

توتوریال جامع: بازهدف گذاری دارو (Drug Repurposing) و اصول کلیدی آن

مقدمه: چرا بازهدف گذاری دارو اهمیت دارد؟

کشف و توسعه یک داروی جدید از ابتدا فرآیندی بسیار طولانی، پرهزینه و با ریسک شکست بالاست که معمولاً بیش از ۱۰ تا ۱۵ سال زمان و میلیاردها دلار هزینه نیاز دارد (همانطور که در شرح فرآیند Drug Discovery and Development اشاره شد). بسیاری از مولکول‌ها در مراحل اولیه یا حتی در آزمایش‌های بالینی شکست می‌خورند. بازهدف گذاری دارو (Drug Repurposing) یا بازاستفاده دارو (Drug Repositioning) به معنی استفاده از داروهای موجود است که قبلاً برای بیماری خاصی تأیید شده‌اند یا حداقل مراحل ایمنی اولیه را گذرانده‌اند، برای درمان بیماری‌های دیگری که قبلاً برای آن‌ها در نظر گرفته نشده بودند.

مزایای کلیدی بازهدف گذاری دارو:

- کاهش چشمگیر هزینه‌ها: بسیاری از آزمایش‌های ایمنی اولیه و مراحل پیش‌بالینی حذف می‌شوند.
- کوتاه‌تر شدن زمان توسعه: مسیر توسعه دارو سریع‌تر طی می‌شود، زیرا اطلاعات زیادی درباره ایمنی، فارماکوکینتیک و فارماکودینامیک دارو از قبل وجود دارد.
- ریسک کمتر: دارو قبلاً در انسان تست شده و مشخصات ایمنی آن تا حد زیادی مشخص است.
- دسترسی سریع‌تر به درمان: به‌خصوص در شرایط اضطراری (مانند پاندمی‌ها) یا برای بیماری‌های نادر که توسعه دارو برای آن‌ها اقتصادی نیست.

بخش اول: رویکردهای اصلی در بازهدف گذاری دارو

به‌طور کلی، بازهدف گذاری دارو را می‌توان بر اساس نحوه شناسایی کاندیدها به رویکردهای مختلفی تقسیم کرد:

۱. رویکرد مبتنی بر فنوتیپ (Phenotype-based Drug Repurposing)

- تعریف: این رویکرد بر مشاهده تأثیر یک دارو بر فنوتیپ (ظاهر، رفتار سلولی، علائم بیماری) خاصی از بیماری تمرکز دارد، بدون اینکه لزوماً مکانیسم دقیق مولکولی آن شناخته شده باشد.
- نحوه کار: از سیستم‌های تجربی مانند مدل‌های سلولی یا حیوانی بیماری استفاده می‌شود و اثر دارو بر بهبود یا تغییر فنوتیپ بیماری بررسی می‌شود. داده‌های بالینی (Real-World Evidence) نیز می‌توانند در این رویکرد نقش داشته باشند (مانند مشاهده اثر جانبی مثبت یک دارو).
- ویژگی‌ها:
 - تمرکز بر نتایج مشاهده‌ای (فنوتیپ).

- گاهی اوقات مکانیزم دقیق شناخته شده نیست.
- متکی بر آزمایش‌های آزمایشگاهی و بالینی.
- **مثال موفق: تالیدومید (Thalidomide)** که ابتدا برای تهوع بارداری استفاده می‌شد، اما بعدها به دلیل مشاهده اثرات ضدالتهابی و ضدسرطانی آن برای درمان میلوم متعدد و بیماری لپره بازهدف‌گذاری شد.

۲. رویکرد مبتنی بر دانش/داده (Knowledge-based / Data-driven Drug Repurposing)

- **تعریف:** این رویکرد بر اساس تحلیل داده‌های حجیم و دانش موجود در مورد بیماری‌ها، مسیرهای زیستی، اهداف مولکولی و داروها انجام می‌شود. هدف شناسایی داروهایی است که با توجه به اطلاعات مولکولی، می‌توانند مسیرهای مرتبط با بیماری را هدف قرار دهند یا تغییر دهند.
- **نحوه کار:** از پایگاه‌های داده بزرگ، ابزارهای بیوانفورماتیک و روش‌های محاسباتی برای تحلیل داده‌های Omics (ژنومیکس، پروتئومیکس، متابولومیکس) و داده‌های بالینی استفاده می‌شود تا ارتباطات جدید بین داروها و بیماری‌ها کشف شود.
- **ویژگی‌ها:**
 - متکی بر داده‌های مولکولی و بیوانفورماتیک.
 - تحلیل شبکه‌های زیستی و مسیرهای مولکولی.
 - استفاده گسترده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین.
- **مثال: متفورمین (Metformin)** داروی دیابت نوع ۲، با تحلیل داده‌های مولکولی و مسیرهای متابولیکی مرتبط با سرطان، برای درمان برخی سرطان‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

۳. رویکرد مبتنی بر هدف (Target-based Drug Repurposing)

- **تعریف:** این رویکرد زیرمجموعه‌ای از رویکرد مبتنی بر دانش است و بر شناسایی و هدف قرار دادن یک هدف زیستی مشخص (مانند پروتئین، آنزیم، ژن) تمرکز دارد که در پیشرفت بیماری نقش دارد. سپس داروهای موجودی که این هدف را تحت تأثیر قرار می‌دهند، شناسایی می‌شوند.
- **نحوه کار:** ابتدا هدف مولکولی بیماری مشخص می‌شود (Validation & Target Identification در فرآیند D&D). سپس پایگاه‌های داده دارو و اهداف آن‌ها بررسی می‌شود تا داروهایی که به این هدف متصل می‌شوند یا آن را مهار/فعال می‌کنند، یافت شوند. ابزارهایی مانند Docking و شبیه‌سازی مولکولی استفاده می‌شوند.
- **ارتباط با Knowledge-based:** رویکرد Target-based می‌تواند بخشی از رویکرد Knowledge-based باشد. در Knowledge-based، ممکن است ابتدا با تحلیل داده‌های گسترده، اهداف مولکولی مرتبط با بیماری شناسایی شوند و سپس با رویکرد Target-based، داروهای مؤثر بر آن اهداف جستجو شوند. اما Knowledge-based گسترده‌تر است و ممکن است بدون شناسایی یک هدف واحد، بر اساس تأثیر دارو بر کل یک مسیر یا شبکه زیستی، دارو را شناسایی کند.
- **مثال: ایماتینیب (Imatinib)** دارویی که هدف آن تیروزین کیناز BCR-ABL در سرطان خون است، برای درمان سایر سرطان‌هایی که این هدف در آن‌ها نقش دارد، بازهدف‌گذاری شده است.

۴. رویکرد مبتنی بر محاسبات (Computational Drug Repurposing)

- **تعریف:** این رویکرد به طور خاص بر استفاده از روش‌های محاسباتی، بیوانفورماتیک، یادگیری ماشین و مدل‌سازی برای پیش‌بینی ارتباطات جدید بین داروها و بیماری‌ها تمرکز دارد. این رویکرد اساساً یک رویکرد مبتنی بر داده و دانش پیشرفته است.
- **نحوه کار:** تحلیل داده‌های بزرگ (Big Data) از پایگاه‌های داده مولکولی، ژنومی، پروتئومی، و بالینی با استفاده از الگوریتم‌ها و مدل‌های پیشرفته.
- **ابزارها:** پایگاه‌های داده مختلف، نرم‌افزارهای تحلیل داده‌های Omics، ابزارهای یادگیری ماشین.

۵. رویکرد مبتنی بر بالین (Clinical-based Drug Repurposing)

- **تعریف:** استفاده از داده‌های بالینی واقعی بیماران (Real-World Evidence - RWE) برای شناسایی اثرات جانبی مثبت یا اثرات درمانی غیرمنتظره داروها که می‌توانند برای درمان بیماری‌های دیگر استفاده شوند.
- **نحوه کار:** تحلیل پرونده‌های الکترونیک سلامت، داده‌های بیمه، و نتایج آزمایش‌های بالینی گذشته.
- **مثال:** مشاهده اثر مثبت داروی سیلدنافیل (Sildenafil - **ویاگرا**) که ابتدا برای فشار خون ریوی آزمایش می‌شد، بر اختلال نعوظ.

بخش دوم: مفاهیم کلیدی: Signature و Signature Reversion Principle (SRP)

در رویکردهای مبتنی بر داده (Knowledge-based و Computational)، به‌خصوص در تحلیل داده‌های بیان ژن، دو مفهوم “امضا” (Signature) و “اصل معکوس کردن امضا” (Signature Reversion Principle) بسیار مهم هستند.

۱. مفهوم Signature (امضا)

- **تعریف:** Signature در این زمینه به مجموعه‌ای از ویژگی‌های مولکولی (معمولاً تغییرات در بیان ژن یا پروتئین‌ها) گفته می‌شود که وضعیت خاصی را توصیف می‌کنند. این وضعیت می‌تواند:
 - **امضای بیماری (Disease Signature):** الگوی مولکولی (مثلاً لیستی از ژن‌هایی که در بیماری بیش‌فعال یا سرکوب شده‌اند) که وضعیت یک بیماری را نشان می‌دهد.
 - **امضای دارویی (Drug Signature):** الگوی مولکولی (مثلاً لیستی از ژن‌هایی که در اثر درمان با یک دارو تغییر بیان داده‌اند) که تأثیر یک دارو را در یک سیستم زیستی (مانند یک رده سلولی) توصیف می‌کند.
- **کاربرد:** امضاها به ما امکان می‌دهند تا وضعیت بیماری یا اثر دارو را به‌صورت یک “پروفایل مولکولی” کمی‌سازی و مقایسه کنیم.

۲. مفهوم Signature Reversion Principle (SRP) – اصل معکوس کردن امضا

- **تعریف:** این اصل بیان می‌کند که اگر یک دارو بتواند امضای مولکولی یک بیماری را معکوس کند، احتمالاً آن دارو می‌تواند بیماری را درمان کند. به عبارت دیگر، دارویی که اثر آن در سطح مولکولی “متضاد” با اثر بیماری باشد، کاندیدای خوبی برای درمان است.

- **نحوه کار:**

۱. **تعیین امضای بیماری:** شناسایی تغییرات بیان ژن (یا سایر ویژگی‌های مولکولی) که با بیماری مرتبط هستند (مثلاً ژن A در بیماری بیش‌فعال است و ژن B سرکوب شده است).

۲. **تعیین امضای دارو:** بررسی تأثیر داروهای مختلف بر بیان ژن در یک سیستم مدل (مانند رده‌های سلولی) و ایجاد پروفایل‌های بیان ژن برای هر دارو.

۳. **مقایسه و جستجو برای معکوس‌سازی:** مقایسه امضای هر دارو با امضای بیماری. دارویی که باعث شود ژن‌های بیش‌فعال بیماری سرکوب شوند و ژن‌های سرکوب شده بیماری فعال شوند (اثر معکوس)، به عنوان کاندیدا شناسایی می‌شود.

- **ابزارهای کلیدی در SRP:**

۱. **Connectivity Map (CMap):** یک پایگاه داده بزرگ و ابزار تحلیلی است که شامل هزاران پروفایل بیان ژن (یا L1000) برای رده‌های سلولی مختلف پس از درمان با تعداد زیادی دارو و ترکیبات بیواکتیو است. این پلتفرم به کاربران امکان می‌دهد تا امضای بیماری خود را وارد کرده و داروهایی را جستجو کنند که اثر معکوس‌کننده بر آن امضا دارند. (شما پیشتر در استفاده از [Clue.io](https://clue.io)، پلتفرم مرتبط با CMap و پایگاه داده L1000، تجربه کسب کرده‌اید).

۲. **پایگاه داده L1000:** بخشی از پروژه LINCS (Library of Integrated Network-based Cellular Signatures) است و پروفایل‌های بیان ژن را به صورت کم‌هزینه‌تر و با پوشش وسیع‌تر (اندازه‌گیری بیان حدود ۱۰۰۰ ژن کلیدی) ارائه می‌دهد که برای پیش‌بینی تغییرات در سایر ژن‌ها استفاده می‌شود.

- **مثال برای SRP:** اگر در بیماری سرطان X، ژن A بسیار فعال و ژن B غیرفعال باشد (امضای بیماری)، و داروی Y باعث شود ژن A غیرفعال و ژن B فعال شود (امضای دارو)، بر اساس SRP، داروی Y کاندیدای درمان سرطان X خواهد بود.

مزایا و معایب رویکرد SRP:

- **مزایا:**

- شناسایی سریع کاندیداها با شواهد مولکولی.
- قابلیت پردازش حجم عظیمی از داده‌ها.
- پتانسیل کشف مکانیزم‌های جدید اثر دارو.

- **معایب:**

- نیاز به داده‌های مولکولی با کیفیت بالا.
 - ممکن است فقط بر تغییرات مولکولی تمرکز کند و اثرات پیچیده‌تر سیستمیک را نادیده بگیرد.
 - نتایج محاسباتی نیاز به تأیید آزمایشگاهی و بالینی دارند.
-

بخش سوم: ابزارها، پایگاه‌های داده و تکنیک‌های مورد استفاده

برای انجام Drug Repurposing، به‌خصوص با رویکردهای مبتنی بر داده، از ابزارها و منابع متنوعی استفاده می‌شود:

پایگاه‌های داده (Databases):

- **DrugBank**: اطلاعات جامع دارو، اهداف مولکولی، مسیرهای زیستی.
- **PubChem**: پایگاه داده بزرگ ترکیبات شیمیایی و زیستی.
- **Connectivity Map (CMap) / LINCS L1000**: داده‌های بیان ژن برای داروها و بیماری‌ها (کلیدی برای SRP).
- **ChEMBL**: اطلاعات زیستی در مورد ترکیبات و داروها با تمرکز بر فعالیت‌های زیستی و نتایج آزمون‌ها.
- **RepurposeDB**: پایگاه داده اختصاصی برای داروهای بازهدف‌گذاری‌شده.
- **Open Targets**: شناسایی اهداف درمانی بر اساس داده‌های ژنومی و بیماری.
- **Drug Gene Interaction Database (DGIdb)**: اطلاعات در مورد تعاملات دارو-ژن (شما تجربه استفاده از این ابزار را دارید).
- **SIDER**: اطلاعات مربوط به اثرات جانبی داروها (مفید برای شناسایی اثرات جانبی مثبت).
- **PROMISCUOUS**: اطلاعات مربوط به داروهایی که اهداف مولکولی متعددی دارند.
- **PREDICT**: پیش‌بینی ارتباط بین بیماری‌ها و داروها.

ابزارها و تکنیک‌ها:

- **تحلیل بیان ژن (Gene Expression Analysis)**: استفاده از نرم‌افزارهایی مانند R (با پکیج‌های DESeq2)، GEO2R (برای تحلیل داده‌های GEO) برای شناسایی امضای بیماری. (شما در این زمینه مهارت دارید).
- **Docking و شبیه‌سازی مولکولی**: پیش‌بینی نحوه اتصال دارو به هدف مولکولی.
- **تحلیل شبکه‌های زیستی (Biological Network Analysis)**: شناسایی مسیرها و گره‌های (Hubs) مهم در شبکه‌های تعاملات مولکولی (ابزارهایی مانند Cytoscape, STRING).
- **هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین (ML)**: ابزارهای قدرتمند برای تحلیل داده‌های بزرگ و پیش‌بینی‌ها.

بخش چهارم: نقش هوش مصنوعی و یادگیری ماشین

AI و ML با توانایی تحلیل الگوهای پیچیده در داده‌های بزرگ، نقش حیاتی در بازهدف‌گذاری دارو ایفا می‌کنند:

- **یادگیری نظارت‌شده (Supervised Learning)**: ساخت مدل برای پیش‌بینی اثر دارو بر اساس ویژگی‌های شناخته‌شده (مانند SVM, Random Forest).

- یادگیری بدون نظارت (Unsupervised Learning): کشف خوشه‌ها و الگوهای پنهان در داده‌ها (مانند Clustering داروها بر اساس شباهت).
- یادگیری عمیق (Deep Learning): استفاده از شبکه‌های عصبی برای تحلیل داده‌های پیچیده مانند ساختارهای شیمیایی (CNN) یا داده‌های ترتیبی (RNN) و حتی تولید مولکول‌های جدید (GANs).
- پردازش زبان طبیعی (NLP): استخراج اطلاعات از مقالات علمی و گزارش‌های بالینی (مانند استفاده از BERT برای شناسایی ارتباطات دارو-بیماری در متون).
- مدل‌سازی شبکه‌ای و GNNs: تحلیل شبکه‌های زیستی با استفاده از الگوریتم‌های تخصصی.
- تحلیل داده‌های Omics: استفاده از ML برای شناسایی بیومارکرها و پیش‌بینی اثر دارو بر اساس پروفایل‌های Omics.
- ادغام داده‌های چندمنظوره (Multi-Modal Integration): ترکیب داده‌های مختلف (شیمیایی، زیستی، بالینی) برای پیش‌بینی‌های دقیق‌تر.
- یادگیری انتقالی (Transfer Learning): استفاده از مدل‌های آموزش‌دیده برای یک بیماری یا وظیفه، برای پیش‌بینی در بیماری‌های مشابه یا وظایف مرتبط.
- مدل‌های مولد (Generative Models): خلق ساختارهای شیمیایی جدید یا شبیه‌سازی اثرات مولکولی داروها.

بخش پنجم: فارماکوکینتیک (ADME) و اهمیت آن در بازهدف‌گذاری

برای اینکه یک داروی بازهدف‌گذاری شده موفق باشد، باید در بدن انسان به درستی رفتار کند. فارماکوکینتیک که به مطالعه سرنوشت دارو در بدن (ADME) می‌پردازد، در این زمینه بسیار مهم است:

ADME (Absorption, Distribution, Metabolism, Excretion):

- ✓ جذب (Absorption): چگونه دارو وارد جریان خون می‌شود (مسیر تجویز، خواص دارو، pH).
- ✓ توزیع (Distribution): چگونه دارو به بافت‌ها می‌رسد (جریان خون، اتصال به پروتئین، عبور از سد‌ها مانند BBB).
- ✓ متابولیسم (Metabolism): چگونه دارو تجزیه می‌شود (آنزیم‌های کبدی مانند CYP450، تداخلات دارویی).
- ✓ دفع (Excretion): چگونه دارو از بدن خارج می‌شود (کلیه، کبد، نیمه‌عمر).

• اهمیت ADME در بازهدف‌گذاری: یک داروی کاندیدا برای بیماری جدید باید فارماکوکینتیک مناسبی برای رسیدن به محل اثر در بدن داشته باشد. برای مثال، دارویی که برای درمان بیماری مغزی بازهدف‌گذاری می‌شود، باید توانایی عبور از سد خونی-مغزی را داشته باشد.

ADME Screening و ادغام با بیوانفورماتیک:

- مدل‌سازی محاسباتی (In Silico ADME): استفاده از ابزارهای بیوانفورماتیک (مانند SwissADME, ADMET Predictor) برای پیش‌بینی خصوصیات ADME بر اساس ساختار شیمیایی دارو. این روش سریع و کم‌هزینه است و به انتخاب کاندیداها کمک می‌کند.

- نقش در **Drug Repurposing**: داده‌های ADME موجود برای داروهای تأییدشده، اطلاعات حیاتی برای پیش‌بینی رفتار آن‌ها در بیماری‌های جدید فراهم می‌کند.
- استفاده از **AI** در **ADME**: مدل‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی دقیق‌تر خصوصیات ADME و تعاملات دارویی.

بخش ششم: مراحل پیش‌بالینی و بالینی در زمینه بازهدف‌گذاری

اگرچه بازهدف‌گذاری دارو مراحل اولیه D&D را دور می‌زند، اما همچنان نیازمند آزمایش‌های پیش‌بالینی و بالینی برای بیماری جدید است:

- **مرحله پیش‌بالینی (Pre-Clinical):**
 - پس از شناسایی کاندیدا (معمولاً با روش‌های محاسباتی یا آزمایشگاهی اولیه)، نیاز به تأیید اثر و ایمنی در مدل‌های سلولی (In Vitro) و حیوانی (In Vivo) مرتبط با بیماری جدید وجود دارد.
 - بررسی دقیق‌تر فارماکوکینتیک (PK) و فارماکودینامیک (PD) در مدل بیماری جدید.
 - تست‌های سم‌شناسی (Toxicology) اختصاصی برای بیماری جدید یا مسیر تجویز جدید.
 - هدف: تهیه IND (Investigational New Drug Application) برای شروع آزمایش روی انسان.
- **مراحل بالینی (Clinical Trials):**
 - فاز ۱: بررسی ایمنی و تحمل‌پذیری در انسان (ممکن است تعداد کمی داوطلب سالم یا بیمار مبتلا به بیماری جدید).
 - فاز ۲: ارزیابی اولیه اثربخشی در تعداد محدودی بیمار مبتلا به بیماری جدید و بررسی دوز مناسب.
 - فاز ۳: تأیید نهایی اثربخشی و ایمنی در مقیاس بزرگ‌تر، معمولاً در مقایسه با پلاسیبو یا درمان استاندارد.
 - فاز ۴: نظارت پس از تأیید برای بیماری جدید، جمع‌آوری داده‌ها درباره عوارض جانبی نادر و اثربخشی درازمدت.

بخش هفتم: نکات پیشرفته، کاربردها و چالش‌ها

- **بیماری‌های نادر و فراموش‌شده (Neglected Diseases & Rare)**: بازهدف‌گذاری راهکاری عالی برای این بیماری‌ها است که توسعه داروی جدید برای آن‌ها اقتصادی نیست.
- **استفاده از Real-World Evidence (RWE)**: داده‌های بالینی واقعی می‌توانند سرنخ‌های ارزشمندی برای بازهدف‌گذاری فراهم کنند (مانند مشاهده اثرات جانبی مثبت داروها).
- **بازهدف‌گذاری در شرایط اضطراری**: در پاندمی‌ها (مانند COVID-19 با ریمیدسویر)، بازهدف‌گذاری راه حل سریع و حیاتی است.
- **پزشکی شخصی‌شده (Personalized Medicine)**: استفاده از داده‌های ژنومی بیمار برای شناسایی داروهای بازهدف‌گذاری‌شده که برای پروفایل مولکولی خاص آن بیمار مؤثرتر هستند.

- بازهدف‌گذاری بر اساس اثرات جانبی مثبت: مشاهده اثر جانبی مثبت یک دارو (مانند اثر ویاگرا) می‌تواند منجر به بازهدف‌گذاری آن برای بیماری جدید شود.
- نقش Omics و Big Data: تحلیل داده‌های حجیم Omics برای شناسایی مسیرهای مشترک بین بیماری‌ها و اثرات مولکولی داروها.
- بازهدف‌گذاری در حوزه سرطان: یکی از حوزه‌های کلیدی به دلیل پیچیدگی مولکولی؛ داروهایی مانند آسپرین یا پروپرانولول برای کاربردهای ضدسرطان مورد بررسی هستند.
- چالش‌ها:
 - پیچیدگی زیستی: بیماری‌ها چندعاملی هستند و پیش‌بینی اثرات پیچیده دارو دشوار است.
 - کیفیت داده‌ها: نیاز به داده‌های دقیق و با کیفیت بالا برای تحلیل‌های محاسباتی.
 - ترجمه نتایج: موفقیت در مدل‌های آزمایشگاهی لزوماً به نتایج بالینی موفق منجر نمی‌شود.
 - مالکیت معنوی (IP): برخی داروها تحت پتنت هستند و استفاده از آن‌ها برای بیماری جدید نیازمند مجوز است؛ داروهای ژنریک با پتنت منقضی‌شده گزینه‌های خوبی هستند.
 - نیاز به آزمایش‌های بالینی جدید: حتی با وجود تأیید دارو برای بیماری دیگر، آزمایش‌های بالینی برای بیماری جدید ضروری است.

جمع‌بندی نهایی:

بازهدف‌گذاری دارو یک استراتژی قدرتمند و امیدوارکننده در حوزه داروسازی است که با بهره‌گیری از دانش موجود، ابزارهای بیوانفورماتیک، هوش مصنوعی و تحلیل داده‌های بزرگ، می‌تواند فرآیند کشف و توسعه درمان‌های جدید را تسریع کرده و هزینه‌ها را کاهش دهد. رویکردهای مبتنی بر فنوتیپ و دانش (که شامل Target-based و Computational می‌شود) در کنار مفاهیمی مانند Signature و SRP، هسته اصلی این حوزه را تشکیل می‌دهند. درک فارماکوکینتیک (ADME) و ادغام آن با روش‌های محاسباتی نیز برای موفقیت حیاتی است. با وجود چالش‌ها، بازهدف‌گذاری دارو به‌ویژه برای بیماری‌های نادر و در شرایط اضطراری، پتانسیل بالایی برای ارائه درمان‌های مؤثرتر و در دسترس‌تر دارد. این حوزه با پیشرفت فناوری‌های جدید به‌طور مداوم در حال تکامل است.