

## نقش همگرایی علوم در پزشکی

## چکیده

همگرایی علوم پزشکی Convergence Medicine یک زمینه جدید آموزشی، پژوهشی و درمانی در علوم پزشکی است که دارای ظرفیت عظیم در تحول آینده در پزشکی هم در بخش پژوهش و هم در مراقبت‌های بالینی Clinical Care خواهد داشت. این تکنولوژی جدید که عملاً از سال ۲۰۱۴ شروع شد به سرعت در جوامع دانشگاهی سراسر جهان گسترش یافت. همگرایی پزشکی، به دنبال همگرایی فناوری در علوم Converging Technologies in Science در سال ۲۰۰۲ به عنوان NBIC که شامل همگرایی Nanotechnology, Biotechnology, Informatics technology and Cognitive Science است، معرفی گردید. در حال حاضر در تعداد فزاینده‌ای از دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی و پژوهشی همگرایی پزشکی وجود دارد که این رهیافت را پیش می‌برند و در این مطالعه بعضی از این موسسات نام برده شده است. توجه به اهداف و دیدگاه‌های این تکنولوژی پزشکی و استفاده از آن امید فراوانی برای آینده پزشکی در سلامت جامعه و رفع مشکلات زیستی آنها خواهد بود. در این مطالعه ضمن بیان چگونگی پیدایش این رهیافت، بعضی از سودمندی‌های آن در امور پزشکی شرح داده شده است. بحث درباره این رهیافت در جامعه پزشکی ایران می‌تواند ما را در فهم چگونگی ساختار اساسی این فرآیند هم در حوزه خدمات بهداشتی Health Care Policies و هم پژوهش، سرمایه‌گذاری برای پژوهش، سیاست‌های عملی Workforce Policies و همکاری‌های تیمی کمک نماید.

**کلید واژه‌ها:** همگرایی، پژوهش‌های نوآورانه، مراقبت‌های نوآورانه بالینی، همگرایی پزشکی، همکاری تیمی، علوم بین رشته‌ای

دکتر مسلم بهادری\*

استاد آسیب شناسی دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

\* نشانی نویسنده مسئول:

دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

نشانی الکترونیک: bahadorim@ams.ac.ir

## همگرایی در پزشکی طرح مسئله

در سال ۲۰۰۲ میلادی، بنیاد ملی علوم آمریکا و اطلاق تجارت آن US National Science Foundation and Department of Commerce گزارشی درباره فناوری‌های همگرایی برای بهبود عملکرد انسانی Converging Technologies for Improving Human Performance منتشر کرد که خیلی زود مورد توجه دانشمندان علوم در سراسر دنیا قرار گرفت. در این گزارش به همگرایی فناوری‌های چهار شاخه علمی نانو تکنولوژی Nanotechnology، بیوتکنولوژی Biotechnology، فناوری اطلاعات Information Technology و دانش شناخت Cognitive Science که به اختصار NBIC نامیده شد، اشاره گردید. ظرفیت استفاده از این فناوری‌ها در بالابردن بهداشت و درمان علی‌لی‌ها در آن گزارش بیان شده بود. این فناوری که بعداً تعدادی دیگر بر آن افزوده شد، امروزه در بسیاری از مراکز علمی جهان از جمله در دانشگاه‌های صنعتی ایران در حال پیشرفت و تکامل است (۵-۱).

در سال ۲۰۱۴ شورای تحقیقات ملی National Research Council آمریکا گزارشی تحت عنوان Convergence: Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering and Beyond منتشر کرد (۶). این گزارش ۱۵۰ صفحه‌ای، مرحله تازه‌ای از تحول برای آینده مطرح کرد که نه تنها شامل علوم عمومی بلکه علوم پزشکی در قرن بیست و یکم شد که همگرایی پزشکی نامیده شد (۹-۷). شاخه علوم پایه فرهنگستان علوم پزشکی جمهوری اسلامی در دو همایش سالانه یک روزه در ماه بهمن ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ درباره همگرایی در علوم پزشکی برنامه‌هایی اجرا کرد (۱۱ و ۱۰). در این مقاله با استفاده از منابع معتبر خلاصه‌ای از برداشت‌های جدید در استفاده از این فناوری در پزشکی را مرور می‌کنیم.

### همگرایی پزشکی Convergence in Medicine

در فارسی convergence in medicine، همگرایی در پزشکی نام گرفته است که یک شاخه تازه از همگرایی علوم است و متوجه اصول و دیسپلین‌هایی می‌شود که چگونه بتوان مسئله بهداشت عمومی اجتماعی و علی‌لی‌های ناشی از حوادث را با ادغام اقدامات پزشکی بالینی در حیطه‌های غیر بالینی به حد مناسب و مطلوب حل کرد. این رشته‌های غیر بالینی بسیار متعدد و شامل مهندسی، انفورماتیک، بیولوژی مولکولی، کامپیوتر، سرمایه‌گذاری entrepreneurship، بهداشت اجتماعی، علوم انسانی، مدیریت، روزنامه‌نگاری، سیاست، قانون و هنر می‌باشند که به تناسب در این همکاری‌ها شرکت دارند. هدف همگرایی نوسازی بهداشتی بر پایه همکاری‌های بین‌رشته‌ای interdisciplinary و تفکر چند

رشته‌ای multidisciplinary mindset است (۸).

اگر بتوانیم این تفکر تیمی برای ارتقای سلامت را به عنوان مدلی شبیه تویی و پره چرخ دوچرخه Hub and Spoke Model در نظر بگیریم، نوآوری و اکتشاف، تویی "Hub" را تشکیل می‌دهد و تمامی قلمرو وابسته به تندرستی para-health domain که تولیدکننده دانش، امکانات و تجربه است و پیش‌بینی‌ها را توسعه می‌دهد، چرخ‌های آن "Spokes" خواهد بود.

دکتر هاریس ایر Harris Ayre پنج دلیل مهم بشرح زیر را برای این که همگرایی پزشکی در آینده حقیقت حرفه پزشکی خواهد بود، بیان می‌کند (۹).

۱) در آینده حل مسایل بهداشتی منحصر با ارائه خدمت انحصاری تک رشته‌ای بسیار مشکل و غامض خواهد بود. بزرگترین چالش‌های بهداشتی نظیر افزایش بیماری‌های مزمن و بیماری‌های وابسته به سن به علت مسن‌تر شدن افراد جامعه و تغییر عوامل سبک زندگی (lifestyle factors)، افزایش هزینه‌های بهداشتی ناشی از افزایش سن و سرمایه‌گذاری‌های سنگین، افزایش بیماری‌های غیر واگیر و ناکافی بودن خدمات بهداشتی برای آنها، توسعه بیماری‌های عفونی و افزایش مقاومت میکروبی، اثرات بد تغییرات محیط زیست بر سلامت و بالاخره شهرگرایی و عدم تساوی‌های اجتماعی خواهد بود. ۲) برای روش‌های تشخیصی و درمانی، نوآوری‌ها و اکتشافات به سرعت افزایش می‌یابند. اکتشافات و نوآوری‌های تکنولوژیک به میزان چشمگیری به بازار عرضه می‌گردند و پزشکان به تنهایی نمی‌توانند خود را با آن تطبیق دهند.

۳) همگرایی قابل دسترسی زودرشد کرده است. نمونه‌های حیاتی واقعی از مدل‌های همگرایی برای مراقبت‌های بهداشتی عملاً به بازار آمده است. یک نمونه قابل توجه از این نوع، نوآوری شرکت NantHealth در شهر کولور Culver City لوس آنجلس است. NantHealth یک کمپانی مراقبت بهداشتی است که پزشکی بیومولکولار و بیواینفورماتیک را با خدمات تکنولوژیک همگرا کرده است و اخیراً بر این پایه یک روش درمان سرطان با استفاده از همگرایی علوم بکار گرفته است. NantHealth در نظر دارد یک درمان شیمیایی شخصی real-time personalized therapy بر پایه آخرین یافته‌های بالینی شیمی درمانی، پروفایل ژنومیک، و همین طور smart-phone، supercomputer و cloud storage technologies انجام دهد.

۴) پزشکان بطور فزاینده برای دریافت خدمات غیر بالینی non-clinical opportunities اصرار می‌ورزند. همگرایی پزشکی convergence medicine careers ممکن است در این موارد به پزشکان کمک کند. یک مطالعه در سال ۲۰۰۷ در بین ۱۰۸۴۰۸ پزشکان فارغ‌التحصیل آمریکایی نشان داد که ادامه خدمات تمام وقت پزشکی از ۵۱/۳٪ در سال ۱۹۹۷ به ۴۶/۵٪ در سال ۲۰۰۴ سقوط کرد. البته این رقم در سال‌های اخیر

است، از ضروریات است.

شارپ و لانگر Sharp and Langer همگرایی را در بیومدیسین به عنوان سومین انقلاب نام برده‌اند، انقلاب اول را بیولوژی سلولی و مولکولی cellular and molecular biology، انقلاب دوم را ژنومیکس genomics profile و انقلاب سوم را همگرایی در بیومدیسین con-vergence science in medicine نامیده‌اند (۱۵).

### اهمیت همگرایی پزشکی در خدمات پزشکی بالینی و پژوهش

ارتقای نقش همگرایی علوم در پزشکی بالینی به دلایل چندی اهمیت دارد (۸). همگرایی می‌تواند باعث کمک بیشتر در حرفه پزشکی، انجام پژوهش و ایجاد نوآوری، افزایش قدرت تعلیم و توانمندسازی، و افزایش قدرت درمان شود که در مجموع، به مراتب بهتر از گذشته چالش‌های پیچیده پیش روی پزشکی را حل کند. این چالش‌های پیچیده که در بالا ذکر شده‌اند شدیداً رو به افزایش‌اند. این چالش‌ها که از نظر اتیولوژی، تظاهرات و عواقب از هم متفاوتند و ظاهراً بهم نیز مربوط نیستند، فراوان بوده و روبرو شدن با آنها راهکارهای متفاوتی را می‌طلبد.

دیگر اینکه همگرایی می‌تواند درگیری شاغلین پزشکی را با نوآوری‌های نوین غیربالینی non-clinical innovations آسان کند. اینها شامل اکتشافات روزافزون بیولوژی مولکولی، شناخت و کاربرد بیشتر از پرفایل‌های ژنومیکس کم خرج، افزایش قدرت و کاربری کامپیوتر، استفاده بهینه از تلفن همراه هوشمند، استفاده از وسایل کوچک (microchips) small device usage افزایش دریافت اطلاعات از مستندات الکترونی بهداشتی E-Health و بالاخره افزایش با خبر شدن از عوامل دیگر تاثیرگذار بر تندرستی می‌باشند.

### استفاده از همگرایی در پزشکی Convergent Approaches in Medical Research and Innovation

نمونه‌های فراوانی از رهیافت همگرایی در تحقیقات و نوآوری‌های پزشکی وجود دارد که عده‌ای از آنها در فهرست زیر آورده شده‌اند (۸). این نمونه‌ها زمینه‌هایی از پژوهش‌ها Fields of Research، پژوهش‌های حمایتی نوآورانه، نوآوری‌های بالینی وابسته به بیمارستان یا انستیتوها و مراقبت‌های بالینی را شامل می‌شود. ۱. نمونه‌های زمینه پژوهشی Field of research (۲۰-۱۶).

الف: پزشکی ترجمانی translational medicine که اهمیت ترجمان آزمایشگاه و بالین bench to bedside translation را بیان می‌کند. مراحل پزشکی ترجمانی توسط Wong و Licinio این گونه تعریف شده است (۱۶):

پیدایش سوال از طریق علوم پیش بالینی - بالینی و اپیدمیولوژی T0-T1-bench to bedside

می‌تواند کاهش خیلی بیشتری را نشان دهد. انجمن society of physician Entrepreneurs که یک شبکه اجتماعی از پزشکان و سایر شاغلین بهداشتی Health related professionals است و فقط در آمریکا ۱۷۰۰۰ عضو دارد، در فعالیت‌های همگرایی bio-innovation and entrepreneurs شرکت دارند و بنظر می‌رسد از محبوبیت بالایی برخوردار است. پزشکان آمریکائی که خدمات سنتی پزشکی را ترک و در این گونه فعالیت‌ها شرکت می‌کنند به شدت رو به افزایش می‌باشند.

همگرایی علوم توسط موسسات صاحب نام prominent institutions از جمله شورای تحقیقات ملی آمریکا National Research Council حمایت می‌شود. دانشگاه کالیفرنیا جنوبی USC در حال تاسیس Mi-chelson Center for convergence Biosciences می‌باشد. نوآوران استرالیا شبکه همگرایی علوم را ایجاد کرده‌اند و دهها موسسات دیگر به این نوآوری در علوم پزشکی رو آورده‌اند (۹).

در مقاله perspective که توسط ده پژوهشگر بنام و برجسته جهانی منتشر شده است، به معرفی برنامه‌های زیادی که توسط چند کشور استرالیا، انگلستان، سوئیس و آمریکا انجام شده می‌پردازد و متحصراً درباره تقویت و کاربردهای همگرایی پزشکی توضیح می‌دهد (۸). همگرایی علوم، شامل ادغام در هم آمیخته و هم‌افزای رشته‌های علمی مختلف trans-disciplinary integration of a diverse array of sciences است که زمینه تازه‌ای از پژوهش، توسعه و کاربری را توصیف می‌کند. هم زمان هماهنگی بین حکومت، آکادمی و صنعت نیز این همگرایی را عملی می‌گرداند. امید می‌رود همگرایی آموزش مشترک علوم، Mutual learning، همکاری عمیق تر بین موسسات علمی، نگاه تازه‌تر جهانی Novel worldviews and paradigms و همچنین ادغام دانش و زبان بین بخشی Trans-disciplinary language and knowledge integration برای حل مشکلات حقیقی جهان عملی گردد (۱۳ و ۱۲).

پزشکی همگرا Convergence medicine شامل قالب‌گیری فلسفه دانش همگرا در داخل مراقبت‌های بهداشتی بالینی Clinical Health Care بر پایه همکاری نزدیک تر دانشمندان، متخصصین علوم پایه، متخصصین بالینی و همچنین افزایش آموختنی‌های حرفه‌ای پزشکی Medical Professionalism می‌باشد (۱۴-۱۲).

اگرچه در حال حاضر، نمونه‌هایی از همگرایی از قبیل رادیولوژی با استفاده از کشفیات روتنگن در سال ۱۸۹۵ و کاربرد آن در پزشکی در سال ۱۸۹۷ و پاتولوژی جراحی Surgical Pathology با استفاده از انواع میکروسکوپ وجود دارند، ولی نیاز بیشتری برای پیشبرد و تقویت این همگرایی لازم است. اقدام به همگرایی در پزشکی با توجه به ماهیت درهم پیچیده و چند دستگامی بدن complexity and polysystemic nature و تعداد زیادی از معضلات پزشکی که برای حل آنها برداشت‌های انفرادی single silo approach ناکافی

cal Oncology منتشر شده است (۲۸) که هدف این مجله ادغام دانش‌های فیزیک با بیولوژی سرطان و اونکولوژی بالینی به منظور افزایش درک و روش‌های درمانی در بیماران سرطانی می‌باشد. مرکز راهبردی بنام Center for Strategies Scientific Initiative (CSSI) که مورد حمایت موسسه ملی سرطان آمریکا است در حال حاضر رهیافت بین رشته‌ای را برای نوآوری‌ها در سرطان شروع کرده است (۲۹).

موسسات فراوانی در آمریکا و استرالیا و اروپا به این منظور تاسیس و بیش از ۶۰۰۰ گرانت برای اینگونه بررسی‌ها novel technologies وجود دارد. اداره پژوهش پروتئومیکس بالینی در کانسر Office of Cancer Clinical Proteomics Research در نظر دارد پلی بین بررسی‌های ژنوتیپ و فنوتیپ کانسر با استفاده از آخرین فناوری‌ها انجام دهد.

رهیافت همگرایی در operating system با استفاده از سیستم dig-ital clinical operating از رهیافت‌های جدیدی است که در بیشتر موسسات در حال عملی شدن می‌باشد. در همین راستا استفاده از medical robotics عرصه تازه‌ای از رهیافت همگرایی در پزشکی می‌باشد و استفاده از آن به سرعت در حال افزایش است. که شامل جراحی‌های رباتیک، معاضدت‌های اجتماعی رباتی، Emergency response robotic و سیستم‌های Prosthetic and exoskeletons and rehabilitation می‌باشد (۳۰-۳۲).

استفاده از رهیافت همگرایی، بسیار مفصل‌تر از آن است که در این مختصر گنجانیده شود و روز بروز دامنه آن وسیع‌تر می‌شود. البته استفاده از این رهیافت معایی نیز دارد. دکتر هاریس ایر و همکاران در جدولی طولانی فرصت‌ها و ریسک‌های بالقوه آنرا چه از دید پزشکان و چه از دید سایرین غیر پزشک توضیح داده‌اند (۸).

### نتیجه‌گیری

همگرایی علوم پزشکی یک زمینه نوین در پزشکی با ظرفیت عظیم در تحول آینده آموزش و پژوهش پزشکی و مراقبت‌های بالینی می‌باشد. همگرایی در علوم، ادغام علوم مهندسی، فیزیکی، کامپیوتر و علوم مربوط به سلامت می‌باشد و برای پزشکی و سلامت، انرژی و محیط بسیار سودمند و بخشی از پروژه‌های همگرایی است که توسط National Science Foundation (NSF) طراحی شده است.

همگرایی در علوم به عصر علمی یونان باستان و دوران طلایی اسلام بازمی‌گردد. از آنجاکه در گزارش اصلی مشاهده می‌شود، روند همگرایی بعنوان یک میراث از پیشرفت انسان از زمان شکل‌گیری مجموعه اتم‌ها و ظهور زندگی‌های قبیله‌ای و ابتدایی وجود داشته است. آنچه در دوره ابتدایی قرن بیست و یکم دیده می‌شود، افزایش اهمیت همگرایی در علوم بعنوان عامل اساسی در فراگیری و پیشرفت سریع علمی و تکنولوژی زمان حاضر می‌باشد.

T2- bedside to clinical application (clinical trials)

T3-translation to policy and health care guidelines

T4- assessment of health policy and usages

T5- global health application

نمونه پزشکی ترجمانی، اقدامات ادوارد جنر در مورد پیدایش واکسن آبله که از مشاهده بالینی شیردوشان مبتلا به زخم آبله تا تولید واکسن علیه این بیماری می‌باشد (۱۶ و ۱۷)

ب - علوم پیری شناسی Geroscience (۱۸)

ت - چاپ سه بعدی (3DP) Three dimensional printing (۱۹)

ث - نورواکونومی رفتاری Behavioral neuroeconomics (۲۰)

۲- پژوهش‌های نوآورانه Convergent research initiative که شامل نوآورانه‌های پیش‌بینی‌کننده Precision medicine initiative طرح روان شناسی و روان پزشکی Research domain criteria project است (۲۱ و ۲۲).

### پژوهش‌های حمایت‌کننده و نوآورانه بالینی

#### Supporting research and clinical innovation

رهیافت همگرایی در مراقبت‌های بالینی Convergence in clinical care از نکات مهم در همگرایی تعداد زیادی از موسسات convergence-focused research institute که از نزدیک با هم همکاری می‌کنند، می‌باشد. Hall و همکاران از تیم TREC، همکاری تیم پژوهشی چندرشته‌ی موسسه ملی سرطان آمریکا را گزارش کرده‌اند (۲۳).

چندین موسسه و سازمان‌های پزشکی از قبیل انستیتوی فرانسیس کریک Francis Crick Institute در سال ۲۰۱۵ مرکز پژوهشی پزشکی ترجمانی را تاسیس کردند. هدف اصلی موسسه کریک آن است که پژوهش‌های نوآورانه در پزشکی را بدون مرز انجام دهد و از اینرو با موسساتی در انگلستان - consortium of six UK-based scientific and academic organizations و همینطور با تعدادی از موسسات تحقیقاتی در آمریکا همکاری دارد (۲۴). علاوه بر آن، همچنین موسساتی در سیلیکون والی آمریکا و در دانشگاه‌های معروف آمریکائی مانند UCSF, Stanford و USC برای استفاده از همگرایی پزشکی همت گماشته‌اند (۲۵ و ۲۶).

### رهیافت همگرایی در مراقبت‌های بالینی

#### رهیافت همگرایی در اونکولوژی

اکتشافات تازه در بیومارکرها، بیوکامپیوتینگ و نانوتکنولوژی باعث شد که متخصصین بالینی از رهیافت همگرایی bio-nano-info convergence، برای تشخیص مولکولی و درمان فردی individualized therapy بیماری سرطان و سایر بیماری‌ها استفاده کنند (۲۷).

اخیرا یک مجله تحت عنوان Convergent Science Physi-

1. National Science Foundation and Department of Commerce; Converging Technologies for Improving Human Performance. A report 2002: <http://www.wtec.org/>
2. Roco MC. Coherence and divergence of megatrends in science and engineering. *Journal of Nanoparticle Research*. 2002 Apr 1;4(1-2):9-19.
3. National Science Foundation (NSF). Studies on Convergence [http://www.nsf.gov/od\\_oia/convergence.jsp](http://www.nsf.gov/od_oia/convergence.jsp): 2004
4. Roco M C, Bainbridge W, Tonn B, et al. Convergence of knowledge, technology and society, Science policy report .Springer 2004
5. Massachusetts Institute of Technology (MIT), Washington Office. The third revolution. The convergence of the Life Sciences, Physical Sciences, and engineering. Report 2011
6. National Research Council (NRC). Convergence: Facilitating J H et al. Convergence of biomarkers, bioinformatics and interdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond . 2014; The National Academy Press, Washington.
7. MIT 2016: Convergence: The future of Health, edited by Sharp, Hockfield and Jacks . MIT, Cambridge Massachusetts
8. Eyre HA, Forbes M, Raji C, Cork N, Durning S, Armstrong E, et al. Strengthening the role of convergence science in medicine. *Convergent Science Physical Oncology*. 2015;1(2):026001.
9. Eyre HA. 5 Reasons Why Convergence Medicine is the future. <https://www.linkedin.com/pulse/5-reasons-why-convergence-medicine-future-harris-a-eyre>
۱۰. همگرایی-علوم میان رشته ای. همایش علوم پایه پزشکی فرصتها و چالشها. فرهنگستان علوم پزشکی ایران ۱۲ بهمن ۱۳۹۶
۱۱. همگرایی در علوم پزشکی-ضرورتها وملزومات. همایش علوم پایه فرهنگستان علوم پزشکی ایران بهمن ۱۳۹۶
12. Herskowitz A. *Introducing Convergence Medicine. by anataremedicine*, 2011; Convergence Medicine.
13. Chen J. Convergence: The future of Health 2016. Report on convergence Ideas challenge Winner
14. Graham T. Convergence in Medicine. Oslo-Life Science report. University of Oslo 2018
15. Sharp PA, Langer R. Research agenda. Promoting convergence in biomedical science. *Science*. 2011;333(6042):527.
16. Licinio J, Wong ML. Launching the 'war on mental illness'. *Mol Psychiatry*. 2014;19(1):1-5.
17. Bornstein SR, Licinio J. Improving the efficacy of translation-
- al medicine by optimally integrating health care, academia and industry. *Nat Med*. 2011;17(12):1567-9.
18. Burch JB, Augustine AD, Frieden LA, Hadley E, Howcroft TK, Johnson R, et al. Advances in geroscience: impact on healthspan and chronic disease. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2014;69 Suppl 1:S1-3.
19. Ventola CL. Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses. *P T*. 2014;39(10):704-11.
20. Stanger C, Elton A, Ryan SR, James GA, Budney AJ, Kilts CD. Neuroeconomics and adolescent substance abuse: individual differences in neural networks and delay discounting. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*. 2013;52(7):747-755.e6.
21. NIH; Precision Medicine Initiative. [www.nih.gov/precision-medicine-initiative-cohort-program](http://www.nih.gov/precision-medicine-initiative-cohort-program) 2015
22. Insel T, Cuthbert B, Garvey M, Heinssen R, Pine DS, Quinn K, et al. Research domain criteria (RDoC): toward a new classification framework for research on mental disorders. *Am J Psychiatry*. 2010;167(7):748-51.
23. Hall KL, Stokols D, Moser RP, Taylor BK, Thornquist MD, Nebeling LC, et al. The collaboration readiness of transdisciplinary research teams and centers: findings from the National Cancer Institute's TREC year-one evaluation study. *American journal of preventive medicine*. 2008;35(2):S161-72.
24. The Francis Crick Institute. [www.crick.ac.uk/](http://www.crick.ac.uk/)
25. Michelson center of convergence bioscience. <http://convergence.usc.edu/>
26. Bio-X : pioneering discoveries in benefit of human health. [http://biox.stanford.edu/sites/default/files/basic-page-file/stanford\\_bio-x\\_white\\_paper.pdf](http://biox.stanford.edu/sites/default/files/basic-page-file/stanford_bio-x_white_paper.pdf)
27. Phan JH, Moffitt RA, Stokes TH, Liu J, Young AN, Nie S, et al. Convergence of biomarkers, bioinformatics and nanotechnology for individualized cancer treatment. *Trends Biotechnol*. 2009;27(6):350-8.
28. *Convergent Science Physical oncology*. <http://iopscience.iop.org/2057-1739>
29. NCI. Center for strategic scientific initiative. 2015. <http://cssi.cancer.gov/>
30. Kudyba SP. *Healthcare informatics: increasing efficacy and productivity*. CRC press 2010
31. Detmer DE, Shortliffe EH. Clinical informatics: prospects for a new medical subspecialty. *JAMA*. 2014;311(20):2067-8.
32. Sohn W, Lee HJ, Ahlering TE. Robotic surgery: review of prostate and bladder cancer. *Cancer J*. 2013;19(2):133-9.