

مغز شما چگونه کار می کند

آزمایش های علوم اعصاب برای همه

گرب گج و تیم مارزولو

مترجمان: دکتر سید حمید آتش پور و آرشد شهرام فر



نشرخزّه

گرگ، گرگ	سرشناسه
Gage, Greg	
متن شما چگونه کار می‌کند: آزمایش‌های علوم اعصاب برای همه / گرگ گرگ، تیم مارزولو : مترجمان حمید آتش‌پور، آرش	عنوان و نام پدیدآور
شماره نشر	
بهران: زمستان ۱۴۰۲	مشخصات نشر
۲۰۲۷ میلادی / ۱۴۰۲ خورشیدی / ۳۱/۵×۱۲/۵ س.م	مشخصات ظاهری
9 622 8-81-7	شابک
فیبا	وضعیت فهرست نویسی
How your brain works : neuroscience experiments for everyone, 2022. عنوان اصلی:	یادداشت
عصب پایمنشی — آزمایش	موضوع
Neurosciences -- Experiments	
عصب پایمنشی — به زبان ساده	
Neurosciences -- Popular works	
مارزولو، تیم	شناسه افزوده
Marzullo, Tim	شناسه افزوده
آتش‌پور، سیدحمید، ۱۳۳۳ — مترجم	شناسه افزوده
شهرام‌پور، آرش، ۱۳۶۶ — مترجم	شناسه افزوده
rrvRC	رده بندی کنگره
A/P۱۶	رده بندی دیویی
۹۵۰۵۰۵۹	شماره کتابشناسی ملی
فیبا	اطلاعات رکورد کتابشناسی



هگز شما چگونه کار می‌کند
ازمایش‌های علوم اعصاب برای همه
ریدندگان: گرگ گیج و تیم مارزولو
مترجمان: دکتر امید حمید آتش‌پور و آرش شهرام‌فر

نشرخزّه

چاپ ۱۴۰۲

شمارگان: ۳۰۰ نسخه

۱۹۸ صفحه

صفحه‌آرایی: مریم نطقی طاهری

طراحی جلد: غزل فرجی

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۵۸۵۸-۸۱-۷

khazepub@gmail.com



khazepub



atashpourhamid

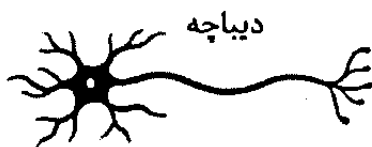


Psychologist.shahramfar

فهرست

۷.....	۱. دیاجه.....
۲۹.....	بخش یک: یاخته‌های عصبی.....
۳۱.....	۲. دیدن و شنیدن یک نورون.....
۴۰.....	۳. نورون‌های لامسه.....
۴۷.....	۴. سرعت نورون‌ها چقدر است؟.....
۵۵.....	۵. تحریک نورون.....
۶۳.....	۶. نورون‌های بویایی.....
۷۲.....	۷. سازگاری عصبی.....
۷۷.....	۸. نورون‌های بویایی.....
۸۶.....	۹. داروشناسی عصبی.....
۹۵.....	بخش دو: مغزها.....
۹۷.....	۱۰. مغز خود را ببینید.....
۱۰۸.....	۱۱. خواب.....
۱۱۷.....	۱۲. حافظه‌ی خود را هنگام خواب تقویت کنید.....
۱۲۳.....	۱۳. کنار آمدن با غیرمنتظره‌ها.....
۱۳۱.....	۱۴. ذهن‌خوانی جنبش مو.....
۱۴۰.....	۱۵. مغز شما در زمان مراقبه.....
۱۴۷.....	بخش سوم: علوم اعصاب سامانه‌ها.....
۱۴۹.....	۱۶. کنترل مغز بر بدن.....
۱۵۵.....	۱۷. سامانه‌ی عصبی خودمختار.....
۱۶۱.....	۱۸. جنبش‌های حرکتی.....
۱۶۲.....	۱۹. استخدام واحد حرکتی.....
۱۶۲.....	۲۰. حرکت‌های چشمی.....
۱۶۲.....	۲۱. خستگی عضلانی.....

- ۱۶۲.....۲۲. واکنش‌های غیرارادی
- ۱۶۲.....۲۳. زمان واکنش
- ۱۶۲.....۲۴. نتیجه‌گیری
- ۱۶۲.....پیوست: چگونه از سوسک‌های خود مراقبت کنیم؟



چرا باید علوم اعصاب را خودمان یاد بگیریم؟

ما نفس می‌کشیم و می‌بینیم که سینه‌مان بالا و پایین می‌رود. در هوای گرم پیاده‌روی می‌کنیم و عرق می‌ریزیم. دست و پای خودمان را حرکت می‌دهیم و ماهیچه‌های زیر پوستمان را می‌بینیم که منقبض می‌شوند. وقتی نزد کسی می‌رویم که دوستش داریم هیجان‌زده می‌شویم، احساس می‌کنیم تپش قلبمان افزایش می‌یابد. می‌توانیم بوی زیرزمین مادر بزرگمان، نشانه‌ها و نشانی خانه‌مان را به یاد بیاوریم. همه‌ی اینها به دلیل وجود اندامی شگفت‌انگیز، ترون سر ما ممکن می‌شود؛ مغز. درک مغز همچنان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های علمی جهان است.

تفکر اساساً چگونه رخ می‌دهد؟ مغز چگونه به بدن شما می‌گوید به جنبش درآید؟ بدن شما چگونه حواس چندگانه‌ی خودش را به مغزتان می‌رساند؟ چگونه به یاد می‌آوریم؟ چرا خواب می‌بینیم؟ چگونه نسبت به خودمان هوشیار و آگاه هستیم؟ چگونه یاد می‌گیریم؟ این پرسش‌ها از زمان تمدن‌های ابتدایی اندیشمندان را سرگشته کرده و در قالب حوزه علوم اعصاب در پی یافتن به پاسخ‌های آن هستند. در سال‌های گذشته، درک عملکرد مغز بسیار پیشرفت کرده است. با این حال، معمولاً فقط دانشمندان علوم اعصاب از این یافته‌ها استقبال کرده‌اند. برخلاف علوم زمین‌شناسی، زیست‌شناسی گیاهی، فیزیک، نجوم و دیگر پایه‌های اصلی نظام آموزشی، علوم اعصاب جایی در شکل سنتی آموزش نداشت و تدریس آن از دوره‌های پیشرفته‌ی دانشگاهی آغاز می‌شد.

صبر کن... علوم اعصاب سخت است!

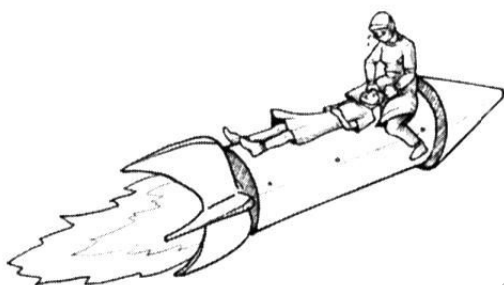
علوم اعصاب رشته‌ای بسیار پیچیده یا بسیار گسترده در نظر گرفته می‌شود که نمی‌توان آن را در دبیرستان آموخت یا به شکل خودآموز یاد گرفت. مثل‌ها و حقایقی مانند «این جراحی مغز نیست» یا «این علم موشک نیست» نشان می‌دهد هر چیزی که با مغز یا موشک ارتباط داشته باشد از نظر شناختی بسیار دشوار است. یعنی اینکه فقط شماری محدود می‌توانند حتی بکوشند با این موضوعات در دانشگاه‌های تحقیقاتی سر و کار داشته باشند. این عبارت‌ها همچنین ممکن است مربوط به موقعیت‌های پرخطر باشد - جراحی مغز خطرناک است و می‌تواند به افراد آسیب برساند و امکان منفجر شدن موشک هم بسیار زیاد است. شاید شگفت نباشد که علوم اعصاب عمدتاً در سطح دانشگاه تدریس می‌شود و آزمایش‌ها را با استفاده از مغزهای زنده اغلب فقط در مؤسسه‌های تحقیقاتی با بودجه‌ی خوب انجام می‌دهند.

اما شاید بسیار راز بودن ابزارهای تحقیقاتی دلیلی بهتر است برای اینکه چرا علوم اعصاب بیشتر به لایه‌ی درسی راه نمی‌یابد و این موضوع، به پیچیده بودن مغز ما ربط ندارد. شماری دست‌نخورده از محققان فعال علوم اعصاب در مقایسه با مصرف‌کنندگان معمولی وجود دارد. بنابراین بازاری که برای تأمین تجهیزات محققان به وجود آمده است، باید برای آداه‌های کار، حق بیمه پردازد. دانشمندان علوم اعصاب که جایگاهی تثبیت شده برای این عرصه دارند، به چنین مشکلی برنمی‌خورند، چون بودجه و کمک‌هزینه می‌گیرند، اما ابزارهای علوم اعصاب برای بیشتر دبیرستان‌ها و دانشگاه‌ها دور از دسترس است.

نیاز روزافزون به آموزش علوم اعصاب

در حالی که در درک مغز به پیشرفت‌هایی بزرگ رسیده‌ایم، در زمینه‌ی گسترده‌تر علوم اعصاب همچنان در دوران سده‌های میانه به سر می‌بریم. ما هنوز نمی‌دانیم که حافظه چگونه در مغز ذخیره می‌شود. جامعه‌ی پزشکی نمی‌تواند به شکلی مطمئن بیماری آلزایمر را تشخیص دهد تا زمانی که مغز پس از مرگ شکافته شود. اسکیزوفرنی دقیقاً چیست؟ یا افسردگی؟ از هر پنج نفر، یک نفر در مرحله‌ای از زندگی خود به بیماری مغزی مبتلا می‌شود و نکته‌ی بسیار منفی اینکه ما هیچ

درمانی برای اختلال‌های عصبی نداریم. برای دگرگون کردن این شرایط به تحقیقات مغزی اساسی و دسترس‌پذیر نیاز داریم.



مردم می‌روانند در باره‌ی مغز خود بدانند. کتابخانه‌ها و کتابفروشی‌های محلی سرشار از عناوین محبوب در زمینه‌ی علوم اعصاب و روانشناسی هستند. نویسندگان، فیلسوفان، عصب‌شناسان، روان‌شناسان و مهندسان رایانه انبوه کتاب‌ها را نوشته‌اند و تلاش می‌کنند مغز را به شیوه‌ای جذاب‌تر توضیح دهند. روی جلد نشریات اغلب به داستان‌هایی درباره‌ی آشکار شدن «ره‌های مغز» اختصاص می‌یابد. این شیفتگی به مغز بیانگر تشنگی ما برای دانش است. مغز شخصی است، مرموز است، بر تمام زندگی ما حکم می‌راند و حتی می‌خواهد خودش را هم درک کند.

متأسفانه، نبودن آموزش در حوزه‌ی علوم اعصاب زمینه را برای بهره‌برداری‌های غیر ضروری باز می‌گذارد. زمینه‌هایی مانند آموزش عصب‌بازاریابی عصبی و اقتصاد عصبی اغلب از نبود درک عمومی از عملکرد اساسی مغز سود می‌برند. بازاری روی به رشد برای محصولات بهبود سلامت مغز وجود دارد: مکمل‌های ویتامینه‌ای، روغن‌های امگا و کارافزارهایی که برای کودکان شما موسیقی کلاسیک پخش می‌کنند. همچنین مجموعه‌ای از باورهای مغزی اشتباه و مرسوم هم در جامعه نفوذ کرده است. ایده‌هایی مانند «شما فقط از ۱۰ درصد مغز خود استفاده می‌کنید» ممکن است ما را ترغیب کند سخت‌تر کار کنیم. «الکل سلول‌های مغز را می‌کشد» شاید به ما کمک کند کمتر سراغ نوشیدنی‌های الکلی برویم یا «جدول کلمات متقاطع مغز شما را جوان نگه می‌دارد» می‌تواند ما را درگیر و مشغول نگه دارد. اما هیچ‌یک از این ادعاها مبتنی بر تحقیقات علوم اعصاب نیست.

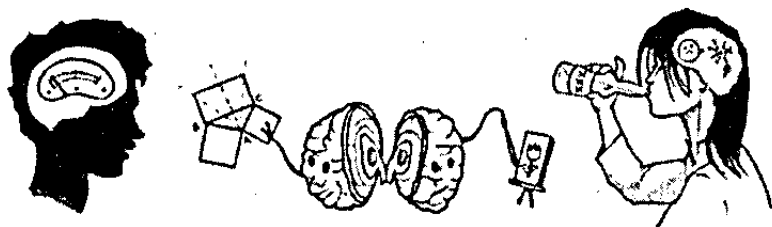
هیچ مدرک ملموس برای شخصیت‌های «چپ‌مغز» یا «راست‌مغز» وجود ندارد، اما این افسانه‌ها از علاقه‌ای بنیادین نسبت به مغز و نقش آن در رفتارهای ما حکایت می‌کنند.

انقلاب عصبی نزدیک است

علاقه به مغز همراه با فقدان ابزار تحقیقاتی عصب‌شناسی مصرفی، دورانی شبیه روزهای ابتدایی انقلاب رایانه‌ای را به اذهان متبادر می‌کند. رایانه‌ها حتی در دهه‌ی ۱۹۶۰ در دسترس، اما بزرگ و گران بودند. فقط بانک‌ها، شرکت‌ها و دانشگاه‌های بزرگ می‌توانستند رایانه بخرند. با این حال، با اختراع ریزپردازنده ۸۰۸۰ اینتل، سرانجام یک تراشه‌ی به اندازه‌ی کافی مقرون‌به‌صرفه (۷۵ تا ۳۰۰ دلار در سال ۱۹۷۶) برای معرفی نخستین رایانه شخصی - آلتایر ۸۸۰۰ - وجود داشت. این جرقه‌ای بود که انقلاب رایانه را شعله‌ور کرد. خیلی زود جامعه‌های سرگرمی دوستان شکل گرفت و ایده‌ها به اشتراک گذاشته شد. استیو ریاک، باشگاه رایانه‌ای هوم‌برو را الهام‌بخش اپل آی می‌داند. نخستین محصول مایکروسافت یک مترجم زبان بیسیک برای آلتایر ۸۸۰۰ بود. شتاب نوآوری در رایانه‌های شخصی با همگانی شدن ریزپردازنده‌ها آغاز شد و تا امروز ادامه دارد.

انقلاب الکترونیک/رایانه «اثر رایان» در پی داشت که به موجب آن، با اختراع قطعه‌های کم‌هزینه و ابزارهای منبع‌بان، امروز می‌توان با تهیه‌ی وسایل الکترونیکی لازم برای ثبت اطلاعات فعالیت الکتریکی سلول‌های مغزی، جمعیتی گسترده‌تر را به حوزه‌ی علوم اعصاب آورد.

هدف یادگیری علوم اعصاب به روش خودآموز، تکرار انقلاب رایانه‌ای با اجازه دادن به افرادی است که پیشتر به ابزارها دسترسی نداشتند تا در این زمینه به روش‌های معنادار مشارکت کنند.



انبوه نمونه‌ها وجود دارد که دانشمندان آماتور چگونه به درک جمعی ما از طبیعت می‌افزایند. به محض اینکه باشگاه‌ها و گروه‌های نجوم پدید آمدند، آماتورها شروع به کشف سحابی‌ها و دنباله‌دارهای تازه در آسمان شب کردند. در واقع، دنباله‌دار معروف هیل-باپ کشف مشترک یک ستاره‌شناس آماتور به نام تامس باپ بود. حتی این ویلیام هرشل - یک کارگردان موسیقی کنجکاو - بود که توانست سیاره‌ی اورانوس را در ۱۷۸۱ کشف کند. بسیاری از رخدادهای نادر مانند برخورد ستاره‌های دنباله‌دار و سیارک‌های بزرگ به سیاره‌ها پنهان می‌مانند اگر کسی به آماتورهای حواس جمع که این رویدادها را به شکل ویدئویی برای مطالعه‌ی دانشمندان ثبت می‌کردند، توجه نشان نمی‌داد.

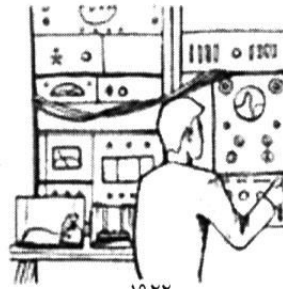
در علم ریاضی، برخی از زیباترین اثبات‌ها برای محاسبه‌ی عدد پی - در میان بسیاری از مشتقات شگفت‌انگیز دیگر - از یک ریاضیدان آماتور در هند به نام سرینیواسا رامنوجان آمده است. صاحبان حیوان‌های خانگی به کار شناخت این جانوران بسیار کمک کرده‌اند. برای مثال، این اسنوبال (طوطی کاکلی آیرنا شولتس) بود که کشف کرد غیر انسان‌ها هم می‌توانند ضرب‌الحسابی (همان ضریب‌های موسیقی) را درک کنند و سال ۲۰۰۴ مقاله‌ای در نشریه‌ی ساینس منتشر شد که نشان می‌داد ریکو، سگ آلمانی، توانایی طبقه‌بندی تا ۲۰۰ ابزار تازه را دارد.

یکی از ویژگی‌های مشترک همه‌ی این دانشمندان آماتور دسترسی به ابزارهای ارزان قیمت است. تلسکوپ‌ها، مدادها و حیوان‌های خانگی ممکن است مقرون به صرفه‌اند، بنابراین داده‌ها و ایده‌ها خیلی راحت تولید می‌شوند. اگر ابزارهای لازم اعصاب به روشی مشابه همگانی و مردمی‌سازی شوند، شاید آماتورها بتوانند به ما کمک کنند تا درک خودمان را از مغز هم بهبود بخشیم.

خوشبختانه سال ۲۰۰۸ چند فناوری مصرفی مزاحم منتشر شد که روش توسعه‌ی ابزارهای سنتی گران را دگرگون کرد. میکروکنترلر آردوینو را گروهی از هنرمندان و مهندسان ساختند تا به آماتورها امکان کنترل آسان دستگاه‌های الکترونیکی و مکانیکی را بدهند که منجر به اختراع‌هایی مانند میکربات،

نخستین چاپگر سه بعدی تجاری برای مصرف کنندگان شد. همان سال، اپل اپ استور را برای دستگاه گوشی همراه خود منتشر و آیفون را به یک رایانه‌ی حمل‌شدنی متصل به اینترنت فوق‌العاده قدرتمند تبدیل کرد که کاربران می‌توانستند با آن برنامه‌ریزی کنند. امروزه مواد اولیه برای ساختن قطعه‌ها، برنامه‌ریزی وسایل الکترونیکی و اتصال دستگاه‌ها به برنامه‌های گوشی همراه وجود دارد. این فناوری‌ها به ایجاد یک مرکز اجتماعی تازه به نام فضای سازندگان انجامید. در این فضا ابزارهای تولید در دسترس می‌توانند به اشتراک گذاشته شوند و تقریباً همه اجازه می‌یابند نمونه‌ی ابتدایی هر چیزی را سر هم کنند: و یک ابزار موسیقایی تازه، حتی ابزارهای علمی.

علوم اعصاب



۱۹۲۲

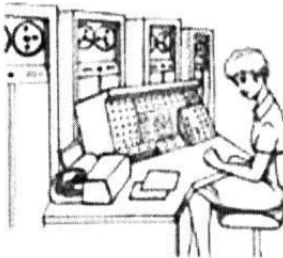


حال



آینده؟

کامپیوترها



دهه‌ی ۱۹۶۰



دهه‌ی ۱۹۷۰



دهه‌ی ۲۰۰۰

با استفاده از این روش‌های خودآموز، حالا می‌توان مجموعه‌ای از ابزارهای علوم اعصاب ساده ساخت که جای ابزارهای پیشرفته‌ی آزمایشگاهی را بگیرند. آزمایش‌های ابزار خانگی علوم اعصاب می‌تواند دامنه‌ای گسترده داشته باشد. علوم اعصاب همزمان بزرگ است و کوچک. می‌توانید روی پیام‌های الکتریکی تک‌نورون‌هایی که در

پاهای حشرات با یکدیگر ارتباط برقرار می کنند، متمرکز شوید و صدایشان را شنود کنید، یا با الکتروانسفالوگرافی (EEG) فعالیت الکتریکی گسترده‌ی میلیاردها نورون مغز خودتان را به تماشا بنشینید. رشته‌ی علوم اعصاب به اندازه‌ی افرادی که آن را مطالعه می کنند متنوع است. نشست سالانه‌ی جامعه‌ی علوم اعصاب بزرگ‌ترین نشست کارشناسان علوم اعصاب در جهان است و هر سال حدود ۳۰ هزار نفر در آن شرکت می کنند. این رقم خیلی بزرگ به نظر می رسد، اما چیزی جز شمار شهروندان یک شهر کوچک نیست. با همگانی سازی ابزارها و مهارت‌ها و همچنین انتخاب پرسش‌های مناسب، این امکان وجود دارد که افراد بیشتری در این زمینه مشارکت کنند.



این کتاب به شما اجازه می دهد تا در مورد تحقیقات علوم اعصاب بیاموزید و فعالانه در این زمینه مشارکت کنید. هدف ما این است که دسترسی به ابزارها و تکنیک‌ها را فراهم کنیم تا بتوانید با استفاده از آزمایش‌های علوم اعصاب محدودیت‌های فناوری امروزی، به این حس برسید که چه چیزهایی بپرسید. آنچه پیستر فقط در آزمایشگاه‌های دانشگاه‌های تحقیقاتی پیشرفته یافت می شد، امروز برای هر فرد کنجکاو در دسترس است. دیوارها ناپدید شده‌اند، قفل‌ها از بین رفته‌اند، میله‌ها برداشته شده‌اند و پل متحرک پایین آمده است. علوم اعصاب و خودشناسی مغز شما در دسترس شماست.

شیوه‌ی استفاده از کتاب

این کتاب راهنمایی عملی برای یادگیری مغز با تجربه‌های ملموس و عملی است. ما برخی مفاهیم را در علوم اعصاب معرفی می کنیم، کمی از تاریخچه‌ی اینکه از کجا آمده‌اند می گوییم و سپس چند آزمایش را مرور می کنیم که می توانید برای درک

بیشتر مغز انجام دهید. با تعامل مستقیم با علوم اعصاب، اصولی ابتدایی را درک می‌کنید که شروع به ابهام‌زدایی از چگونگی عملکرد مغز شما می‌کند.

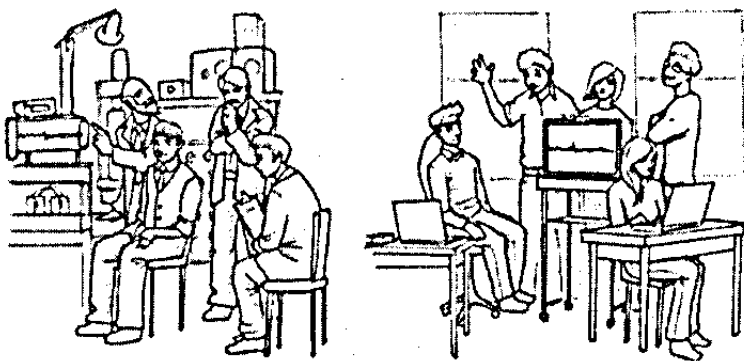
چه کسی باید کتاب را بخواند

در حالی که به باور ما همه در مورد مغز کنجکاوند، این کتاب را با در نظر گرفتن چند مخاطب خاص نوشته‌ایم. هر چند ممکن است آنها بسیار متفاوت به نظر برسند، علاقه به علوم اعصاب همه‌شان را به هم پیوند می‌دهد.

دانشجویان

اگر دانشجوی زیست‌شناسی، فیزیولوژی یا آناتومی هستید، اغلب تجربه‌ی آزمایشگاهی‌تان در مورد علوم اعصاب اندک است. این کتاب آن دانش عمومی را که به دست آورده‌اید تکمیل می‌کند و گسترش می‌دهد. ممکن است بخواهید آزمایش‌ها را تکرار کنید یا مدارک را در این کتاب آمده بسازید تا به یک دانش کاربردی از علوم اعصاب و مهندسی ریسک پزشکی دست یابید. این کتاب به شما یک دیدگاه «همیشه آماده به خدمت» از کاربرد علوم اعصاب می‌دهد و ممکن است شما را برای انتخاب‌های شغلی آینده راهنمایی کند. کتاب همچنین می‌تواند یک سکوی پرش برای اندیشیدن به پروژه‌های علمی در حوزه علوم اعصاب در نمایشگاه‌های علمی دوران دبیرستان یا پروژه‌های پایان‌نامه‌ی ارشد دانشگاه باشد.

آنچه با این دانش انجام می‌دهید به خود شما بستگی دارد. در مقام یک قیاس، بیاورید بگوییم شما می‌خواهید موسیقی را دنبال کنید. یکی از راه‌های انجام دادن این کار این است که یک کیبورد یا گیتار ارزان بخرید و شیوه‌ی نواختن آن را یاد بگیرید.



سرگرمی تازه‌ی شما ممکن است یک سرگرمی باقی بماند، یا به یک علاقه‌ی جدی تبدیل شود و زندگی‌تان را به سطحی دیگر برساند - مانند تشکیل دادن یک گروه موسیقی با دوستان. حتی شاید به یک حرفه‌ی تمام‌عیار در موسیقی برسد. نتیجه هر چه باشد، زندگی شما به خاطر موسیقی کمی بهتر خواهد شد. هدف ما این است که همین کار را برای علوم اعصاب انجام دهیم. می‌توانید از این کتاب برای به دست آوردن دانش کافی در مورد علوم اعصاب استفاده کنید تا یک شهروند آگاه باشید یا به یک آماتور جدی تبدیل شوید (مانند ستاره‌شناسان و شطرنج‌بازان)، یا کتاب می‌تواند الهام‌بخش شما برای تبدیل شدن به یک عصب‌شناس حرفه‌ای، مهندس زیست‌پزشکی یا پزشک باشد (ساید هم هر سه، بسته به بلندپروازی شما).

والدین

اگر شما والدین هستید، که می‌خواهید در فرزندتان علاقه به زیست‌شناسی را ترغیب کنید، این کتاب به شما کمک می‌کند. هم می‌خورد، کودک شما شاید حتی نداند مطالعه‌ی سامانه‌های الکتریکی موجودات زنده می‌تواند خشنودکننده و بی‌نهایت لذت‌بخش و پر از رمز و راز و شگفتی باشد. شما می‌توانید با همکاری در پروژه‌ها به هدایت و پرورش ظرفیت‌های فرزندتان کمک کنید. علوم اعصاب حوزه‌ای بسیار گسترده است و هنوز چیزهای زیادی برای کشف مانده است. یک دانشجوی جوان می‌تواند در زمینه‌ی زیست‌شناسی عصبی بی‌مهرگان کمک کند و همچنین برای هیئت پذیرش دانشگاه جذاب‌تر از نمونه‌های تحقیق و تفکر مستقل، به‌ویژه در فناوری‌های پیشرفته نیست. محتوای ما با استانداردهای نسل بعدی علوم (NGSS) و چارچوب زیست‌شناسی AP سازگاری دارد، بنابراین فرزند شما شروع به درک اصول پیشرفته از طریق مفهوم بازی اکتشافی می‌کند.

یادگیری درباره‌ی مغز سرگرم‌کننده هم هست. نه تنها کودکان، بلکه بزرگسالان مغز دارند. بنابراین، آزمایش‌ها را با هم انجام دهید و با هم یاد بگیرید! انجام دادن مشترک پروژه‌ها می‌تواند برخی از قوی‌ترین و ماندگارترین خاطره‌ها را بین والدین و فرزندان (و بین دوستان) بیافریند. یک کودک ممکن است ابزاری را که با پدر یا مادر یا

پدر بزرگ و مادر بزرگ خود استفاده کرده تا اواخر زندگی بزرگسالی نگه دارد، تا زمانی که آن را به نسل بعد منتقل کند.

جان‌های کنجکاو

اگر شما کسی هستید که دوست دارید کتاب‌های علمی عامه‌پسند با دیدگاه آموزشی و کاربردی را مطالعه کنید، این کتاب برایتان مناسب است. اینجا به شکل کاربردی با مغز آشنا می‌شوید. ما از به کار بردن بندهای طولانی پر از واژه‌هایی که ساختارها و اتصال‌های آناتومیک را توصیف می‌کنند و هرگز به گوش شما نخورده پرهیز می‌کنیم. در عوض، روی یک رویکرد اصول ابتدایی برای علوم اعصاب پیشرفته تمرکز خواهیم کرد. ما شیوه‌ی ساخت تجهیزات اندازه‌گیری برای مطالعه‌ی مغز و چگونگی کار با این ابزارها را با استفاده از تصاویر و تشبیه در طول مسیر به شما نشان می‌دهیم.

ما هم از منابع خردآمیز آنلاین یا چاپی در نشریه‌هایی مانند Make پیدا می‌شود الهام گرفته‌ایم. این منابع شیوه‌نامه‌هایی دقیق برای تکرار پروژه‌های توسعه‌یافته هنرمندان، مهندسان، آمارها و دانشمندان ارائه می‌دهند. ما با تکرار خیلی چیزها یاد گرفته‌ایم و می‌خواهیم همان جزئیات زیربنایی، سرگرمی‌ساز و اصولی را در علوم اعصاب عامه‌پسند به کار ببریم. این مورد تا امروز در کتاب‌های علوم اعصاب خالی بوده است. این کتاب به شما کمک می‌کند تا از نظر بیولوژیک یک شهروند آگاه‌تر شوید. ما می‌خواهیم نوبت آینده که یک متخصص رسانه‌ای عامه‌پسند را درباره‌ی کنترل یک آدم‌آذنی یا بازی ویدئویی با فعالیت مغزی می‌خوانید، به خودتان ببالید. شما به شکل مستقیم محدودیت‌های فناوری‌های مختلف علوم اعصاب را می‌بینید و می‌توانید داده‌ها را خودتان گردآوری کنید. هرچه بیشتر مغز و نشانگرهای زیستی خود را درک کنید، کمتر احتمال دارد به دام باور کردن ادعاهای ظالمانه بیفتید. با مجهز شدن به اندکی کنجکاوی و ابزار پاسخگویی به پرسش‌های کتاب، شاید بتوانید در ادامه‌ی مسیر، حوزه‌ی علوم اعصاب را بهبود ببخشید!

اگر شما یک دانشمند حرفه‌ای هستید که می‌خواهید الکتروفیزیولوژی را در برنامه‌ی تحقیقاتی یا آموزشی خود بگنجانید، این کتاب برای شما مناسب است و می‌توانید آن را یک مرجع عملی کاربردی در نظر بگیرید. علوم اعصاب زیرشاخه‌های فراوان دارد و یک نفر اغلب نمی‌تواند در بیش از یک یا دو رشته دانش عملی داشته باشد. هدف ما این است که افراد خارج از حوزه‌ی الکتروفیزیولوژی را وارد میدان کنیم. بسیاری از دانشمندان یک نسخه از «هنر الکترونیک» هورویتس و هیل یا «مبانی فیزیک» هالیدی، رزنیک و واکر در قفسه‌ی کتاب‌های خود دارند تا به یافتن پاسخ پرسش‌هایشان در حوزه‌های پهنده‌ی فیزیک کمک کنند. دانشمندان علوم اعصاب همچنین ممکن است نسخه‌ی «زیست‌شناسی کمبل» را به مثابه مرجعی برای فرآیندهای بیولوژیک داشته باشند. «علوم اعصاب» اریک کندل یک مرجع عالی برای تمام حوزه‌ی علوم اعصاب است. «واقع، حوزه‌ی علوم اعصاب چنان گسترده است که وزن کتاب کندل بیش از خود مغز است!» هدف ما این است که این کتاب منبع در دسترس و مطمئن شما برای هر چیزی باشد که مربوط به الکتروفیزیولوژی یا سیگنال زیستی است. تفاوت میان سیگنال‌های عصبی و سیگنال‌های قلبی چیست؟ الکترودها هنگام ضبط ضربان مغز کجا باید بروند؟ تفاوت بین موج و پتانسیل برانگیخته چیست؟ هدف کتاب ما کمک کردن به شما برای یافتن پاسخ این پرسش‌هاست، با فصل‌هایی که می‌کوشند اصول ابتدایی را با استفاده از اقتصادی‌ترین زبانی که ما ابداع کرده‌ایم توضیح دهند. شما می‌توانید در یک هفته در جریان آخرین اطلاعات و دانش الکتروفیزیولوژی قرار بگیرید.

مسیریابی کتاب

شیوه‌ی خواندن این کتاب به خود شما بستگی دارد. می‌توانید از روی میز آشپزخانه‌تان با یک قهوه در دست آن را بخوانید تا بیشتر درباره‌ی روش‌های تحقیق در علوم اعصاب بدانید، یا آن را دنبال کنید و خودتان همه‌ی آزمایش‌ها را انجام دهید. بخش‌ها به ترتیب پیچیدگی عصبی، از شماری اندک سلول عصبی گرفته تا شیوه‌ی کار گروه‌هایی از این سلول‌ها در سامانه‌ی عصبی گروه‌بندی شده‌اند. این به آن معنا

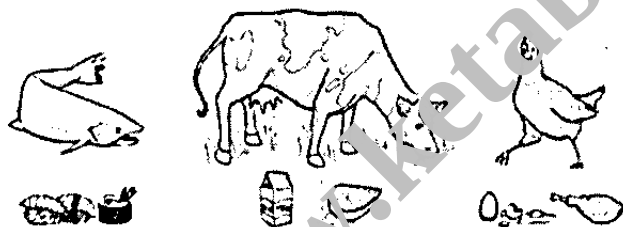
نیست که موضوع رفته رفته پیچیده تر می شود. در حالی که یادگیری دربارۀ رشته های عصبی یک نقطه ی شروع خوب است، شما می توانید به راحتی تحقیق خود را با فیزیولوژی عضله ی انسان یا الکتروکاردیوگرام ها (EKG) آغاز کنید. اصولی که از یک سامانه یاد می گیرید، اغلب با دیگر سامانه ها مرتبطند.

فصل ها برخی از پدیدارشناسی های یک حوزه ی خاص از علوم اعصاب را توصیف می کنند. برای مثال، چرا فقط پس از قطع برق از صدا های پس زمینه مانند موتور یخچال خود آگاه می شوید؟ به جای بحث طولانی در حوزه ی پیشینه ی نظری، ما زمینه را برای رویداد اصلی آماده کرده ایم: آزمایش. اینجا جایی است که می توانید واقعاً چیزها را اندازه گیر کنید. ما شیوه ی راه اندازی و اجرای آزمایش های علوم اعصاب را برای شخص شما شرح خواهیم داد. ما داده های آزمایش های خود را نشان می دهیم و یافته ها را با شما در میان می گذاریم. توجه به این نکته مهم است که هر زمان که یک اثر و رد از داده ها را می بینید، آن را از داده های واقعی می آید - نه قلم موی هنرمند. برخی داده ها با اندکی اختلال همراه می شوند و برخی دیگر با دست ساخته های EKG، اما این مشابه چیزی است که در خانه پیدا می کنید. آزمایش ها شما را با مجموعه ای از پرسش ها راهنمایی می کنند، همزمان با آنکه برخی نظریه ها و حتی تاریخ را می سازیم. ما عناوین آزمایش ها را همان گونه که در متن علمی نشان می دهند حفظ کردیم تا به شما امکان دهیم نتایج خود را با دانشمندان دیگر در این حوزه بیابید و مقایسه کنید. اما علم به همین جا ختم نمی شود. هر فصل با بخش های باز مربوط به آزمایش هایی که می توانید به تنهایی اجرا کنید به پایان می رسد. (برای مثال، آیا زمان واکنش با افزایش سن بیشتر می شود؟) ما این ساختار را در هر فصل پی خواهیم گرفت. هدف این کتاب آزمایش کردن است! بنابراین، ما این کتاب را به گونه ای طراحی کردیم که هنگام قرار دادن روی میز باز بماند تا دستان شما برای کار آزاد باشند. ابزارهای علمی موجود در کتاب در دسترس هستند، اما شما می توانید آنها را با الگوها و نرم افزارهای منبع باز هم بسازید. ما پیوست هایی آورده ایم تا نشان دهیم چگونه می توانید تقویت کننده های زیستی را خودتان با استفاده از فیبرهای آزمایشی و تقویت کننده های عملیاتی بسازید و چگونه از بی مهرگان خانگی مراقبت کنید. جدا از

رویکرد شما به کتاب، در پایان شما در تکنیک‌های پیشرفته‌ی علوم اعصاب زیرکی و مهارت خواهید داشت. چه دانشجویی با انگیزه باشید، والدینی پرورش‌دهنده، یک شهروند کنجکاو یا دانشمندی حرفه‌ای، راه شما به سوی کشف باز است.

اخلاق استفاده از حیوانات

در این کتاب، سیگنال‌های عصبی را نه تنها از ما انسان‌ها، بلکه از جانوران بی‌مهره هم ثبت می‌کنیم. هر زمان که در حوزه‌ی علم با جانوران کار می‌کنیم، مهم است ابتدا یک بحث اخلاقی در این مورد داشته باشیم. در حالی که بسیاری بر این باورند که هیچ رویکرد میانه برای استفاده از جانداران دیگر در علم وجود ندارد، دانشمندان یک چارچوب اخلاقی ایجاد کرده‌اند که می‌تواند به تصمیم‌گیری درباره‌ی مواردی که باید هنگام کار با جانوران مجاز و غیرمجاز باشد کمک کند.



رابطه‌ی بین حیوان و انسان پیچیده است و دست کم به ۱۲۵۰۰ سال پیش بازمی‌گردد، زمانی که سگ‌ها نخستین حیوان‌های اهلی لقب گرفتند (در پی آن بزها و گوسفندان) و البته اجداد انسان‌نمای ما دست کم ۲ میلیون سال است جانوران را برای غذا شکار کرده‌اند. در عصر امروزی ما، استفاده‌های زیادی از جانوران در جامعه می‌شود و پای بسیاری از بحث‌های اخلاقی مرتبط به میان می‌آید. نظرها می‌تواند از کسانی باشد که معتقدند جانوران باید از حقوق و حمایت‌های یکسان مانند انسان برخوردار باشند تا کسانی که تأیید می‌کنند استفاده‌ی مسئولانه از جانوران باید نیازهای خاص انسان را برآورده کند. ما ابتدا به نمونه‌هایی از کاربردهای اصلی جانوران در جامعه و همچنین میزان بحث و جدل هر مورد خواهیم پرداخت. سپس می‌توانیم ببینیم که چگونه می‌توان از یک چارچوب اخلاقی برای ارزیابی این سناریوها استفاده کرد تا به ما در تصمیم‌گیری کمک کند.

حیوان به مثابه غذا

یکی از بارزترین کاربردهای حیوان، استفاده در غذاست. ما اغلب در جامعه‌ی امروزی چنان از فرآیند تبدیل حیوان زنده به غذا جداییم که معمولاً می‌توانیم منشأ آن را فراموش کنیم (یا نادیده بگیریم). بسیاری از مردم معتقدند که خوردن گوشت «طبیعی» و بنابراین از نظر اخلاقی خنثی است، چون جانوران دیگر هم حیوان‌ها را می‌خورند. با این حال، بسیاری از گیاهخواران و وگان‌ها می‌گویند ما می‌توانیم بدون خوردن بافت حیوانی یک رژیم غذایی سالم داشته باشیم و خوردن گوشت حیوان کاری غیر اخلاقی است.

در حالی که برخی کشورها مانند هند سنت‌های فرهنگی یا مذهبی قوی برای ترویج گیاهخواری دارند، این دیدگاهی است که بیشتر مردم جهان با آن موافقت نمی‌کنند. در فرهنگ‌های غربی، بیش از ۹۰ درصد مردم تمایل به خوردن گوشت دارند که نشان می‌دهد استفاده از حیوان برای درست کردن غذا در مجموع در این جوامع پذیرفته شده است.

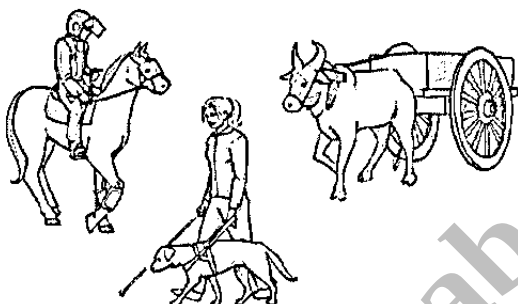
حیوان خانگی

یکی دیگر از استفاده‌های بسیار مشهود از حیوان‌ها، در قالب یک همدم یا حیوان خانگی است. مرسوم‌ترین حیوان‌های خانگی گربه و سگ و پس از آن پرندگان و ماهی‌ها هستند. در حالی که برخی گروه‌ها مانند FETA این موضوع حمایت می‌کنند که مالکیت حیوان خانگی ناشی از «میل خودخواهانه‌ی ما به داشتن حیوان و گرفتن عشق از آنها» است و اینکه داشتن حیوان خانگی «باعث رنج و اندازه می‌شود»، به نظر نمی‌رسد که این دیدگاه به شکل گسترده پذیرفته شده باشد. حتی کسانی که حیوان خانگی ندارند هم معمولاً با سگ‌ها و گربه‌ها به مشکل نمی‌خورند، چون آنها هم شکلی به شدت تغییر یافته از اجداد خود (گرگ‌ها و گربه‌های وحشی آفریقا) هستند. با توجه به شمار صاحبان حیوان‌های خانگی، می‌توان فرض کرد که جامعه به شکل منطقی استفاده از حیوان خانگی را پذیرفته است.

حیوان برای کار

پیش از انقلاب صنعتی که به اختراع موتورهای بخار و بنزینی انجامید، بسیاری از کارهای سنگین با مشارکت حیوان‌ها، آسیاب‌های بادی یا چرخ‌های آبی انجام می‌شد. حتی امروز هم از اسب و گاو، فراوان در مزارع و کشتزارهای سراسر جهان استفاده

می‌شود. سگ‌ها را هم در امنیت و اجرای قانون (سگ‌های نگهبان، واحدهای K-9 و سگ‌های موادیاب در گذرگاه‌های مرزی) به کار می‌برند. سگ‌ها به افراد کم‌بینا و نابینا بسیار کمک می‌کنند و برخی سگ‌ها می‌توانند صاحبان مبتلا به صرع را از تشنج‌های پیش‌رو آگاه کنند. اسب‌ها به افسران پلیس این امکان را می‌دهند که در شلوغی‌ها موقعیت بالاتر و جای مانور بیشتر داشته باشند.

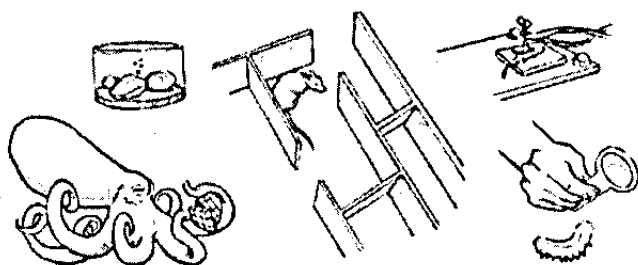


برخی ممکن است استدلال کنند که حیوان‌ها واقعاً «کار» نمی‌کنند، چون هیچ گزینه‌ای نداشته‌اند. از آنها «پرسش» نشده است که آیا می‌خواهند کار کنند یا نه. بنابراین، در واقعیت، حیوان‌هایی که کار می‌کنند ارتباطی نزدیک‌تر با کار برده‌ها دارند. با این حال، بیشتر مردم با این دیدگاه موافق نیستند که «وماً معتقد است اگر حیوان‌ها به شکلی مطمئن تغذیه، حمایت و مراقبت شوند، کار کردن می‌تواند یک تمهید سودمند دوجانبه برای حیوان و انسان باشد.

حیوان برای تحقیق

از حیوان‌ها همچنین به شکل گسترده در پژوهش‌ها و تحقیقات زیست‌پزشکی استفاده می‌شود. یکی از شناخته‌شده‌ترین حیوان‌های تحقیقاتی لایکا، سگی از شوروی بود؛ نخستین جانوری که دور زمین چرخید. این آزمایش‌های ابتدایی فضایی با استفاده از حیوان برای این انجام شد که دانشمندان بدانند آیا یک مسافر زنده می‌تواند در مأموریت پرتاب به مدار زنده بماند و محیط ریزگرانش را تحمل کند یا نه. پاولوف هم در آزمایش‌هایی که برای دستگاه گوارش انجام داد، از سگ‌ها بهره برد و نظریه‌ی شرطی شدن کلاسیک را بنیان نهاد. انسان‌ها از خوک‌ها و دیگر حیوان‌های مزرعه هم اغلب در آزمایش ابزار و

تجهیزات پزشکی استفاده می کنند. میمون ها پای ثابت آزمایش واکسن ها و درمان های تازه ی بیماری ها هستند، چون بیش از دیگر جانوران به ما انسان ها شباهت دارند.



دیدگاه جامعه علمی در استفاده از حیوان برای مطالعه ی زیست شناسی انسان و کاهش دردهای انسان، از نظر فلسفی پیچیده است. برخی به شدت احساس می کنند که آزمایش روی میمون ها گزنیاید انجام شود. بسیاری بر این باورند که این کار را تنها باید وقتی انجام داد که هیچ مدل جایگزین دیگر وجود نداشته باشد، و زمانی که رنج های انسانی از آن تحقیقات سود ببرند. با توجه به پیچیدگی های اخلاقی، همه ی دانشگاه ها، مؤسسه های تحقیقاتی کمیته های مراقبت و استفاده از حیوان های سازمانی (IACUC) دارند که در آن، گروهی از کارشناسان همه ی آزمایش های پیشنهادی مربوط به استفاده از حیوان های مهره دار را بررسی و تأیید، رد یا اصلاح می کنند.

حیوان در آموزش

سرانجام به اخلاق مربوط به آزمایش های این کتاب می پردازیم: استفاده از حیوان در آموزش. در ۱۰۰ سال گذشته در کلاس های زیست شناسی از جانورانی چون قورباغه و خوک جنینی برای کمک به آموزش فیزیولوژی و تشریح استفاده شده است. دانشجویان و دانش آموزان دبیرستانی هم با اشیای زنده برای آزمایش هایی کار می کنند که هیچ آسیبی به حیوان وارد نمی کند. برای مثال، از موش ها در مطالعه ی یادگیری و حافظه با حل پیچ و خم ها یا معماهای مکانیکی برای به دست آوردن غذا

استفاده می‌شود. از حشره‌ها هم برای آموزش دگردیسی و در این کتاب برای آموزش سامانه‌ی عصبی استفاده شده است.

در چند دهه‌ی گذشته، جنبشی برای منع استفاده از حیوان‌ها در آموزش به راه افتاده است. در حالی که برخی مدارس این کار را کاملاً متوقف کرده‌اند، بسیاری درمی‌یابند که استفاده از حیوان دارای اهداف روشن علمی و آموزشی در کلاس درس است. سازمان‌های حرفه‌ای مانند انجمن ملی آموزش علوم و انجمن ملی معلمان زیست‌شناسی از استفاده از حیوان در آموزش حمایت می‌کنند، چون تعامل با موجود زنده از مؤثرترین روش‌های دستیابی به اهداف آموزشی در زیست‌شناسی است.

در این کتاب، احساس کلی ما از نظر اخلاقی و قانونی این است که دانشجو‌یاب و دانش‌آموزان نباید هیچ آزمایش تهاجمی روی مهره‌داران انجام دهند. ما خود را به استفاده از بی‌مهرگان (جانوران بدون ستون فقرات مانند حشره‌ها) محدود می‌کنیم، چون معمولاً سامانه‌ی عصبی آنها پیچیده‌تر است و برای آزمایش قوی‌ترند. در آزمایش‌های خودمان روی بی‌مهرگان، ما می‌کوشیم «تهدیه» ایجاد کنیم، که در آن حیوان می‌تواند پس از پایان یافتن آزمایش، به زندگی عادی یسی غذا خوردن و تولید مثل ادامه دهد. هنگام طراحی آزمایش‌های خود روی حیوان برای آموزش، تلاش می‌کنیم تا آنجا که ممکن است با کمترین تهاجم، روی «ساده‌ترین» حیوان ممکن (با کمترین میزان رشته‌ی عصبی) و با بیشترین تأثیر یادگیری برای دانشجو و دانش‌آموز عمل کنیم.

چارچوب اخلاقی برای استفاده از جانوران

هنگام تعیین اینکه آیا استفاده از حیوان در یک موقعیت علمی اخلاقی است یا نه، احساس می‌کنیم مهم است که به «نسبت هزینه-فایده» فکر کنیم. یعنی هزینه برای حیوان در برابر سود برای جامعه چقدر است. این یک برآورد عددی نیست، بلکه چارچوبی برای تفکر فلسفی است. نقطه‌ی تصمیم‌گیری در مورد اینکه چه زمانی هزینه بیش از سود است همیشه ذهنی خواهد بود، اما امکان بحث متفکرانه را در مورد اخلاق فراهم می‌کند.

در هر یک از موارد استفاده از حیوان‌ها که اینجا بحث شد، می‌توان هزینه‌ی حیوان را به شکل کلی برآورد کرد. برای مثال، در مورد غذا و اغلب در تحقیقات

علمی، هزینه کردن برای حیوان بسیار بالاست، به این معنی که مرگ آن قطعی است. برای حیوانات خانگی، به نظر می‌رسد هزینه بسیار کم باشد. حیوان‌هایی که برای کار استفاده می‌شوند، هزینه — بسته به شکل کار — می‌تواند از کم تا میانه متغیر باشد.

سود برای جامعه را هم می‌توان در مقیاس قرار داد. انسان‌ها نیاز به غذا خوردن دارند و کالری گوشت حیوان بسیار زیاد است. بنابراین، سود زیاد می‌شود؛ گرچه ممکن است در گذر زمان تغییر کند. با تلاش برای تولید گوشت مصنوعی، با استفاده از گیاهان یا با پرورش بافت ماهیچه‌ای در آزمایشگاه، شاید روزی به این نتیجه برسیم که سود خوردن حیوان زنده نسبت به جایگزین‌ها کمتر است. این ارزش برای انسان‌هایی که حیوان خانگی دارند بالاست. در تحقیقات حیوانی، رنج انسان که از مطالعات حیوانی کسب می‌یابد، منافع زیادی برای جامعه در پی دارد.

در مجموع، می‌توانیم با مقایسه‌ی هر دو سوی ماجرا، بحث اخلاقی را آغاز کنیم: هزینه‌ها و منافع. برای مثال دانش حیوان خانگی ارزش بالا برای انسان با هزینه‌ی کم برای حیوان فراهم می‌کند. این نیاز می‌دهد که چرا داشتن حیوان خانگی موضوعی بحث‌انگیز نیست. تحقیقات پزشکی نزدیک به انسان به همراه دارد، البته با هزینه‌های بالا برای حیوان. هیئت‌های بازبینی اخلاقی در دانشگاه‌ها و مؤسسه‌های تحقیقاتی به دقت به هر روش آزمایشی می‌نگرند تا تعیین کنند که آیا می‌توان آنها را توجیه کرد یا راهی برای جایگزینی، کاهش و اصلاح آزمایش‌های حیوانی وجود دارد یا نه.

اخلاق استفاده از حیوان در کتاب

هنگام نگارش کتاب، ما این چارچوب اخلاقی را در نظر گرفتیم. ما در متداول‌ترین روش آزمایشی خود، یعنی برداشتن پای سوسک، هزینه‌ای را که برای حشرات به وجود می‌آید به دقت ارزیابی کرده‌ایم. می‌دانیم که در طبیعت، پا یا شاخک یک حشره اغلب از بین می‌رود و آنها راهی برای رشد دوباره‌ی این بخش‌ها یافته‌اند. پای سوسک می‌تواند خیلی راحت از بدنش جدا شود، که فرض بر این است که وقتی یک شکارچی به سوسک حمله می‌کند، جدا شدن پا یک ساز و کار دفاعی است. ما به دقت تکنیک‌های کلاس درس خود را بررسی و نرخ بالای بقا و رشد دوباره‌ی پاهای سوسک را در یک آزمایش ثبت کرده‌ایم:

Marzullo, T. C. "Leg Regrowth in *Blaberus discoidalis* (Discoid Cockroach) following Limb Autotomy versus Limb Severance and Relevance to Neurophysiology Experiments." PLOS ONE, 11, no. 1 (2016): e0146778.

<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0146778>

بنابراین، هزینه‌ی این حشره با توجه به مقیاس بقا و بهبودی کم به نظر می‌رسد، اما مزایای اجتماعی آزمایش‌های علوم اعصاب آموزشی ما چیست؟ بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، ۲۰ درصد از مردم جهان در مقطعی از زندگی خود تحت تأثیر یک اختلال روانی یا عصبی قرار می‌گیرند و ما هیچ درمان شناخته‌شده برای آن نداریم. راه برای پیشبرد درک اختلال‌های عصبی نیاز است، تحقیقات اساسی علوم اعصاب است. بیشتر مردم حتی درکی ابتدایی از چگونگی عملکرد مغز ندارند. با توجه به نیاز به آشنایی، مهم علوم اعصاب در آینده و نیاز به آموزش عمومی در این حوزه، ما احساس می‌کنیم منافع آن برای جامعه بسیار زیاد است.

با توجه به اینکه هزینه برای حیوان کم و منافع آن برای جامعه زیاد است، بنابراین نتیجه می‌گیریم که آزمایش‌های موجود در این کتاب در مورد حیوان‌های اخلاقی هستند. دیگران ممکن است نظری متفاوت در رهی این موضوع داشته باشند، بنابراین همیشه خوب است که پیش از استفاده از حیوان در محصله کلاس، ابتدا یک بحث اخلاقی داشته باشیم.

هنگام انجام دادن روش‌های جراحی در این کتاب، مطمئن شوید که همیشه جانوران را بیهوش می‌کنیم. در واقع نمی‌دانیم که آیا حشره در جریان عمل احساس درد دارند یا نه، اما فرض می‌کنیم که آنها درد را احساس می‌کنند و می‌کوشیم ناراحتی آنها را به کمترین میزان برسانیم. ما نمی‌دانیم که آیا حشره هنگام بیدار شدن پس از عمل جراحی احساس درد می‌کند یا نه. تنها چیزی که می‌دانیم این است که زخم خوب می‌شود، سوسک‌ها پس از چند ساعت راه می‌روند، گاهو می‌خورند، قطره‌های آب را می‌نوشند و سوسک‌های بیشتری تولید می‌کنند. آنها حرکت یا رفتاری متفاوت نسبت به دیگر سوسک‌ها ندارند. ما این کار را کرده‌ایم و از شهروند-دانشمندان می‌خواهیم برای سوسک‌هایی که پا یا شاخک خود را برای علم داده‌اند، جامعه‌ی

بازنشستگی ایجاد کنند. این سوسک‌ها می‌توانند به راحتی فرزندان برای آزمایش‌های آینده به وجود آورند. برای بحث در مورد شیوه‌ی نگهداری و مراقبت از سوسک‌های خود به پیوست کتاب مراجعه کنید.

ما این بحث را با یادداشتی برای تاریخ‌نگاران آینده می‌بندیم که ممکن است در جریان بررسی اخلاق استفاده از حیوان در قرن بیست و یکم به شکل تصادفی به این کتاب برسند. در زمان نگارش کتاب، سامانه‌های هوش ماشینی ما هنوز به زیست‌شناسی تسلط پیدا نکرده‌اند. در حال حاضر، هیچ جایگزینی برای آزمایش وجود ندارد؛ هیچ مدلی وجود ندارد که بتوانیم بدانیم یک سامانه‌ی پیچیده‌ی بیولوژیک یا عصبی چگونه کار می‌کند. شاید آن روز فرا برسد و ما آماده‌ی استقبال از فرارسیدن آن باشیم.