeh AH. Towards digital architecture, engineering, and construction (AEC) industry through virtual design and construction (VDC) and digital twin. Energy and Built Environment 2023;4(2):169-78. doi:10.1016/j.enbenv.2021.10.004
[4]. Fuller A, Fan Z, Day C, Barlow C. Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. IEEE Access 2020;8:108952-71. doi:10.1109/ACCESS.2020.2998358
[5]. Mohamed N, Al-Jaroodi J, Jawhar I, Kesserwan N. Leveraging digital twins for healthcare systems engineering. IEEE Access 2023; 69841 –53. doi: 10.1109/ACCESS.2023.3292119
[6]. Sahal R, Alsamhi SH, Brown KN. Personal digital twin: a close look into the present and a step towards the future of personalised healthcare industry. Sensors (Basel) 2022;22(15):5918. doi: 10.3390/s22155918
[7]. Angulo C, Gonzalez-Abril L, Raya C, Ortega JA. A proposal to evolving towards digital twins in healthcare. International Work-Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering 2020 Apr 30 Cham: Springer International Publishing; 2020. p. 418-26.
[8]. Liu Y, Zhang L, Yang Y, Zhou L, Ren L, Wang F, et al. A novel cloud-based framework for the elderly healthcare services using digital twin. IEEE Access 2019;7:49088-101. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909828
[9]. Jørgensen CS, Shukla A, Katt B. Digital Twins in Healthcare: Security, Privacy, Trust and Safety Challenges. InEuropean Symposium on Research in Computer Security; 2023 Sep 25; Cham: Springer Nature Switzerland; 2023. p. 140-53.
[10]. Elkefi S, Asan O. Digital twins for managing health care systems: rapid literature review. J Med Internet Res 2022;24(8):e37641. doi: 10.2196/37641
[11]. Schwartz SM, Wildenhaus K, Bucher A, Byrd B. Digital twins and the emerging science of self: implications for digital health experience design and "small" data. Frontiers in Computer Science 2020;2:31. https://doi.org/10.3389/fcomp.2020.00031
[12]. Armeni P, Polat I, De Rossi LM, Diaferia L, Meregalli S, Gatti A. Digital twins in healthcare: is it the beginning of a new era of evidence-based medicine? A critical review. J Pers Med 2022;12(8):1255. doi: 10.3390/jpm12081255
[13]. De Maeyer C, Markopoulos P. Future outlook on the materialisation, expectations and implementation of Digital Twins in healthcare. 34th British HCI Conference; 2021 Jul 20-21; UK: BCS Learning & Development; 2021. p. 180-91.
[14]. Mashaly M. Connecting the twins: A review on digital twin technology & its networking requirements. Procedia Computer Science 2021;184:299-305. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.039
[15]. Kamel Boulos MN, Zhang P. Digital twins: from 10ersonalized medicine to precision public health. J Pers Med 2021;11(8):745. doi: 10.3390/jpm11080745
[16]. Ahmadi-Assalemi G, Al-Khateeb H, Maple C, Epiphaniou G, Alhaboby ZA, Alkaabi S, Alhaboby D. Digital Twins for Precision Healthcare. Cyber Defence in the Age of AI, Smart Societies and Augmented Humanity. Cham: Springer; 2020. p.133-58. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35746-7_8
[17]. Vallée A. Digital twin for healthcare systems. Front Digit Health 2023:5:1253050. doi: 10.3389/fdgth.2023.1253050
[18]. Venkatesh KP, Brito G, Kamel Boulos MN. Health digital twins in life science and health care innovation. Annu Rev Pharmacol Toxicol 2024:64:159-170. doi: 10.1146/annurev-pharmtox-022123-022046
[19]. Erol T, Mendi AF, Doğan D. The digital twin revolution in healthcare. 4th international symposium on multidisciplinary studies and innovative technologies (ISMSIT); 2020 Oct 22; Istanbul, Turkey: IEEE; 202. p. 1-7. doi: 10.1109/ISMSIT50672.2020.9255249
[20]. Popa EO, van Hilten M, Oosterkamp E, Bogaardt MJ. The use of digital twins in healthcare: socio-ethical benefits and socio-ethical risks. Life Sci Soc Policy 2021;17(1):6. doi: 10.1186/s40504-021-00113-x

[Downloaded from jhbmi.com on 2026-02-17]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.25]

[21]. Blasiak A, Sapanel Y, Leitman D, Ng WY, De Nicola R, Lee VV, et al. Omnichannel communication to boost patient engagement and behavioral change with digital health interventions. J Med Internet Res 2022;24(11):e41463. doi: 10.2196/41463
[22]. Maddahi Y, Chen S. Applications of digital twins in the healthcare industry: case review of an IoT-enabled remote technology in dentistry. Virtual Worlds 2022; 1(1): 20-41. https://doi.org/10.3390/virtualworlds1010003
[23]. Croatti A, Gabellini M, Montagna S, Ricci A. On the integration of agents and digital twins in healthcare. J Med Syst 2020;44(9):161. doi: 10.1007/s10916-020-01623-5
[24]. Al-Dalati I. Digital twins and cybersecurity in healthcare systems. Digital Twin for Healthcare 2023.195-221. https://doi.org/10.1016/B978-0-32-399163-6.00015-9
[25]. Rasheed A, San O, Kvamsdal T. Digital twin: Values, challenges and enablers. arXiv preprint arXiv:1910.01719. 2019. https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.01719
[26]. Winter PD, Chico TJ. Using the non-adoption, abandonment, scale-up, spread, and sustainability (NASSS) framework to identify barriers and facilitators for the implementation of digital twins in cardiovascular medicine. Sensors 2023;23(14):6333. doi: 10.3390/s23146333
[27]. Huang PH, Kim KH, Schermer M. Ethical issues of digital twins for personalized health care service: preliminary mapping study. J Med Internet Res 2022;24(1):e33081. doi: 10.2196/33081
[28]. Ness RB, Joint Policy Committee, Societies of Epidemiology. Influence of the HIPAA privacy rule on health research. JAMA 2007;298(18):2164-70. doi: 10.1001/jama.298.18.2164
[29]. Voigt P, Von dem Bussche A. The EU General Data Protection Regulation (GDPR): A Practical Guide. 1st ed. Cham: Springer; 2017. doi:10.1007/978-3-319-57959-7
[30]. Juarez MG, Botti VJ, Giret AS. Digital twins: Review and challenges. J Comput Inf Sci Eng 2021;21(3):030802. https://doi.org/10.1115/1.4050244
[31]. Sun T, He X, Song X, Shu L, Li Z. The digital twin in medicine: a key to the future of healthcare?. Front Med (Lausanne) 2022;9:907066. doi: 10.3389/fmed.2022.907066
[32]. Sun T, He X, Li Z. Digital twin in healthcare: Recent updates and challenges. Digit Health 2023:9:20552076221149651. doi: 10.1177/20552076221149651
[33]. Vidovszky AA, Fisher CK, Loukianov AD, Smith AM, Tramel EW, Walsh JR, et al. Increasing acceptance of AI-generated digital twins through clinical trial applications. Clin Transl Sci 2024;17(7):e13897. doi: 10.1111/cts.13897
[34]. Aydın Ö, Karaarslan, E. OpenAI ChatGPT Generated Literature Review: Digital Twin in Healthcare. In Ö. Aydın (Ed.), Emerging Computer Technologies. İzmir Akademi Dernegi; 2022. p. 22-31. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4308687
[35]. Nabizadeh Rafsanjani H, Nabizadeh AH. Towards human-centered artificial intelligence (AI) in architecture, engineering, and construction (AEC) industry. Computers in Human Behavior Reports 2023:100319. https://doi.org/10.1016/j.chbr.2023.100319
[36]. Nabizadeh A. Artificial intelligence in healthcare. Journal of Health and Biomedical Informatics 2022;9(3):193-5. [In Persian] doi: 10.34172/jhbmi.2022.08
[37]. Elayan H, Aloqaily M, Guizani M. Digital twin for intelligent context-aware IoT healthcare systems. IEEE Internet of Things Journal 2021;8(23):16749-57. doi: 10.1109/JIOT.2021.3051158
[38]. Meijer C, Uh HW, El Bouhaddani S. Digital twins in healthcare: Methodological challenges and opportunities. J Pers Med 2023;13(10):1522. doi: 10.3390/jpm13101522
[39]. Lonsdale H, Gray GM, Ahumada LM, Yates HM, Varughese A, Rehman MA. The perioperative human digital twin. Anesth Analg 2022;134(4):885-92. doi: 10.1213/ANE.0000000000005916
[40]. Mazumder A, Sahed MF, Tasneem Z, Das P, Badal FR, Ali MF, et al. Towards next generation digital twin in robotics: Trends, scopes, challenges, and future. Heliyon 2023;9(2): e13359. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13359
[41]. Hein J, Giraud F, Calvet L, Schwarz A, Cavalcanti NA, Prokudin S, et al. Creating a Digital Twin of Spinal Surgery: A Proof of Concept. InProceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition; 2024. p. 2355-64. https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.16736
[42]. Akash SS, Ferdous MS. A blockchain based system for healthcare digital twin. IEEE Access 2022;10:50523-47. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3173617
[43]. Voigt I, Inojosa H, Dillenseger A, Haase R, Akgün K, Ziemssen T. Digital twins for multiple sclerosis. Frontiers in Immunology 2021;12:669811. https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.669811
[44]. Eumi EM. A systematic review of Digital Twins in efficient pandemic management with challenges and emerging trends. Decision Analytics Journal 2024:100502. https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100502

[Downloaded from jhbmi.com on 2026-02-17]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.25]