Journal of Military Medicine
2024, Volume 26, Issue 5
Pages: 2480-2492
10.30491/jmm.2024.1006667.1175

Biohacking: Future Opportunities and Biothreats

Mehdi Zeinoddini [1*], Zahra Mardashti [1]

[1] *Department of Science and Biotechnology, Faculty of Passive Defence, Malek Ashtar University of Technology, Iran*

Received: 4 June 2024 **Accepted:** 23 November 2024

Abstract

With the development of gene editing technology based on CRISPR-Cas, biohacking and body hacking have attracted the attention of biotechnology researchers. Today, the DIY-Biology (Do-it-yourself biology) movement has been formed with the aim of conducting biological experiments with minimal facilities in non-laboratory settings. The simple use of CRISPR in gene editing has made this technology an ideal bioterrorism weapon for biohackers. The relationship between gene editing and biohacking is like the Yin/Yang relationship, whereby by gaining knowledge, you can influence organisms out of the darkness (Yin) and into the light (Yang). Determining the opportunities facing biohackers can provide solutions to deal with them. In this regard, checking antiCRISPRs may be useful. Today, biohackers have become a bio-threat. Therefore, it is necessary to know the solutions to deal with it. While getting to know the available tools to neutralize the threats of hackers, one should also use the opportunity to develop the practical use of these technologies. The present study was conducted by reviewing and interpreting the information obtained from scientific articles and books published since 2000, by checking keywords such as Biohacking, Bodyhacking, Biothreat, and CRISPR on NCBI, Google, Scopus, ScienceDirect, and PubMed websites.

Keywords: Biohacking, Gene Editing, Biothreat, CRISPR.

[*]Corresponding author: **Mehdi Zeinoddini,** Email: zeinoddini52@mut.ac.ir

مجله طب نظامی
دوره ۲۶، شماره ۵، آذر و دی ۱۴۰۳
صفحات: ۲۴۹۲-۲۴۸۰
10.30491/jmm.2024.1006667.1175

هک زیستی: فرصت ها و تهدیدات زیستی آینده

مهدی زین‌الدینی[1*]، زهرا مردشتی[1]

[1] پژوهشکده علوم و فناوری زیستی، مجتمع دانشگاهی پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ایران

چکیده

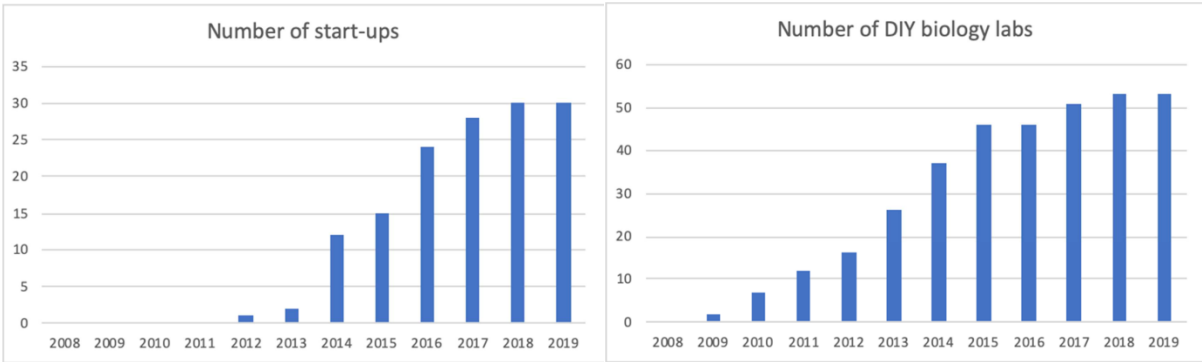
با توسعه فناوری ویرایش ژنی مبتنی بر کریسپر-Cas، هک زیستی و هک بدن، مورد توجه محققین زیست فناوری قرار گرفت. امروزه جنبش زیست شناسی را خودت انجام بده یا DIY-Biology (Do It Yourself Biology) با هدف انجام آزمایشات زیستی با حداقل امکانات در مکان‌های غیرآزمایشگاهی، شکل گرفته است. کاربرد ساده کریسپر در ویرایش ژنی سبب شد این فناوری یک سلاح بیوتروریستی ایده‌آل برای هکرهای زیستی باشد. ارتباط ویرایش ژنی و هک زیستی مانند ارتباط Yin/Yang است که با کسب دانش ویرایش ژنی می‌توان از تاریکی (Yin) خارج و در روشنایی (Yang) ارگانیسم‌ها را دستورزی (هک) نمود. تعیین فرصت‌های پیش روی هکرهای زیستی می‌تواند راهکارهای مقابله با آن‌ها را فراهم نماید، در این خصوص به‌کارگیری از آنتی کریسپرها می‌تواند مفید باشد. امروزه هکرهای زیستی به یک تهدید زیستی تبدیل شده‌اند. درنتیجه اطلاع از راهکارهای مقابله‌ای با آن ضروری است. براین اساس ضمن آشنایی با ابزارهای در دسترس جهت خنثی‌سازی تهدید هکرهای زیستی باید از فرصت پیش‌آمده به منظور توسعه کاربردی این فناوری‌ها نیز استفاده نمود. هدف از مطالعه اخیر بررسی فرصت‌ها و مخاطرات زیستی ناشی از هک زیستی و راهکارهای مقابله با آن است. مطالعه حاضر ضمن بررسی و تفسیر اطلاعات حاصل از مقالات و کتب علمی منتشر شده از سال ۲۰۰۰ به بعد با بررسی کلیدواژه‌هایی چون Biohacking، Bodyhacking، Biothreate و CRISPR در وبگاه‌های NCBI، Google، Scopus، ScienceDirect و PubMed انجام گرفته است.

کلیدواژه‌ها: هک زیستی، ویرایش ژنی، تهدید زیستی، کریسپر.

*نویسنده مسئول: **مهدی زین‌الدینی.** پست الکترونیک: zeinoddini52@mut.ac.ir
دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

مقدمه

تمایل ذاتی بشر همواره بر افزایش قابلیت‌ها، ظرفیت‌ها و بهبود توانایی‌هایش بوده است. جستجوی جاودانگی و عمر طولانی به یونان باستان بر می‌گردد، لذا از زمانی که انسان متوجه شد می‌تواند با در اختیار گرفتن فناوری، ویژگی‌هایش را ارتقا بخشد، به این کار اقدام کرد. یکی از این تلاش‌ها هک زیستی و هک بدن است. هک بدن به معنی ایجاد تغییراتی در فکر و فیزیک انسان‌ها است تا فرد جسمی سالم‌تر و روانی آرام‌تر داشته باشد و برخلاف هک زیستی که می‌تواند ابعاد ژنتیکی جاندار را دستخوش تغییر کند، هک بدن به هیچ عنوان سعی در تغییر رفتار به واسطه تغییرات ژنتیکی نداشته و هدفش صرفا انجام اصلاحات توسط تغییرات فیزیکی است (۱). قبل از آنکه به یکسری از اقدامات بشر اصطلاح هک بدن تعلق بگیرد او آگاهانه یا ناآگاهانه با تغییر رژیم غذایی، اصلاح الگوی خواب، انجام تمرینات ورزشی و مراقبه این کار را انجام می‌داده است، اما در حال حاضر به مجموعه تلاش‌هایی که فرد برای سلامت جسمش انجام می‌دهد هک بدن می‌گویند. لازم به ذکر است که هک بدن زیرمجموعه‌ای از هک زیستی است (۲). هکرهای بدن عموما تاثیر عوامل مختلف روی جسم خودشان را به صورت انفرادی آزمایش می‌کنند، مثلا بررسی می‌کنند که آیا نوشیدن قهوه واقعا مانع خوابیدن می‌شود یا خیر. آن‌ها سپس داده‌های خود را با نمودارها و فرمول‌های ساده ارزیابی می‌کنند تا در نهایت به یک برنامه شخصی‌سازی شده برای بهبود عملکرد جسم و روح برسند. این داده‌ها عموما در مجلات معتبری منتشر نمی‌شوند و صرفا ممکن است که از طریق شبکه‌های اجتماعی و وبلاگ‌های شخصی در اختیار افراد محدودی قرار بگیرند. طراحی و توسعه برنامه‌های اینترنتی برای حلقه اورا (Oura Ring)، تلفن‌های هوشمند، ساعت‌های هوشمند و رایانه‌ها بابت سنجش ضربان قلب، کنترل وضعیت خواب و تنفس و میزان فعالیت‌های روزانه افراد نیز در همین راستا است (۳). مشخصا نمی‌توان تعریفی برای هک زیستی مطرح کرد اما عموما استفاده از علم و فناوری برای تغییر سبک زندگی و ارتقا ویژگی‌های انسانی، تا جایی که او به یک ابرانسان تبدیل کرده و عمری طولانی داشته باشد به عنوان هک زیستی تعریف می‌شود. در راستای توسعه هک زیستی، جنبشی تحت عنوان زیست شناسی را خودت انجام بده یا DIYbio (Do It Yourself Biology) شکل گرفت (۱). جنبش DIYbio در ابتدای سال ۲۰۰۸ در حد یک انجمن محلی با ۲۵ عضو بود، اما طی دهه اخیر گسترش قابل توجهی پیدا کرد و تشکل‌های مرتبط بسیاری ایجاد شد که اکثرا در اروپا و ایالات متحده آمریکا فعالیت دارند. نوع مشارکت افراد در این تشکل‌ها عموما غیرقانونی و مخفیانه نیست و از طریق وب سایت اینترنتی diybio.org می‌توان بخشی از فعالیت‌های جنبش DIYbio را دنبال نمود (۴). این جنبش هم توسط افراد متخصص و هم توسط افراد آماتور رهبری می‌شود و هدف اصلی آن دموکراتیک کردن هرچه بیشتر علم زیست شناسی و وارد کردن آزمایشات برای حل مشکلات به درون مکان‌های نامتعارف مانند خانه‌ها می‌باشد. حامیان این جنبش خواستار انجام واکنش‌های علمی توسط افراد عادی هستند و می‌خواهند با این کار روند پیشرفت علم را سرعت بخشند (شکل ۱). حوزه هک زیستی در دهه اخیر و بعد از معرفی شدن فناوری ویرایش ژنی مبتنی بر کریسپر، به صورت گسترده‌ای پیشرفت کرد و شامل زیرمجموعه‌های زیادی شد. تمرکز هک زیستی در تغییر ژنوم ارگانیسم‌ها، اعمال ویرایش کریسپری با روش‌های غیر تایید شده و تعبیه ریزتراشه‌ها و ایمپلنت‌ها در بدن یک انسان با اهدافی مانند تغییر ویژگی‌ها و قابلیت‌های افراد در سنین مختلف، تغییر احساسات، خاطرات، حافظه و هوش، بحث برانگیزترین ابعاد هک زیستی می‌باشند (۵).



شکل-۱. مقایسه تعداد آزمایشگاه‌ها و استارتاپ‌های فعال در حوزه DIYbio بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹ (۴).

به مجریان هک زیستی اصلاح هکر داده می‌شود زیرا آن‌ها نیز مشابه هکرهای سایبری توانایی خارق‌العاده‌ای در سرقت اطلاعات شخصی، ایجاد خرابکاری و در مقیاس وسیع‌تر تحت کنترل درآوردن یک فرد یا یک جامعه را دارا می‌باشند (۶). هکرهای زیستی گاها رفتارهای نامتعارفی از خود نشان می‌دهند؛ به عنوان مثال برای جلب اعتماد مردم، در پلتفرم‌های اینترنتی نمایش به راه انداخته و آزمایشات طراحی شده را روی خودشان پیاده می‌کنند. دیدگاه‌ها در راستای اعمال محدودیت یا آزادی بیشتر برای هک

زیستی تا حدودی به جغرافیا و نوع فرهنگ جوامع بر می‌گردد اما آنطور که جامعه هک سایبری را امری خلاف قانون و ناپسند می‌داند، همچین نظری در مورد هک زیستی ندارد و اکثر نتایج حاصل از آزمایشات هک زیستی نه در قالب مقالات علمی و مجله‌های معتبر بلکه به واسطه شبکه‌های اجتماعی به اطلاع مردم می‌رسند (۷). هکرهای زیستی چهره‌های مبهمی هستند که گاهی به عنوان دانشمندان، پزشکان و محققین شناخته می‌شوند و گاهی به عنوان مجرمان و افراد شرور، اما چیزی که در مورد این افراد کنجکاو و بعضا قانون شکن واضح است این است که فعالیت‌های آن‌ها روی آینده بشریت تاثیر به سزایی خواهد داشت (۸). طرفداران این علم نوظهور استدلال می‌کنند بهترین راه برای پیشرفت فناوری زیستی آن است که با خیل عظیمی از ایده‌ها و آزمایشات بمباران شویم که هک زیستی این راه را با دعوت عموم مردم به مشارکت علمی هموار می‌کند. با این حال اعتقاد اکثر محققین این است که باید میانه‌روی کرد، یعنی در عین اعمال محدودیت‌های شدید برای جلوگیری از وقوع رفتارهای افراطی هکرها باید از پتانسیل آن‌ها برای ارتقاء علم بهره گرفت (۹). تحقیق پیش‌رو، مروری بر هک زیستی، کاربردهای صلح‌آمیز آن و راهکارهای مقابله‌ای با مخاطرات آن است که بررسی و تفسیر اطلاعات حاصل از مقالات و کتب علمی منتشر شده از سال ۲۰۰۰ به بعد انجام گرفت. در ابتدا کلید واژه‌هایی چون Biohacking، Bodyhacking، Biothreate و CRISPR در وبگاه‌های NCBI، Google، Scopus، ScienceDirect و PubMed جستجو شد و بیش از ۱۰۰ مقاله و ۱۵ کتاب مرتبط به دست آمد. سپس با بررسی چکیده مقالات و خلاصه کتاب‌های نمایش داده شده، مواردی که بیشترین ارتباط با موضوع پژوهش حاضر را داشتند انتخاب شد که در مجموع از بین آن‌ها ۴۰ منبع برای بررسی دقیق تر برگزیده گردید.

هک زیستی

در گذشته علم به عنوان یک کار اخلاقی دارای ارزش بود و اعتمادی که در جوامع جاری بود عالمان را بر آن می‌داشت که بدون سوءظن نتایج و داده‌هاشان را با هم و با عوام به اشتراک بگذارند. اما به تدریج تجارت وارد علم شد و محققین را وادار ساخت تا تمامی اختراعات خود را ثبت نمایند و داده‌ها را به راحتی نمایش ندهند. همین امر به تدریج منجر شد تا مردم غیر علمی کمتر از نتایج آزمایشات تخصصی آگاهی پیدا کنند و به حاشیه رانده شوند. هکرهای زیستی گروهی هستند که از انحصاری شدن علوم تجربی و پررنگ‌تر شدن مرز میان دانشمندان و مردم رنج می‌برند و با هر روش معقول و غیرمعقولی سعی در از بین بردن این فاصله دارند (۱۰). ظهور هک زیستی به عنوان یک پدیده علمی و فرهنگی اثرات قابل توجهی از خودش برجای گذاشت (۱۱). این فناوری شامل ایجاد تغییرات ژنتیکی و اپی ژنتیکی در جسم افراد و کاشت ابزارهای زیرجلدی با هدف ارتقا توانایی‌های انسان و تحت کنترل گرفتن تمامی رفتارها، عواطف و احساسات وی می‌باشد. در ابتدا ظهور این علم با اهداف بشردوستانه و کمک به پزشکی بود اما بعد از معرفی شدن فناوری کریسپر به جامعه علمی که ویرایش ژن را تا حد زیادی آسان نمود، توجه تروریست‌ها و اشخاص فعال در زیست شناسی سیاه به سمت آن جلب گردید (۱۲). نه نتها از نظر معنایی، بلکه از نظر فلسفی و اخلاقی نیز ارتباط نزدیکی بین هک زیستی و هک سایبری وجود دارد و هدف هر دو هک رمزگشایی اطلاعات، اشتراک‌گذاری داده‌ها بدون اعمال قوانین و تمرکززدایی از چهارچوب های نظارتی می‌باشد (۴). هک زیستی پلی است که می‌تواند به کمک علم بیوانفورماتیک داده‌های زیستی را به داده‌های الکترونیکی تبدیل کند و همانطور که Craig Venter ارتباط این دو علم را بیان کرده، با تلفیقی از آن‌ها رمز حیات را دچار تغییرات اساسی نماید. در قلمرو هک زیستی نیز دانشمندان با محاسبات روبه‌رو هستند، اما نه از جنس محاسبات عددی و صفر و یکی. به نوعی ما با ذخیره‌سازی و پیاده‌سازی اطلاعاتی که وجود دارند سر و کار خواهیم داشت (۱۳،۱۴). هک زیستی به سه دسته تقسیم می‌شود: ۱) دسته اول فعالیت‌های جنبش DIYbio را دربر می‌گیرد و به آزمایشاتی اشاره دارد که عموما در مؤسسات و پژوهشگاه‌های معتبر انجام نگرفته و به هیچ نهاد نظارتی یا حمایتی وابستگی ندارد؛ ۲) دسته دوم عموما مورد توجه هکرهای شیطانی بوده و می‌توان گفت زیست شناسی سیاه در این دسته قرار می‌گیرد چرا که تمرکز اصلی برای اصلاح صفات، روی تغییر ژنوم می‌باشد. همچنین استفاده از ابزارهای زیرجلدی، تزریق مواد شیمیایی و سایر روش‌های مخاطره آمیز بیشتر در این دسته قرار می‌گیرند؛ ۳) بی خطرترین و متداول‌ترین عملکردهای هک زیستی در دسته سوم قرار دارد که مورد توجه دانشمندان مشغول در آزمایشگاه‌های معتبر، پزشکان و حوزه سلامت می‌باشد. پزشکان این دسته بعد از رسیدن به شناخت کامل از ژنوم هر فرد، ضمن تغییر رژیم غذایی وی و تجویز تمرینات ورزشی شخصی‌سازی‌شده با هدف داشتن جسمی سالم و تندرست گام برمی‌دارند (۲).

دسته اول هک زیستی: مطرح شدن واژه‌هایی چون زیست شناسی گاراژی و منتشر شدن نظرات دانشمندانی چون Attila Chsordash و Rob Carlson در رابطه با توسعه علوم توسط افراد آماتور به سال ۲۰۰۵ برمی‌گردد اما آغاز فعالیت رسمی در حوزه DIYbio از سال ۲۰۰۸ است که در همین راستا وب سایت و انجمنی برای گفت و گو پیرامون DIYbio توسط Mac Cowell و Jason Bobe تشکیل شد. عموم افراد فعال در این حوزه از تحصیلات عالیه برخوردارند، شاغل می‌باشند و سن آن‌ها بین ۲۵ تا ۴۰ است. نکته جالب توجه در مورد این محققین آن است که حدود سه چهارم آن‌ها را مردان تشکیل می‌دهند و طیف وسیعی از مهندسان، هنرمندان و فیلسوفان مشغول همکاری در این حوزه هک زیستی می‌باشند. تولید تجهیزات آزمایشگاهی کم هزینه و پرداختن به هنر زیستی دو جنبه پرکاربرد این علم شهروندی گزارش شده‌اند و تاکنون کارگاه‌ها و کنفرانس‌های علمی زیادی

توسط انجمن‌های مربوطه برگزار گردیده است. DIYbio به خودی خود مزایای فراوانی دارد و اکثریت قریب به اتفاق محققان این حوزه، فعالیت‌های خارج از عرف و قانون انجام نمی‌دهند اما از آنجایی که هنوز هیچ شیوه‌نامه مدونی برای افراد مشغول در DIYbio تدوین نشده و هیچ نشریه یا پایگاه داده معتبری ثبت نکرده‌اند، استناد به نتایج حاصل از تحقیقاتشان توسط FDA توصیه نمی‌شود. اصلی‌ترین وب سایت‌های مرتبط با DIYbio به آدرس‌های https://diybio.org و https://sphere.diybio.org می‌باشند و یک گروه اینترنتی تحت عنوان DIYbio Google توسط Google Groups پشتیبانی می‌شود؛ تنها اعضای این گروه می‌توانند در مباحثه‌ها شرکت کنند و کاربران غیر عضو می‌توانند مباحث مطرح شده را از طریق آدرس ایمیل خود دریافت نمایند. البته تعداد سایت‌ها و گروه‌ها در حال افزایش می‌باشد و محدود به موارد نام برده نیست (۴).

دسته دوم هک زیستی: زیست شناسی مصنوعی یکی از علوم با کاربردهای دوگانه است، یعنی همانقدر که می‌تواند اهداف مفید و ایمن را دنبال کند، می‌تواند در جهت اعمال پلید نیز به کار گرفته شود. بعد سیاه هک زیستی تحت عنوان استفاده از زیست شناسی با اهداف یک هکر سایبری تعریف می‌شود. هکرهای این دسته عموما به صورت انفرادی و خصوصی در مکان‌های نامتعارف و مخفی فعالیت می‌کنند که طبق اظهارات خودشان قصد دارند رمز حیات یا همان DNA را بهم بریزند. برخی از عوامل بیوتروریسمی مورد استفاده توسط هکرها مانند باکتری‌ها و ویروس‌های دستکاری شده قابلیت انتقال بین افراد را دارند اما برخی دیگر مانند سم ریسین یا سیاه زخم مسری نبوده و می‌توانند افراد از پیش تعیین شده‌ای را حذف کنند. سرقت اطلاعات ژنتیکی و برنامه‌ریزی برای تولید یک المنت زیستی که منحصرا روی یک شخص معین عمل کند، یا دسترسی به اطلاعات ژنتیکی یک قوم خاص برای درگیر کردن تمامی افراد آن نیز جزو فعالیت هکرهای دسته دوم هک زیستی می‌باشد (۱۵). برگزاری نشست‌های آنلاین و تبادل اطلاعات این هکرها عموما از طریق دارک وب (Dark web) بوده و مشخصا انجمن یا گروه مشهودی تشکیل نمی‌دهند. فعالیت‌ها در این دسته از هک زیستی بیشترین ارتباط را با هکرهای سایبری داشته و هویت افراد معمولا ناشناخته می‌ماند (۱۲). استفاده از ریزتراشه‌های درون‌تنی یا برون‌تنی با هر هدفی غیر از اهداف پزشکی و بازگرداندن یک ویژگی معیوب به افراد باشد، در این دسته طبقه‌بندی می‌شود. خطرناک‌ترین ابزارها برای اهداف پلید، ایمپلنت‌هایی هستند که مستقیما با اعصاب مغزی در ارتباط بوده و سعی در تعدیل اختلالات روانی دارند، همچنین ضربان سازهایی که می‌توانند فعالیت قلب را کنترل نمایند نیز مورد تایید طیفی از دانشمندان نمی‌باشند. ابزارهای درون‌تنی می‌توانند تعامل نزدیکی با سلول‌ها و اندام‌های بدن داشته باشد و مستقیم فاکتورهایی مانند احساسات، اضطراب و دمای جسم را کنترل کنند. این ابزارها علاوه بر پتانسیل بالا در ایجاد بیماری‌ها و عفونت‌ها می‌توانند به راحتی اطلاعات زیستی صاحبانشان را سرقت کنند. علاوه بر القا یک ویژگی از دست رفته، مثل اهدا توانایی راه رفتن به یک فرد معلول یا کاشت ریزتراشه زیرجلدی در گوش یک انسان ناشنوا، به دلیل وابستگی این ابزارها به رایانه، می‌توان با ایجاد تغییراتی در سیگنال‌های مربوطه، افراد را به پرخاشگری و اهداف مجرمانه وا داشت، به طور نامحسوس استفاده از یک محصول تجاری را تلقین نمود یا حتی تمامی حرکات فرد مورد نظر را در اختیار گرفت و آزادی وی را سلب نمود (۱۶،۱۷).

دسته سوم هک زیستی: به کارگیری هک زیستی در یک چهارچوب استاندارد و طبق دستورالعمل های تایید شده می‌تواند مفید باشد، مثلا گزارش شده در حوزه ژن درمانی، درمان تبخال و ایدز فعالیت‌های مفیدی انجام گرفته است. یکی از اصلی‌ترین دلایلی که افراد به هک زیستی روی می‌آورند محدودیت‌های پزشکی، کمبود داروها و طولانی بودن دوره درمانی در بسیاری از کشورها است که باعث آسیب‌های شدید به افراد بیمار می‌شود. در همین راستا تعدادی از داروها و روش‌های درمانی توسط هکرها به صورت غیرقانونی انتشار می‌یابند که به دلیل نداشتن تاییدیه‌های لازم هیچ گاه نمی‌توان اثربخش بودن یا نبودن آن‌ها را سنجید (۶). مهمترین انگیزه هکرهای زیستی فعال در زمینه پزشکی این است که آن‌ها نمی‌خواهند منتظر بمانند تا علم به آن‌ها القا شود، بلکه خودشان را مستقیم به چالش می‌کشند و در جهت تولید علم چه در بعد منفی و چه در بعد مثبت گام بر می‌دارند (۱۸). گاهی اوقات نیز هدف احیا پروژه‌های شکست خورده علمی مانند تولید انسولین در کشورهای در حال توسعه است (۱). با این همه تمایز بین افرادی که هک زیستی را برای درمان به کار می‌گیرند با افرادی که آن را برای افزایش توانمندی‌ها می‌خواهند، دشوار است. زمانی که می‌گوییم درمان، هدف بهبود سلامت انسان‌ها است اما زمانی که ارتقا ویژگی‌ها مد نظر است، می‌خواهیم کاری کنیم که قدرت، حافظه، ادراک و هوش افراد بهبود پیدا کند (۱۳). برخی هکرها تمایل دارند مرز میان انسان و ماشین از بین برود تا جسم افراد تماما توسط هوش مصنوعی کنترل گردد، تبدیل افسانه‌ها به واقعیت و ساخت انسان‌های رباتی الگوی این قبیل هکرها بوده و همانطور که مشهود است، توسعه علم با ایمپلنت‌های قابل کنترل سریع‌تر از اعمال تغییرات ژنتیکی می‌باشد (۱۹،۲۰).

متخصصان اخلاق و دانشمندان، بین هکرهای زیستی که صرفا می‌خواهند به علم پزشکی کمک کرده و منجر به پیشرفت سریع‌تر علم شوند، با آن دسته از افرادی که تمایل به بروز جرم دارند تمایز قائل می‌شوند. این علم بیشتر از هر چیز دیگری دنبال مردمی کردن زیست شناسی است و می‌تواند مسیر را برای دانشمندانی که از علوم آکادمیک ناامید شده‌اند و احساس می‌کنند قابلیت‌ها و ظرفیت‌هاشان نمی‌تواند درون آزمایشگاه‌ها و با پیروی از قوانین تدوین شده شکوفا شود، هموار می‌کند. اما این ممکن

است باعث از بین رفتن ثبات علم و نظم سازمان یافته آن بشود (۱۶). در سال‌های اخیر هک زیستی توانسته رابطه بین علم و هنر را برجسته‌تر کند که ما شاهد حضور تعدادی از هنرمندان، مجریان تلویزیونی، مستندسازان، نقاشان و کارگردانان در حوزه هک، هم پای مختصصان زیست شناسی بوده‌ایم. همچنین پرداختن به زیبایی شناختی‌های جسمانی و رسیدن به تناسب اندام یکی از اهداف اصلی فعالان در سومین دسته هک زیستی می‌باشد (۸). به گفته تعدادی از هکرهای زیستی، علم شهروندی نه تنها محل تحقیق و نوآوری است بلکه امکانی برای آزمایشات هنری و سیاسی نیز فراهم آورده است تا جایی‌که برخی اوقات عمل هکرها تنها با اهداف سیاسی و تبلیغات سیاسی دنبال می‌شود (۳). هکرهای زیستی معمولا دانش تخصصی در حوزه زیست شناسی را دارند اما افرادی که توسط آن‌ها تشویق به مشارکت در علم می‌شوند ممکن است فاقد ابتدایی‌ترین دانش‌های علمی باشند که همین امر احتمال مرگ و آسیب به آن‌ها و انسان‌هایی که هدف آزمایشاتشان قرار می‌گیرند را افزایش می‌دهد. علاوه بر این‌ها، تداخلات دارویی، نحوه معدوم سازی زباله‌های زیستی، عدم آشنایی با نحوه صحیح رفتار با جراحات حاصله حین آزمایشات و تحت تاثیر قرار دادن ناخواسته افرادی که اطراف آزمایشگاه‌های غیرقانونی و غیر استاندار هکرها می‌باشند، می‌تواند عوارض زیست محیطی جبران‌ناپذیری داشته باشد. تمامی این‌ها باعث گردیده جوامع نتوانند نسبت به دادن مجوز به هکرهای زیستی بابت تاسیس آزمایشگاه‌های مستقل، تشکیل صنف و مجله علمی و انتشار قانونی نتایج آزمایش‌هایشان تصمیم قطعی بگیرند (۱۲). البته علم‌های باز می‌توانند منجر به شکل‌گیری کسب و کارهای جدید براساس توانمندی صاحبانشان نه ثبت اختراع شوند. ثبت اختراع و اعطای امتیاز همیشه برای فردی است که سریع‌تر یک طرح و داده را معرفی می‌کند و لزوما دلیلی بر توانمندی او در اراده یک شرکت نوین نمی‌باشد. به این ترتیب تعدادی از فعالان حوزه اخلاق و زیست شناسی اعتقاد دارند مباحث پیرامون هک زیستی و علوم باز باید برای تعیین سیاست‌های جدید کنترلی باشد نه محدودسازی این حوزه و متوقف کردن آن (۱۰).

افراد تاثیرگذار، وقایع و فناوری‌های مهم در هک زیستی

مشابه هکرهای سایبری، اکثر هکرهای زیستی فعال در حوزه‌های سیاه هم تمایل به مخفی کردن هویت خودشان دارند. هکرهای زیستی اصولا از روش‌های معمول استفاده نمی‌کنند و برای کسب شهرت آزمایشات را مستقیم روی خودشان انجام می‌دهند. البته برخی از روش‌های هک زیستی که امروزه به عنوان هک بدن شناخته می‌شوند از دیرباز توسط آزمایش‌های علمی تایید شده‌اند مثل مراقبه برای ذهن، آگاهی و کاهش استرس. اما تعدادی دیگر از روش‌ها از پشتوانه علمی برخوردار نیستند مانند استفاده از حمام مادون قرمز برای جلوگیری از پیری و بازسازی سلول‌های مرده (۱۹). همچنین به گفته هکرهای زیستی برای جلوگیری از روند طبیعی پیر شدن می‌توان خون افراد جوان را به افراد مسن تزریق کرد، زیرا معتقدند این کار از بیماری‌های قلبی، آلزایمر، پارکیسیون و مالتیپل اسکلروزیس پیشگیری خواهد کرد. اما FDA با آن‌که این ادعا را رد نکرده توصیه می‌کند به هیچ عنوان از چنین درمان‌هایی استفاده نشود. نگرانی این سازمان شیوع انواع بیماری‌های خونی ضمن انتقال کنترل نشده خون بین افراد مختلف می‌باشد. مورد بسیار خطرناک‌تر پیوند مدفوع از یک فرد سالم به فردی است که از مشکلات گوارشی رنج می برد. FDA این را هم تایید نکرده و گزارش می‌کند این روش که تاکنون باعث مرگ یک نفر شده هنوز در بخش کارآزمایی‌های بالینی قرار دارد (۱۸). با آنکه سازمان‌های اصلی نظارتی فعالیت هکرهای زیستی را تایید نکرده‌اند و برای انتشار روش‌های درمانی و محصولات تولیدی آن‌ها مجوز صادر نکرده‌اند، اما انجمن‌های محلی چون Bio Curious در کالیفرنیا و مراکز تحقیقاتی مانند Gene Space در حال افزایش آگاهی جمعی نسبت به علوم شهروندی و هک زیستی می‌باشند. Bio Curious نشست‌های علمی با حضور دانشمندان، دانشجویان و افراد آماتور علاقه‌مند به زیست شناسی برگزار می‌کنند و رسالت Gene Space آموزش تخصصی علم زیست فناوری به دانش‌آموزان مقطع دبیرستان و دانشجویان در مراحل ابتدایی تحصیل می‌باشد. همچنین آزمایشگاه منبع باز BOSSlab و آزمایشگاه زیر زمینی BUGSS با هدف آموزش زیست شناسی مصنوعی و هک زیستی به شهروندان علاقه‌مند تاسیس شدند، میزبان کارگاه‌های تخصصی می‌باشند و این امکان را برای افراد فراهم می‌کنند تا پروژه‌های شخصی خودشان را راه اندازی کنند. لازم به ذکر است این تاسیسات عموما مواد اولیه برای اعمال هک زیستی را با هزینه بسیار پایینی در اختیار شرکت کنندگان قرار می‌دهند (۱۵). گروه BHC یکی دیگر از گروه‌های فعال در هک زیستی است که در سال ۲۰۱۳ در فنلاند شکل گرفت که علاوه بر برگزاری جلسات سالیانه، اعضای آن به تالیف کتاب‌های مرتبط با فناوری هک مشغول هستند. در حال حاضر این گروه به یکی از فروشگاه‌های اصلی برای عرضه محصولات هک زیستی اعم از مکمل‌های غذایی، کیت‌های پزشکی، ابزارآلات آزمایشگاهی و غیره تبدیل شده است. BioNyfiken نیز گروه مشابهی است که سال ۲۰۱۴ در سوئد پایه‌گذاری شد (۲۱). با همه این‌ها هنوز نمی‌توان براورد صحیحی از تعداد افراد فعال در حوزه هک زیستی به دست آورد و نرخ ورود و خروج مردم به این علم را تخمین زد (۱۶).

تجمع هکرهای زیستی برای برقراری ارتباط با هم، عموما در شبکه‌های اجتماعی مانند YouTube، Slack، WeFast و یا WhatsApp می‌باشد. هکرها معتقدند مخالفت با فعالیت‌های آن‌ها و وضع قوانین محدود کننده، نتیجه معکوس خواهد داشت، زیرا صرفا باعث مخفی ماندن روند آزمایشات و انجام آن‌ها در مکان‌های نامتعارف‌تر خواهد شد و می‌گویند هیچ کنترل فیزیکی برای مقابله با هک وجود ندارد. برخی از محققان بر این باورند انسان‌ها از ابتدای خلقت خواسته یا ناخواسته در حال انجام هک

زیستی بوده‌اند و نگرانی‌های امروزی ناشی رویارویی با چیزهای جدید می‌باشد، چراکه این فناوری به خودی خود آنقدرها هم خطرناک نیست. این رخدادها اصلی‌ترین عواملی است که باعث شد نهادهای نظارتی به فکر وضع محدودیت‌ها برای هکرهای زیستی بیوفتند، اما برخی افراد این واکنش دولت را خلاف آزادی بیان تلقی و محکوم می‌کنند (۲۲). برخلاف دهه‌های گذشته، امروزه می‌توان تجهیزات آزمایشگاهی و مواد زیستی اولیه را به راحتی و عموما به صورت قانونی از سایت‌های اینترنتی خریداری نمود. یکی از این سایت‌ها Ebay می‌باشد که سفارشات را از طریق پست معمولی به دست مشتریان می‌رساند. این سایت اینترنتی تمام اقلامی که سابق بر این منحصر به آزمایشگاه های تحقیقاتی بودند، از قبیل ترموسایکلر، سانتریفیوژ، اتوکلاو و بسیاری موارد دیگر را در اختیار هکرها قرار می‌دهد و به صورت کاملا قانونی و با مجوز فعالیت می‌کند. با آنکه تصوری منفی نسبت به برخی از جنبه‌های هک زیستی وجود دارد اما کسب مواد و ابزارهای اولیه برای شروع یک هک زیستی هدفمند به راحتی قابل تهیه می‌باشد و اکثر سایت‌های فروشنده هیچ اقدامی در جهت احراز هویت خریداران و غربالگری آن‌ها انجام نمی‌دهند. علاوه بر این، قیمت مواد و وسایل مورد نیاز تا حد قابل توجهی کاهش یافته است به طوری که قبل از سال ۲۰۱۵، جمعی از نویسندگان BBC بدون هیچ تجربه آزمایشگاهی توانستند یک آزمایشگاه با هزینه‌ای در حدود ۵۰۰۰ دلار راه‌اندازی کنند. آن‌ها با هدف آزمایش مسائل امنیتی و ایمنی توانستند تمامی مواد زیستی و شیمیایی مورد نیاز، از جمله ریسین را از شرکت‌های مربوطه، بدون اعمال شدن هیچ محدودیتی سفارش دهند (۱۵).

ابزارهای ویرایش ژنی چون ZFN و TALEN همیشه جزو ابزارهای کار هکرهای زیستی بوده‌اند اما ظهور فناوری ویرایش ژنی مبتنی برکریسپر–Cas و سهولت به کارگیری آن توسط افراد آماتور، بیش از هر فناوری دیگری توجه هکرهای زیستی را به خودش جلب نمود و به یکی از بازوهای اصلی کار هکرها و دانشمندان DIYbio تبدیل گردید. کریسپر به دلیل انعطاف‌پذیری بالایی که دارد و می‌توان با حداقل امکانات و دانش پایه زیست شناسی آن را برای ویرایش هر ژن دلخواهی باز طراحی نمود، کاربرد گسترده‌ای در علم شهروندی پیدا کرده است (جدول ۱) (۲۳). کاربردهای این فناوری منحصر به ویرایش ژنوم نبوده و می‌تواند در حوزه اپی‌ژنتیکی و تشخیصی نیز فعالیت نماید و کیت‌های تشخیص خانگی را توسعه بخشد. توسعه این کیت‌ها عموما بعد از اخذ مجوزهای لازم از سازمان‌های بهداشتی می‌باشد اما کیت‌های کریسپری خانگی برای اعمال ویرایش‌های ژنتیکی یا اپی‌ژنتیکی تا به امروز تحت انحصار هکرهای زیستی و فاقد کسب تاییدیه‌ها بوده است. بعد از معرفی شدن کریسپر جذابیت اعمال هک زیستی در ژنوم جانداران برای هکرها افزایش یافت و فعالیت‌های متنوعی چون دستکاری ژنوم جلبک‌ها برای درخشیدن در تاریکی، تغییر اندازه حیوانات مختلف و درمان بیماری‌هایی چون تبخال انجام گرفت (۱۱). Josiah Zayner معروف‌ترین و پرحاشیه‌ترین هکر زیستی فعال در ایالات متحده آمریکا نیز بیشتر فعالیت‌هایش را در راستای توسعه هک با فناوری کریسپر، بنا نهاده و تعدادی کیت کریسپری برای ویرایش جانداران تولید کرده است. FDA بعد از مشاهده فعالیت‌های Zayner فروش کیت‌های کریسپری توسط او را غیرقانونی اعلام کرد اما او توجهی نکرد تا در نهایت متهم به طبابت بدون مجوز شد. به جز فناوری‌های نسل جدید در ویرایش ژن، ابزارهای بیوانفورماتیکی و الگوریتم‌های زیستی برای طراحی‌های اولیه و مدل‌سازی‌های رایانه‌ای نیز یکی دیگر از بازوهای هک زیستی می‌باشند (۸).

از سوی دیگر حوزه‌ای از هک زیستی وجود دارد که ابزارها یا کدهایی را درون بدن افراد تعبیه می‌کند تا انسان‌ها را قادر سازد از آن‌ها به جای کلید برای ورود به منزل، کارت اعتباری، کارت سوخت و یا سایر وسایل الکترونیکی استفاده کنند. اولین شرکت آمریکایی که ریزتراشه‌ها را درون بدن کارمندانش تعبیه کرد شرکت Three Square Market بود. پیشرفت این ریزتراشه‌ها تا جایی است که حتی قادر به کنترل مغز و قلب انسان‌ها و ایجاد توهم نیز شده‌اند و ضمن کنترل دائمی وضعیت جسمانی یک فرد، رژیم غذایی و فعالیت‌های ورزشی که بیشترین تناسب را با فیزیولوژی وی دارند برنامه‌ریزی نماید (۲۰). واژه سایبورگ ترکیبی از دو واژه سایبرنیک و ارگانیسم است و به موجوداتی اشاره دارد که از اجزای زیستی و ریزتراشه‌های مکانیکی تشکیل شده‌اند. حوزه پزشکی یکی از پرکارترین زمینه‌هایی است که از سایبورگ‌ها استفاده کرده و فعالیت‌هایش در چهار بخش اندام‌های مصنوعی، کاشت حلزون مصنوعی گوش در زیر پوست، ضربان سازها برای درمان بیماران قلبی و ایمپلنت‌هایی که مستقیما با اعصاب بدن در ارتباط هستند، خلاصه می‌شود. Neil Harbison به عنوان اولین انسان سایبورگ، در سال ۲۰۰۴ خود را به جامعه علمی معرفی کرد. آنتن وای فای فعال که در جمجمه او کاشته شده است، ارتعاشات شنیداری را از طریق جمجمه‌اش ارسال می‌کند تا اطلاعاتی را به او گزارش دهد. این اطلاعات شامل اندازه‌گیری تشعشعات الکترومغناطیسی، تماس‌های تلفنی، موسیقی و همچنین فیلم‌ها یا تصاویری است که به ارتعاشات شنیداری ترجمه می‌شوند (۱۸).

گروهی از هکرهای زیستی تحت عنوان گریندرها (Grinders)، معتقدند ابزار و دانش متعلق به همه مردم است، محدودیت‌های اخلاقی را قبول ندارند و از افزایش قابلیت‌های فیزیولوژیکی و فکری انسان با فناوری‌های زیستی پیچیده حمایت می‌کنند (۲۵). Zayner موسس شرکت اینترنتی اودین (Odin) نیز همین اعتقاد را دارد. او در یک کنفرانس علمی محتویات یکی از کیت‌های کریسپری که خودش برای تقویت عضله‌ها طراحی کرده و ساخته بود را به بازویش تزریق کرد، همچنین وی برای درمان مشکلات گوارشی‌اش پیوند مدفوع را روی خودش انجام داد که در همین راستا

جدول-۱. مقایسه ویژگی‌های ابزارهای ویرایش ژنی مورد استفاده هکرهای زیستی (۲۴)

Nuclease / Mechanism of action	Meganuclease	ZFNs	TALEN	CRISPR/Cas9
DNA system	Protein-DNA	Protein-DNA	Protein-DNA	RNA-DNA
Synonymous with targeting	12-45 games	18-36 games	30-40 games	22 games
Price	Much	Much	medium	Low
Off-target events	Low	Comparable	Comparable	Comparable
release therapy	simple	simple	complicated	medium
Multiple targeting	complicated	complicated	complicated	simple
specificity (off target)	Very specific	Relatively non-specific	exclusive	Relatively non-specific
Requires dimerization	no	Yes	Yes	noVector
noVector packaging	simple	complicated	complicated	medium

با نمایش ویدیویی اقدامی که کرده بود، مستند Gut Hack را منتشر ساخت (۷). او با لحن خشنی از هک سیاره زمین، در سایت اینترنتی و شبکه‌های اجتماعی‌اش صحبت می‌کند (۸). David Ishee از آمریکا نیز از کریسپر برای ویرایش ژن‌های دو نژاد مختلف از سگ‌هایش استفاده نمود تا آن‌ها قوی‌تر شوند و توانایی درخشیدن در تاریکی را به دست آوردند. Dariia Dantseva نیز فردی است که اولین آزمایشگاه رسمی هک زیستی را در اوکراین تاسیس کرد. در اپیدمی کرونا، این سه فرد یکی از واکسن‌های ویروس کرونا که هنوز مراحل بالینی‌اش را طی نکرده بود، تولید کرده و به طور مشترک طی یک برنامه زنده مجازی در برابر تعداد زیادی از بازدیدکنندگان، آن را به خودشان تزریق کردند (۱۶). همچنین طرفداران ایجاد تداخل در پیری طبیعی جسم، پیر شدن انسان‌ها را یک بیماری تلقی می‌کنند که این در تضاد با اخلاق زیستی است؛ هکرهای زیستی برای رسیدگی به این عقیده نیز فعالیت‌های خارج از عرفی انجام می‌دهند که اکثرا مورد تایید سازمان‌های بهداشتی و پزشکان نمی‌باشد. به عنوان مثال Dave Asprey برای طولانی‌تر شدن عمرش، سلول‌های بنیادی را به مفاصلش تزریق کرده، روزانه ده‌ها مکمل مصرف می‌کند و در نور مادون قرمز حمام می‌گیرد. این فرد خودش را پدر هک زیستی معرفی می‌کند و شرکت Bulletproof را در جهت تجاری‌سازی محصولات ساخته شده با فناوری هک تاسیس کرد. او همچنین ایده افزایش عمر تا ۱۸۰ سالگی را با هک زیستی مطرح کرده است (۲۱). علاوه بر این افراد، Bill Gates که یکی از مخالفان سرسخت هک سایبری است اذغان داشته اگر هنوز یک نوجوان بود حتما تبدیل به یکی از هکرهای زیستی می‌شد (۱۰)، Amal Grafstra یک تراشه را در دست راست خود قرار داده است، Liz Parrish در یک آزمایشگاه مخفی در آمریکای جنوبی با هدف جلوگیری از پیری، خودش را تحت ژن درمانی قرار داده، Gabriel Licinia کلر e6 را به چشمانش تزریق کرد تا توانایی دیدن اشیا در تاریکی را به دست آورد، Rich Lee ایمپلنت‌هایی را در گوش خود کاشت تا امواج صوتی را با قدرت بیشتری بشنود و Steven Kurtz به علت تزئین موزه با تعدادی از باکتری‌های غیربیماریزا، محکوم به انجام فعالیت‌های بیوتروریسمی شد (۱۲).

خطرات حال و آینده هک زیستی

از آنجایی که هک زیستی یک دانش نوین بوده و در مقیاس‌های کوچک مانند انبارهای متروک قابلیت انجام شدن را دارد تا حد زیادی از چشم مؤسسات نظارتی و نهادهای امنیتی دور مانده است. از طرفی به علت سادگی کار و کم هزینه بودن آزمایشات، بروز جرم‌های خرد تا حوادث بیوتروریسمی گسترده دور از ذهن نخواهد بود. صرف نظر از تهدیدات مجرمانه، ایمنی افراد هم مدنظر است. زیرا این آزمایشات عوارض جانبی و ناشناخته زیادی خواهند داشت. این آزمایشات اغلب از یک دستورالعمل مدون استفاده نکرده و تعدادی از استانداردها را زیرپا می‌گذارند و گاهی هکرهای زیستی بدون آگاه کردن افراد، آن‌ها را هدف آزمایشات خود قرار می‌دهند (۱). هکرهای زیستی با وعده داشتن فرزندانی فرا انسانی که ویژگی خاصی در آن‌ها ارتقا یافته است، مثلا بیش از حد معمول باهوش هستند یا قدرت زیادی دارند، بازه‌های مختلفی را در دوران بارداری برای تحت تاثیر قرار دادن جنین‌های انسانی تعیین می‌کنند که هیچ پشتوانه علمی ندارد. انجام این قبیل آزمایشات علاوه بر اثرات ناشناخته‌ای که می‌تواند روی جنین‌ها داشته باشد، ممکن است جسم مادران را درگیر اختلالات جدی نماید (۲۱). نگرانی دیگر شهروندانی هستند که ضمن مراجعه به هکرهای زیستی به جای آزمایشگاه‌های مجاز، تقاضا دارند این افراد بیماری‌شان را درمان کنند. حتی در برخی موارد دیده شده مردم تمایل به استفاده از داروهای ساخته شده توسط هکرهای زیستی دارند تا داروهای مجاز. علت این کار کاهش هزینه‌های درمانی و رسیدن به درمان‌های در دسترس‌تر می‌باشد، این اتفاق بیشتر از همه در مورد بیماران سرطانی مشاهده شده چرا که این بیماران بیشتر از هر چیز به دنبال کم کردن هزینه‌های مرتبط با بیماری و استفاده از روش‌های کم تهاجمی‌تر هستند. این فرآیند ایمنی بیماران را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۱). هک زیستی نگرانی حامیان محیط زیست را به دلیل دفع زباله‌های حاصل از آزمایشات هک همراه زباله‌های عادی، برانگیخته است. همچنین اثرات مستقسم روی اکوسیستم گیاهی و جانوری حین پیاده‌سازی آزمایشاتی که مراحل بالینی را طی نکرده‌اند و ایجاد تغییرات ژنتیکی کنترل نشده روی جانداران دلایل دیگری هستند که برخی محققین را واداشته استفاده از هک را منع

نمایند (۸). یکی از نگرانی‌های مقامات عالی رتبه کشورها، افتادن سم ریسین دست هکرهای زیستی و تبدیل شدن آن به یک سلاح کشنده بالفعل می‌باشد. دموکراتیک کردن علم نگرانی‌هایی در مورد امنیت و سلامت ایجاد کرد و مباحثی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ مطرح شد که تعدادی از زیست شناسان DIYbio با ماموران FBI در ارتباط بوده‌اند. FBI به آموزش هکرهای زیستی و افزایش دانش مربوط به این شاخه نوظهور فناوری زیستی تمایل دارد و صراحتا اعلام داشته هکرهای زیستی باید جزو اولین خطوط دفاعی برابر افرادی باشند که قصد اقدام علیه امنیت را دارند. در همین راستا و برای توسعه دانش مربوطه Genespace همکاری نزدیکی با FBI پیدا کرده است (۴،۱۵).

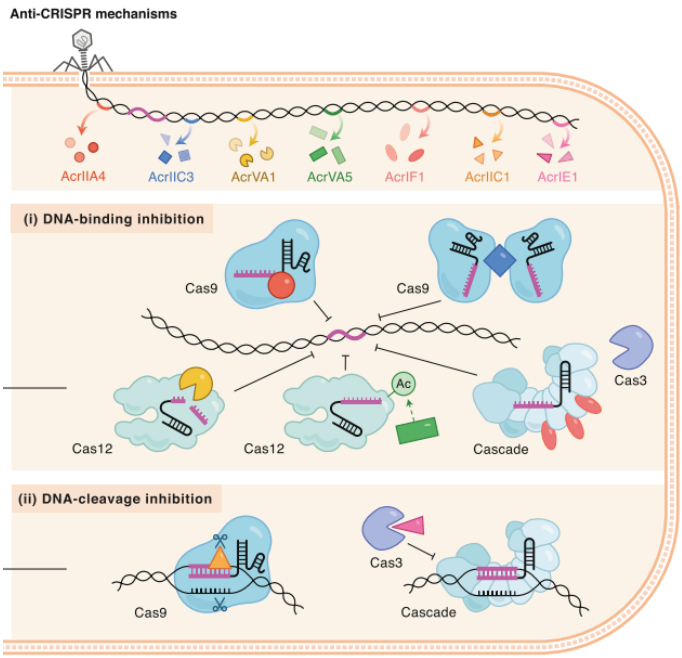
از سوی دیگر یکی از خطرناک‌ترین حوزه‌های نوظهور هک زیستی، هک سیستم عصبی با هدف درمان اعتیاد یا درمان بیماری‌های روانی می‌باشد (۶،۲۲). هک عصبی توسط افراد غیرمختصص روی جسم خودشان در جهت دستیابی به عملکرد بهتر، درمان افسردگی و بهبود حافظه به طور جدی از اواخر سال ۲۰۱۱ آغاز شد. این اتفاق توسط هکرهای زیستی و عموما روی سر خودشان توسط اعمال الکتریسیته با دستگاه‌های تجاری سازی شده مخصوصی انجام می‌شود. با آنکه هکرها تصور می‌کردند این حوزه حامیان زیادی پیدا خواهد کرد اما خوشبختانه هک عصبی در محیط خانه و توسط خود شخص تا به حال محبوبیت بالایی پیدا نکرده است، حتی برخی از فعالان هک عصبی از ادامه فعالیت‌های خود منصرف شده‌اند. عوارض گزارش شده در استفاده‌های جریان پایین الکتریسیه برای تحریک سیستم عصبی، گزگز شدن، سردرد، سرگیجه، قرمزی پوست و گاها سوختگی پوست می‌باشند (۳). امروزه هک زیستی به یکی از مسیرهای جنایت در حوزه سلامت تبدیل شده که می‌تواند تمام اجزای ژنوم افراد را به خطر بیاندازد و افراد را تحت کنترل درآورد. هک زیستی عمدی و از پیش برنامه‌ریزی شده شکل جدیدی از سلاح‌های کشتار جمعی است و طراحی‌های بیوانفورماتیکی و پشتیبانی‌های آن عموما از طریق دارک وب انجام می‌شود. استفاده از ایمپلنت‌ها و تراشه‌ها درون بدن ممکن است منجر به التهاب و واکنش شدید سیستم ایمنی شوند و این قابلیت را دارند که هکرها پیام‌های دلخواه را به آن‌ها ارسال کرده و توسط آن‌ها افراد را تحت کنترل دربیاورند، مثلا شهروندان یک ناحیه را وادار به انجام کاری کرده و به نوعی باعث بروز خفقان و سرکوب آزادی شوند. یا می‌توانند به واسطه همکاری با شرکت‌های تجاری استفاده از محصولات آن‌ها را به طور غیر مستقیم القا کنند. همچنین تعدادی از این ابزارها می‌تواند ضمن ایجاد توهم یا مرور تصاویر دلخراش، روان فرد را دچار مشکل کند. تمامی این‌ها به دلیل دسترسی طراحان این ابزارها و هکرهای زیستی به اعصاب بدن و اطلاعات ژنتیکی افراد در معرض می‌باشد (۲۶). ایده اصلی هک زیستی در تعبیه ایمپلنت‌های درون تنی، تغییر ورودی‌های بدن برای اصلاح احساسات، حافظه، تمرکز و رفتار می‌باشد. بایواستامپ یک نوع خالکوبی الکترونیکی است که می‌تواند دما و استرس افراد را کنترل کند و به صورت بی سیم اطلاعات فیزیولوژیکی را از طریق پوست دریافت نماید، اما این نوع از خالکوبی‌ها خطر سرقت اطلاعات شخصی و ژنتیکی را افزایش می‌دهند (۱۲).

همچنین با اتمام پروژه ژنوم انسانی دانشمندان نسبت به شناسایی ژنوم اختصاصی هر قوم اقدام کردند و در حال حاضر نقاط ضعف و قوت تعدادی از اقوام در سراسر جهان مشخص گردیده است، لذا ترکیب فناوری کریسپر و هک زیستی می‌تواند در جهت نسل کشی‌های گسترده یا ایجاد بیماری در یک قوم خاص استفاده شود. هک زیستی و طراحی کمپلکس‌های کریسپری شخصی‌سازی شده می‌توانند صرفاً یک فرد خاص را در معرض قرار دهند (۲۴). توسعه هک زیستی جدای از مطرح کردن فاکتورهای اخلاقی، مسؤلیت پذیری را نیز برجسته‌تر می‌کند، زیرا در صورت بروز آسیب به علت عدم وابستگی آزمایشات به نهادهای معتبر، کسی مسولیت شکست را نخواهد پذیرفت (۲). هکر زیستی می‌تواند DNA مخرب را سنتز و برای استتار، آن را در میکروارگانیسم‌های رایج مانند *ایکولای* جاگذاری کند و سپس با آلوده کردن سطوح مختلف، مانند نیمکت‌های پارک یا وسایل نقلیه عمومی افراد را در معرض قرار دهد. همچنین ممکن است هکر زیستی برای تحت تاثیر قرار دادن یک اجتماع از محرک های ژنی (Gene Drives) بهره بگیرد (۲۷). درایوهای ژنی که به بمب‌های ژنی نیز معروف هستند، این قابلیت را دارند که یک بیماری برنامه‌ریزی شده را به سرعت درون یک جمعیت شایع کرده و با موفقیت به نسل‌های بعدی منتقل شوند تا یک اصلاح ژنتیکی هدفمند را در جمعیت مشخصی اعمال کنند. براین اساس ترکیب کریسپر و هک زیستی می‌تواند منجر به ساخت بمب‌های زیستی مثلا برای القا سرطان گردد؛ داده‌های سرطانی در این نوع از حملات می‌توانند از طریق ناقل-های ویروسی منتقل شوند (۲۸،۲۹). همچنین باکتری *ایکولای* نشان داده است یکی از مناسب‌ترین ناقل‌ها برای حمل کدهای زیستی مخرب می‌باشد. با آنکه دکتر Yanio Ehrlich استاد دانشگاه کلمبیا می‌گوید ما می‌توانیم حتی باکتری‌های پوست خود را حامل کدهای آسیب‌زا کنیم اما محققانی مانند James Revill خاطر نشان می‌کند، استفاده از کریسپر برای آسیب رساندن به یک جامعه به این آسانی‌ها نیست زیرا ایجاد سلاح زیستی با فناوری کریسپر به دانش زیادی نیاز دارد (۱۹). جدیدترین نسل هک زیستی به نام هک زیستی جدید (Neo biohack) شناخته می‌شود که متشکل از چهار تخصص مهندسی ژنتیک، مهندسی سایبری، بیوانفورماتیک و مهندسی زیست پزشکی می‌باشد. حمله‌های استراتژیک و جاسوسی اطلاعات در این نسل هک زیستی قرار دارند (۲۰). با توجه به اینکه هکرهای زیستی از فناوری‌های نوین و ساده به منظور توسعه اهداف و محصولات خود، بهره می‌گیرند، تمایل به گسترش آن در قالب علم شهروندی را نیز دارند. براین اساس توسعه فناوری‌های نوینی نظیر ویرایش ژنی و ژنتیک

معکوس در صنایع مختلف تولید فراورده‌های زیستی و سلامت، کارایی زیادی داشته و در حال توسعه است. بطوریکه از کریسپر در صنعت مرغداری به منظور شناسایی تخم‌مرغ‌های یک روزه و جلوگیری از معدوم‌سازی جوجه‌های نر استفاده شده است (۲۶). علاوه بر این از این فناوری‌ها در توسعه عوامل بیماری‌زای نوظهور و نوپدیدی که سبب بروز اپیدمی‌های جهانی می‌شود، نیز استفاده شده است. پاندمی کرونا مثال بارزی از این موارد در عصر معاصر است که نظریه دستکاری ژنتیکی بودن آن، مطرح شده است (۳۰).

راهکارهای مقابله با هک زیستی

راهکارهای مقابله با هک زیستی به دو دوسته راهکارهای علمی و اجتماعی تقسیم می‌شود. راهکارهای علمی شامل مسیرهای زیستی و اثبات شده برای از کار انداختن المنت‌های مورد استفاده هکرها می‌باشد. این مسیرهای علمی یا باید در جهت مقابله با تغییرات ژنتیکی ایجاد شده توسط هکرها توسعه پیدا کند، یا در جهت غیرقابل دسترس کردن ریزتراشه‌های درون‌تنی برای هکرهای سایبری. پروتئین‌های آنتی کریسپری یا Arc، یکی از المنت‌های زیستی است که می‌تواند فعالیت کریسپر را محدود کرده و آن را غیرفعال کند، لذا می‌توان از آنتی کریسپرها در حوزه پدافندی برای مقابله با حملات پیش‌بینی نشده هکرهای زیستی که از راه کریسپر وارد می‌شوند، بهره برد (شکل ۲) (۳۱،۳۲). آنتی کریسپرها می‌توانند درون فاژها و پلازمیدها کد گذاری شوند تا از آن‌ها در خنثی‌سازی هر حمله‌ای که توسط کریسپر ایجاد می‌شود، بهره برد. البته خود آنتی کریسپرها نیز ممکن است برای انسان تهدید محسوب شوند. لذا محققان در سراسر دنیا در حال توسعه آنتی کریسپرهایی هستند که بتوانند ضمن سازگاری با بدن انسان، تهدید ایجاد شده را نیز خنثی کنند. راهکار زیستی دیگر توسعه محرک‌های ژنی علیه تغییرات ژنتیکی اعمال شده توسط هکرها می‌باشد که می‌تواند حملاتی را در مقیاس وسیع خنثی نماید. نکته قابل توجه در مورد محرک‌های ژنی آن است که محدود به از کار انداختن کریسپر نیستند و می‌توان آن‌ها را برای مقابله با طیف وسیعی از تغییرات ژنتیکی ناخواسته و برنامه‌ریزی شده طراحی نمود (۳۳،۳۴). راهکارهای اجتماعی شامل نظارت‌های دولتی و سازمانی می‌باشند. در آمریکا علاوه بر سازمان‌های نظارتی چون FDA، نهاد NSABB برای تجزیه و تحلیل مسائل مربوط به زیست شناسی مصنوعی تاسیس شده است. دانشمندان، نظامیان بازنشسته، پزشکان و دانشجویان رشته‌های حقوق و علوم افراد عضو در NSABB می‌باشند. این سازمان نگرانی خودش را از ساخت ژن‌های مصنوعی ابراز کرده و پیشنهاد می‌دهد فعالیت‌های حوزه هک زیستی وابسته به یک نهاد نظارتی و امنیتی ادامه پیدا کند. همچنین توسعه نظارت‌های معروف به science-watch توسط NSABB توصیه می‌شود تا ضمن نظارت‌های دائمی فعالیت هکرهای زیستی، آن دسته از هکرهایی که تمایلات مجرمانه دارند نیز شناسایی شوند. در سال ۲۰۱۰ کمسیون ریاست جمهوری در ایالات متحده تشکیل شد تا مسائل مربوط به اخلاق زیستی را بررسی نماید. این کمیسیون عنوان می‌کند نباید آزادی محققین سلب شود و جلوی تحقیقات زیستی تنها زمانی باید گرفته شود که اثبات شود فعالیت‌های آن‌ها خلاف امنیت و ایمنی می باشد. همچنین خطری را از جانب توسعه ارگانیسم‌های جدید توسط بیوهکرها احساس نمی‌کند و ضروری نمی‌داند که محدودیت‌هایی صرف کنترل بیوهکرها اعمال شود (۱۵).



شکل-۲. غیرفعال سازی فعالیت کمپلکس کریسپری در مراحل مختلف فعالیت توسط آنتی کریسپرها (۳۲).

اکثر قوانین و چهارچوب‌های وضع شده محدودیت‌هایی در استفاده از سموم و ارگانیسم‌هایی که کاربردی در توسعه سلاح‌های کشتار جمعی و آسیب گسترده به مهره داران را دارند اعمال می‌کند و افرادی که سابقه کیفری دارند را از مشارکت در آزمایشات زیستی امنیتی منع می‌کند. اما از آنجایی که هکرها از هر راهی که بتوانند مواد مورد نیازشان را تامین می‌کنند و در جای مشخصی اطلاعات هویتی شان را ثبت نمی‌کنند، عملا هیچ قانون، کنوانسیون و نهادی توانایی کنترل کردن آن‌ها را نخواهد داشت. البته این موضوع در رابطه با دانشمندان حوزه DIY که تنها سعی در گسترش علوم شهروندی دارند صدق نمی‌کند و عموم این محققین جزو افراد خوشنام جامعه می‌باشند (۱۵). برخی از مجوزها برای فعالیت هکرها، مانند هک باکتری‌ها یا میکروبیوم جاندارانی غیر از انسان، برای صادر شدن وابسته به سازمان‌های بهداشتی و غذا و داروی کشورها نیستند، به عنوان مثال این سازمان‌های نظارتی می‌توانند مشخص کنند کدام مواد زیستی در اختیار هکرها قرار بگیرند یا آن‌ها تا چه حد می‌توانند در حوزه ویرایشی پیشروی کنند اما نمی‌توانند تعیین کند کدام باکتری‌ها یا ویروس‌ها هدف فعالیت‌های هکری باشند و توانایی نظارت بر اینکه اطلاعات تا چه حد بین دانشمندان و هکرها مبادله شوند را ندارد. از همین‌رو نیاز به تاسیس یک سازمان جهانی مختص به هک زیستی و برگزاری کنفرانس‌ها و نشست‌های فراملی در این رابطه برای تصمیم‌گیری بابت تعیین چهارچوب‌هایی برای این علم شهروندی همچنان برطرف نشده است (۱۱). به جز اقدامات زیستی برابر هکرها، دولت و دانشمندان نیز باید در جهت محدود کردن فعالیت این افراد گام‌های موثری برداشته و خواستار تعیین قوانین محدودکننده برای فعالیت آنان باشند (۳۵). اما از آنجایی که هکرها معمولا ظاهر و رفتار جذابی برای جوانان دارند و از نظر برخی افراد کارهای شگفت انگیزی انجام می دهند ما شاهد افزایش تعداد افرادی هستیم که به این حوزه جذب شده و تمایل به بهره‌مندی از محصولات این افراد یا حتی پیوستن به آن‌ها را دارند. شکایت دانشمندان نسبت به حقوق ثبت اختراع می‌تواند برای مقابله با هک زیستی مفید باشد. در جامعه نیز باید این فرهنگ جا بیوفتد که هک زیستی خارج از عرف یک اتهام بوده و برای فرد مجری آن، مجازات کیفری در نظر گرفته شود (۳۶).

آمریکا برخلاف کشورهای اروپایی علنا ویرایش ژن را ممنوع اعلام نکرده و اقدامی جدی علیه هکرهای زیستی انجام نداده است، اما FDA نسبت به کیت‌های ویرایشی کریسپر ابراز نگرانی کرده است و فروشندگان تجهیزات زیستی را ملزم کرده تا در صورت تجاری سازی کیت‌های ویرایشی حتما خرید و فروش‌ها را به این سازمان اطلاع رسانی کنند. از طرفی سازمان‌های نظارتی موجود، مستلزم وضع و اجرای قوانین بر فعالیت‌های پزشکی می‌باشند اما طبق اظهار هکرها، فعالیت آن‌ها محدود به حیطه پزشکی نمی‌باشد و آن‌ها دلایل سیاسی، فلسفی، هنری و تفریحی

نکات بالینی کاربردی برای جوامع نظامی

- استفاده از هک زیستی در جهت طراحی سربازان آینده نیز قابل تامل و توجه است. به اعتقاد بسیاری از دانشمندان و محققین همانگونه که سیستم عامل رایانه شخصی افراد قابل هک شدن است، ژنوم انسان و موجودات زنده یا به بیان برخی متخصصین، سیستم عامل گوشت بدن یا MeatOS (Meat Operating System) نیز قابل هک شدن است. در این راستا می‌توان هم در جهت تقویت سربازان و هم کنترل آن‌ها اقدام کرد. این فرایند در خصوص هک مغز و ذهن نیز قابلیت اجرایی شدن دارد. مغز بر احساسات، فرآیندهای فیزیولوژیکی، ترشح هورمون‌ها، حافظه، تمرکز، توانایی یادگیری و پردازش اطلاعات و غیره تأثیر می‌گذارد. فاکتور نوروتروفیک مشتق از مغز (BDNF) اصطلاحی است که اغلب در هک زیستی مغز مورد بحث قرار می‌گیرد، زیرا این پروتئین تخصصی باعث رشد نوروژنز (سنتز نورون‌های جدید) و نوروپلاستیسیته (توانایی مغز برای ایجاد مسیرهای عصبی جدید) می‌شود. دانشمندان از BDNF به عنوان معجزه رشد برای مغز یاد می‌کنند. مشخص شده است که سطوح بالاتر BDNF با عملکرد کلی شناختی و حافظه بهتر مرتبط است و حتی ممکن است اثرات محافظت‌کننده عصبی را ارائه دهد. بر این اساس، بسیاری از هک‌های زیستی مغزی برای افزایش سطح BDNF افراد در نظر گرفته شده‌اند، اما فرض اصلی هک زیستی مغزی این است که فرد باید به طور منظم از مغز خود مراقبت کرده و آن را آموزش دهد. درنتیجه هر فرد باید برای ذهن خود مهندس نرم‌افزار باشد. برخی نمونه‌های هک زیستی مرتبط با مغز به شرح زیر است، مصرف نوتروپیک‌ها یا مکمل‌های تقویت‌کننده شناخت، استفاده از داروهای روانگردان (نظیر LSD)، تمرین در کنترل امواج مغزی، درمان با تحریک مغناطیسی ترانس کرانیال (TMS)، درمان نوروفیدبک، آرام بخشی یا مدیتیشن، نفس کشیدن، ورزش منظم برای تحریک تولیدBDNF، بازی‌های فکری مانند جدول کلمات متقاطع و سودوکو (۴۰).

نیز از آزمایش‌هایشان دارند (۱۱). دارپا برنامه ژن‌های ایمن را برای مقابله با خطرات فناوری کریسپر و کشف آنتی کریسپرهای جدید راه انداخته است و FBI در مورد خطراتی که هک زیستی می‌تواند در حملات بیوتروریسمی داشته باشد، واکنش نشان داده است (۳۷). به جز آمریکا که یکی از اصلی‌ترین قطب‌های فعالیت هکرها می‌باشد، اوکراین نیز یکی از کشورهایی است که قوانین دست و پاگیری برای هک ندارد و آزمایشگاه‌های هک زیستی رسما در این

کشور فعال هستند. با آنکه آزمایشات DIYbio مستقل و توسط افراد غیرمختصص انجام می‌گیرند اما نهادهای مسؤل و دانشمندان برجسته باید تا حد امکان نتایج و دستورالعمل‌های منتشر شده را رصد کرده و موارد مفید و ایمن را از بین آن‌ها جدا کنند. اعتماد به آزمایشات DIYbio به دلیل کسب نکردن تاییدیه های لازم تا حدودی دشوار می‌باشد (۳۸،۳۹). هک زیستی یک جنبش علمی–فرهنگی است که راهکار دیگر برای مقابله با آن افزایش دانش مربوطه و فرهنگ سازی درست نسبت به عواقب و عوارض آن از طریق برگزاری کارگاه‌ها، کنفرانس‌ها و دوره‌های آموزشی برای عموم افراد می‌باشد، از این طریق علاوه بر آگاه‌سازی آماتورهای مشتاق به مشارکت در توسعه علم شهروندی، تعدادی از محققین فعال نیز نسبت به نتیجه فعالیت‌هایشان، بینش صحیحی پیدا خواهند کرد و تصمیمات صحیحی اتخاذ می‌نمایند (۸،۲۱).

نتیجه‌گیری

هک زیستی به خودی خود یک تهدید محسوب نمی‌شود و اگر در چهارچوب‌های نظارتی و طبق دستورالعمل‌های آزمایشگاهی پیشروی کند چه بسا مفید واقع شود. طبق گزارشاتی اثبات شده هک زیستی می‌تواند به یکی از ابعاد مهم ژن درمانی تبدیل شود. همه هکرهای زیستی قصد انجام کارهای مجرمانه یا ایجاد اختلال در روند طبیعی آزمایشات را ندارند، بلکه صرفا خواستار پیشرفت سریع‌تر علم و عرضه ارزان‌تر درمان و داروها می‌باشند. از طرفی اگر جنبش DIYbio در یک مسیر درست و زیر نظر محققان برجسته هدایت شود، می‌تواند در حل مسائل دشوار کمک کننده باشد و منجر به توسعه کیت‌ها و روش‌های خانگی ایمن گردد. به دلیل سهولت به‌کارگیری کریسپر و تمایل هکرهای زیستی برای استفاده از آن، هک زیستی پتانسیل به مراتب بالاتری برای ورود به عرصه های مخاطره آمیز را پیدا کرده است. این خطرات می‌تواند در حد آسیب‌های جزئی به خود هکر ضمن انجام آزمایشات روی جسمش، تا ظهور سلاح‌های کشتار جمعی و شیوع یک بیماری صعب‌العلاج در یک جامعه خاص باشد. یکی از موثرترین راه‌ها برای مقابله با این نوع هک زیستی، توسعه آنتی کریسپرها است. از طرفی جدای از کاربرد هک زیستی در آسیب به ژنوم افراد، ریزتراشه‌های درون‌تنی به حدی پیشرفت کرده‌اند که می‌توانند مغز و ذهن یک فرد را در اختیار هکر قرار دهند. بحث در مورد صحیح یا غلط بودن ورود هک زیستی به جسم افراد چه از طریق دستکاری ژنوم و چه با ریزتراشه‌ها همچنان به نتیجه قطعی نرسیده است. مسائل اخلاقی، امنیتی، بهداشتی و محیط زیست، دغدغه بسیاری از دانشمندانی است که خواستار وضع قوانین کنترل کننده برای هکرهای زیستی هستند. با این حال تاکنون قوانین مدونی برای محدود کردن هکرهای زیستی مطرح نشده است. خود هکرهای زیستی اقرار کرده‌اند قوانین قدرت متوقف کردن آن‌ها را نخواهند داشت و صرفا منجر به پنهانی‌تر شدن آزمایشات می‌شوند. از طرفی پذیرش هک زیستی در یک جامعه تا حد زیادی به فرهنگ، سن، موقعیت جغرافیایی و فرد مجری بستگی دارد. درنتیجه قبل از هر اقدام محدودکننده باید تمام جوانب در نظر گرفته شود.

تشکر و قدردانی: این مقاله در راستای رصد فناوری در پژوهشکده علوم و فناوری زیستی دانشگاه صنعتی مالک اشتر، صورت گرفته است، بنابراین جا دارد تا از زحمات مسئولین این دانشگاه سپاسگزاری گردد.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Elizabeth L. Negative Implications of Biohacking Laboratories in Public Libraries. 2022. Available from: https://ir.lib.uwo.ca/fims_evolvingtech_final proj_winter2022
2. Castelyn C. Oversight of biohacking when the stakes are high: Ethics police or FBI?. Voices in Bioethics. 2020;6. doi:10.7916/vib.v6i.5898
3. Wexler A. The social context of "do-it-yourself" brain stimulation: Neurohackers, biohackers, and lifehackers. Frontiers in Human Neuroscience. 2017;11:224. doi:10.3389/fnhum.2017.00224
4. Meyer M, Vergnaud F. The rise of biohacking: Tracing the emergence and evolution of DIY biology through online discussions. Technological Forecasting and Social Change. 2020;160:120206. doi:10.1016/j.techfore.2020.120206
5. Ikemoto LC. DIY Bio: hacking life in biotech's backyard. UCDL Rev. 2017;51:539.
6. Gaspar R, Rohde P, Giger JC. Unconventional settings and uses of human enhancement technologies: A non-systematic review of public and experts' views on self-enhancement and DIY biology/biohacking risks. Human Behavior and Emerging Technologies. 2019;1(4):295-305. doi:10.1002/hbe2.175
7. Elgabry M, Nesbeth D, Johnson SD. A systematic review of the criminogenic potential of synthetic biology and routes to future crime prevention. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2020;8:571672. doi:10.3389/fbioe.2020.571672
8. Szewczyk M. On gods, pixies and humans: Biohacking and the genetic imaginary. Technoetic Arts: A Journal of Speculative Research. 2022;20(1-2):125-39. doi:10.1386/tear_00086_1
9. Zettler PJ, Guerrini CJ, Sherkow JS. Regulating genetic biohacking. Science. 2019;365(6448):34-6. doi:10.1126/science.aax3248
10. Delfanti A. Biohackers. The politics of open science. 2013.
11. Zettler PJ, Guerrini CJ, Sherkow JS. Finding a

regulatory balance for genetic biohacking. Consuming Genetic Technologies: Ethical and Legal Considerations, Cambridge Univ. Press, Forthcoming. 2020.
12. Gangadharbatla H. Biohacking: An exploratory study to understand the factors influencing the adoption of embedded technologies within the human body. Heliyon. 2020;6(5). doi:10.1016/j.heliyon.2020.e03931
13. Santos DE. Democratizing biotechnology: biohacking life in community science labs. Clark University; 2021.
14. Venter JC. Life at the speed of light: from the double helix to the dawn of digital life. Penguin; 2013.
15. Blazeski G. The need for government oversight over do-it-yourself biohacking, the wild west of synthetic biology. 2014.
16. Isaacson W. The code breaker: Jennifer Doudna, gene editing, and the future of the human race. Simon and Schuster; 2021.
17. Greguric I, editor. Philosophical Issues of Human Cyborgization and the Necessity of Prolegomena on Cyborg Ethics. IGI Global; 2021.
18. Berger KM. Emerging and Enabling Technologies in Biodefense. Defense Against Biological Attacks: Volume I. 2019:253-81. doi:10.1007/978-3-030-03053-7_13
19. Kirkpatrick J, Koblentz GD, Palmer MJ, Perello E, Relman DA, Denton SW. Editing biosecurity: needs and strategies for governing genome editing. George Mason University; 2018.
20. Termanini R. Biomedical Defense Principles to Counter DNA Deep Hacking. Academic Press; 2022.
21. Cozza M, Ellison KL, Katz S. Hacking age. Sociology Compass. 2022;16(10):e13034. doi:10.1111/soc4.13034
22. Hu C, Myers MT, Zhou X, Hou Z, Lozen ML, Nam KH, et al. Exploiting activation and inactivation mechanisms in type IC CRISPR-Cas3 for genome-editing applications. Molecular Cell. 2024;84(3):463-75. doi:10.1016/j.molcel.2023.12.034
23. Paris K. Genome Editing and Biological Weapons: Assessing the Risk of Misuse. Springer; 2023.
24. Fatollahi Arani S, Zeinoddini M. Gene editing: biosecurity challenges and risks. Journal of Police Medicine. 2023;12(1):e9. doi:10.30505/12.1.9
25. Werner E. The Coming CRISPR Wars: Or why genome editing can be more dangerous than nuclear weapons. Preprint. 2019.
26. Alizadeh M, Mardashti Z, Tanha N. Technological strategies to determine the gender of eggs. Modares Journal of Biotechnology. 2024; 15(3).
27. Islam MS, Ivanov S, Robson E, Dooley-Cullinane T, Coffey L, Doolin K, et al. Genetic similarity of biological samples to counter biohacking of DNA-sequencing functionality. Scientific Reports. 2019;9(1):8684. doi:10.1038/s41598-019-44995-6
28. Champer J, Yang E, Lee E, Liu J, Clark AG, Messer PW. A CRISPR homing gene drive targeting a haplolethal gene removes resistance alleles and successfully spreads through a cage population. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020;117(39):24377-83. doi:10.1073/pnas.2004373117
29. Choi CQ. CRISPR meets its match. 2021:699-701. doi:10.1021/acscentsci.1c00427
30. Zeinoddini M. Reasons for the creation of the new coronavirus 2019 (SARS-CoV2): Natural mutation or genetically laboratory manipulation-point of view. 2020. doi:10.29252/jrums.19.7.749
31. Rasmussen LM, Guerrini CJ, Kuiken T, Nebeker C, Pearlman A, Ware SB, et al. Realizing present and future promise of DIY biology and medicine through a trust architecture. Hastings Center Report. 2020; 50(6):10-4. doi:10.1002/hast.1194
32. Marino ND, Pinilla-Redondo R, Csörgő B, Bondy-Denomy J. Anti-CRISPR protein applications: natural brakes for CRISPR-Cas technologies. Nature Methods. 2020;17(5):471-9. doi:10.1038/s41592-020-0771-6
33. D'Amato R, Taxiarchi C, Galardini M, Trusso A, Minuz RL, Grilli S, et al. Anti-CRISPR Anopheles mosquitoes inhibit gene drive spread under challenging behavioural conditions in large cages. Nature Communications. 2024;15(1):952. doi:10.1038/s41467-024-44907-x
34. Zhu Y, Gao A, Zhan Q, Wang Y, Feng H, Liu S, et al. Diverse mechanisms of CRISPR-Cas9 inhibition by type IIC anti-CRISPR proteins. Molecular Cell. 2019;74(2):296-309. doi:10.1016/j.jmb.2023.168041
35. Ledford H. Biohackers gear up for genome editing. Nature. 2015;524(7566):398-9. doi:10.1038/524398a
36. Li E. Risks of CRISPR Gene Editing and An Answer to Them. Journal of Clinical and Nursing Research. 2020;4(4). doi:10.26689/jcnr.v4i4.1343
37. Doudna J, Sternberg S. A crack in creation: The new power to control evolution. Random House; 2017.
38. Bondy-Denomy J, Garcia B, Strum S, Du M, Rollins MF, Hidalgo-Reyes Y, et al. Multiple mechanisms for CRISPR–Cas inhibition by anti-CRISPR proteins. Nature. 2015;526(7571):136-9. doi:10.1038/nature15254
39. Vogel KM, Ouagrham-Gormley SB. Anticipating emerging biotechnology threats: A case study of CRISPR. Politics and the Life Sciences. 2018;37(2): 203-19. doi:10.1017/pls.2018.21
40. Asprey D. Smarter Not Harder: The Biohacker's Guide to Getting the Body and Mind You Want, Harper, 2023.