

Zrcalni nevroni

Tina Bregant

»I feel you,
Each move you make,
I feel you,
Each breath you take.«

»Čutim te,
vsak tvoj gib
čutim te,
vsak tvoj dih.«

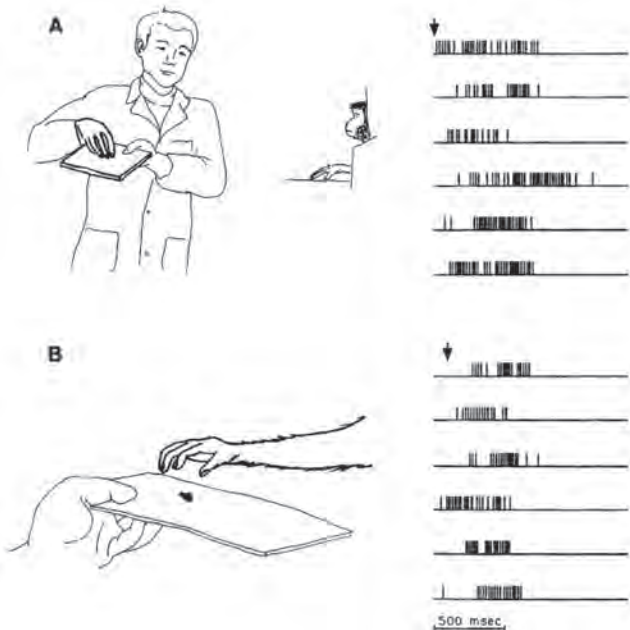
Depeche Mode: *I Feel You*.

Ne, ni šala. Ta pesmica namreč kar dobro opiše delovanje zrcalnih nevronov. »Čutim te« so peli Depeche Mode leta 1993. Pesem seveda ni namenjena nevroznanstvenikom, pač pa naj služi le kot uvod in kot ponazoritev delovanja zrcalnih nevronov.

Kaj so zrcalni nevroni

Zrcalni nevroni so posebni nevroni, ki sta jih prvič opisala znanstvenika Gallese in Rizzolatti leta 1996 pri opici makaku. Ti nevroni se prožijo takrat, ko opica (ali oseba) opazuje gib druge opice (ali druge osebe). Ta gib mora imeti neki namen, ki ga opazujoča opica (ali pa oseba) prepozna. Zrcalni nevroni se ne prožijo, ko gre za gib brez namena ali samo ob opazovanju druge opice (ali osebe) ali samo ob posnemanju giba. Zanimivo je, da je do od-

kritja prišlo po naključju, saj je poskus bil namenjen preučevanju tega, kateri predeli možganske skorje se aktivirajo, ko opica nekaj počne, na primer z roko seže po hrani. Ko je eden od raziskovalcev sam segel z roko proti oreščku, da bi ga dal opici, so naprave zaznale pri opici enako nevronske dejavnost, kot če je po oreščku segla opica sama. To je bilo presenetljivo, saj znanstveniki niso pričakovali, da se nevroni odzovejo enako takrat, ko opica dejanje zgolj opazuje, kot takrat, ko ga izvede. Poskus, ki sta ga opisala znanstvenika ob odkritju zrcalnih nevronov, je predstavljen na spodnji sliki.



Proženje zrcalnih nevronov v predelu motorične skorje F5 pri opici. Na sliki A se nevroni pri opici prožijo ob opazovanju raziskovalca, ki z roko poseže po predmetu, na sliki B pa med tem, ko opica sama poseže po predmetu. Puščice označujejo začetek giba. Prikazanih je po šest poskusov.

Prirejeno po Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., 1996a: Premotor cortex and the recognition of motor actions. Cognitive Brain Research, 3: 131-141.

Zrcalni nevroni so bili najprej zaznani pri opicah v predelu premotorične skorje, v predelu F5. Kasneje so zrcalne nevrone odkrili tudi v spodnjem temenskem lobulu (angl. *inferior parietal lobule, IPL*), ki je povezan s skorjo zgornjega senčničnega sulkus. Ta predel sicer ne sodi v motorično skorjo in ne sodeluje pri izvrševanju giba. Danes menimo, da sistem zrcalnih nevronov sestavljata dve območji možganov: ventralno območje motorične skorje in rostralni del spodnjega temenskega lobula. Pri ljudeh so s slikovnimi metodami, kot sta slikanji s pozitronsko emisijsko tomografijo (PET) in funkcijsko magnetno resonanco (fMRI), ter nevrofiziološkimi študijami z elektroencefalografijo (EEG), magnetoencefalografijo (MEG) in transkranično magnetno stimulacijo (TMS) dokazali obstoj podobnega, čelno-temenskega sistema, ki predstavlja analogijo sistemu zrcalnih nevronov pri opicah.

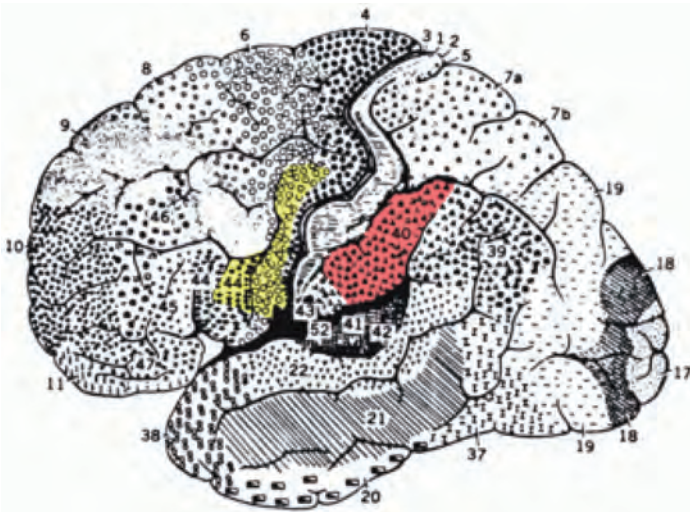
Kakšna je vloga zrcalnih nevronov

Sistem zrcalnih nevronov naj bi se aktiviral ob različnih procesih v možganih. Pomagal naj bi pri učenju s posnemanjem, pri razumevanju namenov drugega, empatiji oziroma sočutju, razumevanju pomena gibov, učenju gibov in razvoju govora. Morda je bolje kot spraševati se o pomenu zrcal-

nih nevronov, kar opisati, kje se nahajajo in kdaj se prožijo. Območja aktivacije zrcalnih nevronov so na sliki označena z rumeno in rdečo barvo. Gre za območja, ki se aktivirajo, ko se kompleksen vidni dražljaj poveže z gibom.

Ali imamo ljudje zrcalne nevrone

Zdelo se je, da bo z zrcalnimi nevrone nevroznanost, zlasti psihologija, dobila nov veter v jadra. Tako preprosto bi se dalo razložiti empatijo in avtizem. Pa kako dobro bi s temi spoznanji lahko zaslužili oglaševalci! Žal ali pa k sreči ni pri ljudeh nikoli tako preprosto. Pri ljudeh kljub napredujoči optogenetiki zelo težko beležimo aktivnost posameznega nevrona, saj je za vpogled treba vstaviti elektrode neposredno v možgane oziroma je potrebno funkcijsko magnetno-resonančno slikanje (fMRI). Slednje je sicer neinvazivno, vendar pa ni tako natančno. S funkcijskim magnetnoresonančnim slikanjem odjemamo signal iz območja, ki je veliko nekaj kubičnih milimetrov in ki kljub svoji majhnosti vsebuje ogromno število nevronov. Raziskovalci z univerze v Los Angelesu so s funkcijskim magnetnoresonančnim slikanjem kljub vsemu dokazali, da sistem zrcalnih nevronov obstaja tudi pri ljudeh. Ob enakih premikih prstov raziskovalca in



Sistem zrcalnih nevronov pri človeku. Pogled na človekove možgane z leve strani, pri čemer so območja zrcalnih nevronov obarvana rumeno in rdečo. Na sliki vidimo, da se obe območji praktično dotikata silvične fisure. Nekatera območja ob silvični fisuri sodelujejo pri govoru.

Vir: http://www.scholarpedia.org/article/Mirror_Neurons_f3.gif

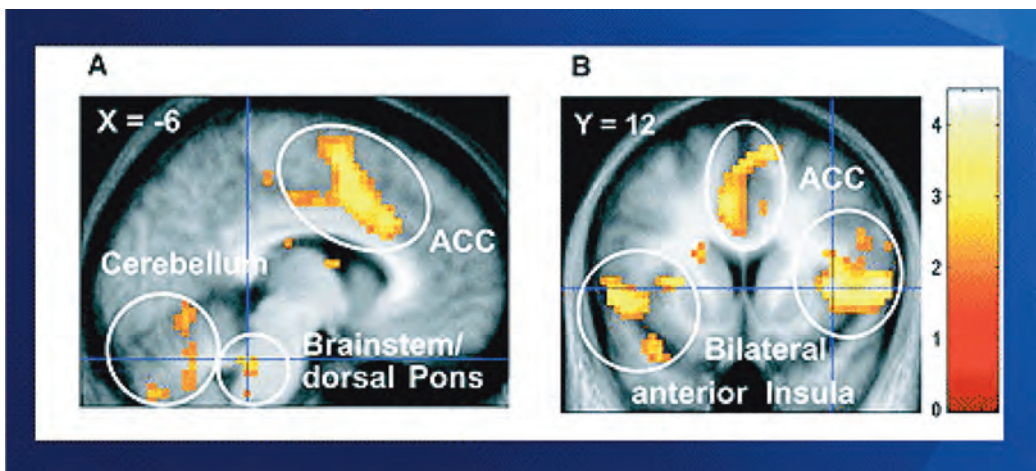
ob lastnem izvajanju giba pri preiskovancih so se namreč aktivirala ista območja v predelu čelnega in temenskega režnja.

Rodimo se z vrojenim čutom socialne pripadnosti, živimo in delamo v skupnostih - smo socialna in družbena bitja. Zrcalni nevroni se pri razlagi, zakaj je tako, zdijo zelo priročni. Kaj se dogaja, ko se nas kdo dotakne ali kadar se enako dotaknemo drugega človeka? S pesmico iz uvoda lahko metaforično ponazorimo tipno empatijo - doživljanje ob pogledu na dotikanje nekoga drugega. Ob tem se aktivira isto območje somatosenzorične skorje, kadar se dotika raziskovalec nas ali pa le kadar opazujemo, kako se raziskovalec dotika nekoga drugega na enakem mestu. Celotno občutenje bolj kompleksnih stanj, kot je na primer gnus, aktivira pri opazovalcu območja zrcalnih nevronov. Tako je raziskovalec Keysner s sodelavci preučeval čustvo gnusa pri ljudeh, ki so vonjali odvratne vonjave oziroma gledali filmski posnetek igralca, ki je skremžil obraz v izraz gnusa. Občutenje lastnega

gnusa kot tudi opazovanje nekoga drugega ob tem sta aktivirala isti predel olfaktornega območja možganov, to je sprednje območje insule in sprednji del cingulatuma. Podobno aktivacijo v sprednjem delu cingulatne skorje in sprednjem delu insule so opisovali ob sočustvovanju ob bolečini.

Zdi se, da gre pri aktivaciji sistema zrcalnih nevronov za avtomatični proces. Ljudje to opišejo, da preprosto »vedo« oziroma prepoznajo, kaj drugi občutijo ali počnejo. Zdi se, da nam zrcalni nevroni omogočijo videti druge ljudi nam podobne. Če povem drugače, ti nevroni nam omogočijo zrcaliti druge. Bolj ko se nam dogajanje ali oseba zdi blizu, torej nam podobna, oziroma jo (pre)poznamo preko izkušenj, bolj je sistem dejaven. Podskupine zrcalnih nevronov se namreč prožijo različno glede na bližino dogajanja: če se dejavnost vrši v neposredni bližini ali pa zunaj osebnega prostora, se aktivira druga podskupina zrcalnih nevronov. Proženje zrcalnih nevronov je sicer neodvisno od tre-

Nekateri znanstveniki menijo, da gre pri empatiji za »notranje« posnemanje, ki ga lahko razložimo z delovanjem zrcalnih nevronov. Slika je prirejena po članku: Singer, T., Seymour, B., O'Doherty, J., Kaube, H., in sod., 2004: Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. Science, 303: 1157-1162. Z barvo so označeni predeli možganov, ki se aktivirajo ob opazovanju bolečine pri sočloveku: cerebellum – mali možgani, brainstem/dorsal pons – možgansko deblo in dorzalni del ponsa, bilateral anterior insula – sprednji del insule; v obeh polovicah možganov – obojestransko, ACC - sprednji del cingulatne skorje.



nutne dejavnosti posameznika, kar nakazuje na avtomatičnost procesa. Proces sam pa se okrepi, če je opazovalec bolj pozoren in dejaven ob opazovanju. Tako so baletniki iz Kraljeve baletne šole v Londonu ob ogledu filmov o baletu oziroma plesnih gibih kljub nepremičnemu opazovanju filmov imeli dejavne predele zrcalnih nevronov. Dejavnost je bila večja ob gibih, ki so jih baletniki opazovalci že poznali in obvladali. Neplezalci, ki jim balet ni bil tako blizu, pa so sicer imeli aktivirane predele zrcalnih nevronov, vendar znatno manj kot baletniki. Sistem zrcalnih nevronov naj bi pomagal pri učenju novih gibov. Pomagal naj bi pri učenju s posnemanjem in pri takojšnji ponovitvi giba pri opazovalcu. Slednji se izvrši zgolj z aktivacijo zrcalnih nevronov, medtem ko učenje s posnemanjem zahteva aktivacijo prefrontalnega režnja, ki uskladi in poveže osnovne gibe v bolj kompleksno dejavnost.

Kaj pa, če ljudje nimamo zrcalnih nevronov

Zrcalni nevroni naj bi omogočili tudi razumevanje položaja oziroma dejanja. Tako je Fogassi s sodelavci preučeval, kaj se zgodi, če opica prime predmet in ga pospravi v škatlo ali pa ga prime in poje. Kljub enakemu začetnemu dejanju, to je poseganju po predmetu in prijemanje predmeta, je rezultat različen. Pri različnem zaključnem dejanju so se prožili različni zrcalni nevroni. Tako je proženje zrcalnih nevronov omogočilo predvideti, kako se bo dejanje zaključilo: ali bo opica jabolko pojedla ali pa ga bo dala v škatlo.

Razumevanje sebe in drugih kot ljudi, ki imamo svoja lastna prepričanja, želje, predstave in interpretacije o svetu, nam omogoča vsakodnevno razumevanje ljudi in socialnih položajev. S tem se ukvarja teorija uma. Zrcalni nevroni, ki omogočajo razumevanje položaja, se zdijo logična razlaga teorije

Že novorojenček z zanimanjem opazuje obraze. Če odrasli izplazi jezik, to novorojenček takoj ponovi. Pri posnemanju in takojšnji ponovitvi giba naj bi imeli ključno nalogo zrcalni nevroni.



uma. Pri osebah z avtizmom pogosto opazamo pomanjkljivo razumevanje sebe in drugih, opazamo pa tudi odsotnost empatije.

Pri osebah z avtizmom lahko opazimo, da pogosto posnemajo določene gibe in dejanja, vendar pa njihovo posnemanje ni odlično, prav tako ne zmorejo izražati empatije, težko se vživijo v igro, na primer da bi igrali Supermana. Pri njih je teorija uma pomanjkljiva ali celo odsotna. Lahko vlečemo vzporednice med značilnostmi zrcalnih nevronov ter značilnostmi oseb z avtizmom. Nekaj raziskav pritrjuje, nekaj pa zanika povezavo avtizma s pomanjkljivo delujočim sistemom zrcalnih nevronov.

Empatija je sposobnost zaznavanja čustev druge osebe, ne da bi s tem podal svoje občutke ali misli. Empatijo poznajo tudi drugi sesalci, ne le ljudje. Vsak človek lahko pokaže nekaj empatije, vendar so nekateri pri tem tako občutljivi, da lahko občutijo celo psihično in fizično bolečino ljudi okoli sebe, kar zelo slikovito opisuje »svetobolje, welt-schmerz«. Empatijo raziskuje Simon Baron-Cohen, ki je tudi eden vodilnih raziskovalcev na področju avtizma. V svoji knjigi *Ničelna stopnja empatije: Nova teorija o človeški krutosti (Zero Degrees of Empathy: A New Theory of Human Cruelty)* opisuje različne stopnje empatije. Ob tem se dotakne druge skrajnosti: človeške krutosti in brezobzirnosti. Ali morda psihopati, kot prototipi brez empatije ali z negativno empatijo, nimajo zrcalnih nevronov, ne vemo. Prav tako ne vemo, ali je za razvoj krivo okolje ali geni – najverjetneje oboje. Kaj in koliko prispeva k temu, da se obnašamo empatično ali ne – še ne vemo. Vsekakor pa se v vpogledom v delovanje človekovih možganov, tudi zrcalnih nevronov, spustimo v vznemirljivi svet človekovega uma.

Zrcalni nevroni in govor

Govor lahko razumemo zelo ozko, kot oblikovanje besed ali stavkov z govorili. Lahko pa definicijo govora razširimo, kar je nujno, če razumemo govor kot način, s katerim iz-

ražamo želje, občutke, čustva in misli ter se tako sporazumevamo. Tako lahko rečemo, da je govor sistem izraznih sredstev za sporazumevanje, ki je lahko govorno, pisno ali z dogovorjenimi signali. Zgolj sporazumevanje, v smislu opozorilnih krikov, kot jih poznajo živali, poznamo tudi ljudje. Gre za sistem sporazumevanja, ki je ohranjen celo pri bolnikih z globalno afazijo (popolno nezmožnostjo govora) kot posledico možganske kapi. Tudi anatomsko se strukture, ki se aktivirajo pri govoru ali pa pri opisanih zvokih, ki sicer predstavljajo sporazumevanje, razlikujejo. Zvoki nastajajo v predelu cingulatne skorje in v globokih strukturah diencefalona in možganskega debla, medtem ko so za govor odgovorna obsežna področja skorje, ki ležijo predvsem ob silvični fisuri (glej sliko na strani 304). Lahko torej rečemo, da govora, kot ga razumemo pri ljudeh, druge živali nimajo. Govor je torej kompleksna, le ljudem lastna možganska funkcija, ki jo usvojimo v svojem razvoju.

Za ustrezn razvoj govora je potrebnih veliko dejavnikov, ki se med seboj prepletajo in dopolnjujejo. Govor sooblikujejo: neokrnjeni živčni sistem, tako osrednje živčevje z možgani kot periferni deli, vključno s čutili in govorili, ustrezno razvite psihične sestavine – mišljenje, spomin, pozornost, zaznavanje – ter primerno, spodbudno okolje. Govor, tako kot hojo, usvojimo šele ob ustreznih priložnostih za učenje v določeni starosti in v družbi ljudi. Danes tudi vemo, da otroci pred usvojitvijo besed usvojijo kretnje. Ob čebljanju se okoli devetega meseca starosti pojavijo tudi prve kretnje: dojenček kaže s prstkom na predmete, pokaže, kaj bi rad, pomaha pa-pa. Šele po tem se pojavijo besede. Tudi pri otrocih z razvojnimi zaostanki se pred prvimi besedami pojavijo kretnje. Pri njih se kretnje pojavijo kasneje. Šele za pojavom kretenj se, prav tako kasneje kot običajno, pojavijo prve besede. O razvoju govora smo v reviji *Proteus* že pisali (Bregant, T., 2012: Človekova lastnost: govor? *Proteus*, 74: 391-401).

Armstrong in Corbaliss sta ob teh spoznanjih predlagala nov model nastanka govora, pri čemer naj bi predhodnik govora bila gestikulacija – kretnje in geste. Evolucijsko kasneje naj bi se gibom in kretnjam pridružil zvok, ki je nato prevzel glavno vlogo pri sporazumevanju. Povezava giba s (spo)razumevanjem nas naveže na sistem zrcalnih nevronov. Zrcalni nevroni namreč povežejo oddajnik sporočila s sprejemnikom brez dodatnega miselnega posredovanja. Če nekdo pograbi jabolko, to naša motorična skorja takoj prepozna, saj se v njej skoraj hkrati sproži sistem zrcalnih nevronov.

Ker je govor zelo kompleksen, ga ne moremo razložiti zgolj z obstojem zrcalnih nevronov. Govor in dvonožna hoja sta zelo kompleksni obliki gibanja, ki ju poznamo le ljudje. Zanimivo, da naj bi se prav s poja-

vom hoje in govora z vidika nevrologije zgodil tako imenovani »evolucijski veliki pok«. *Homo sapiens sapiens* – umni človek – naj bi se pojavil že pred 150.000 do 200.000 leti. Vendar pa so se prvo drobno orodje, slike in nakit pojavili šele pred 40.000 leti. Ugibamo, ali gre za evolucijsko zorenje čelnih režnjev, obstoj zrcalnih nevronov ali pa morda kaj drugega. Nevrolog Ramachandran osupljivo delovanje zrcalnih nevronov povezuje z nastankom civilizacije, saj naj bi prav delovanje zrcalnih nevronov omogočilo, da se naučimo kompleksnega družbenega vedenja, ki je postavilo temelje današnji civilizaciji.

Homo sapiens sapiens je sliko konja naslikal pred 17.000 leti v jami Lascaux v Franciji. Nevrolog Ramachandran osupljivo delovanje zrcalnih nevronov povezuje s temelji današnje civilizacije.

Vir: <http://www.mitchellteachers.net/WorldHistory/MrMEarlyHumansProject/MrMOurHumanAncestorsAssignment.html>.



Slovarček:

Sodobne slikovne metode: PET, fMRI, MEG, TMS. Frenologi so menili, da lahko razumejo delovanje možganov in njihove posebnosti z opazovanjem površine lobanje. Danes vemo, da temu ni tako. Kljub temu pa se včasih najdemo v podobnem položaju, ko s primerjanjem strukturnih svin (in še nekaterih barvnih odtenkov, ki jih dodamo kasneje) pri sodobnih metodah slikovne diagnostike sklepamo na delovanje možganov. Nove tehnike, predvsem pa dodatne analize in zmogljivejši aparati nam ponujajo nova razumevanja o delovanju možganov, za katere danes menimo, da so pravilnejša kot tista, ki so jih pred stoletjem ponujali frenologi.

Funkcijske metode, med katere sodijo pozitronska emisijska tomografija (PET) in slikanje s funkcijsko magnetno resonanco (fMRI), nam omogočajo »videti« povečano presnovno aktivnost oziroma povečani lokalni pretok krvi. Tako lahko spremljamo izvajanje določenih nalog v »živih« možganih. Nevrofiziološke študije z elektroencefalografijo (EEG), magnetoencefalografijo (MEG) in transkranično magnetno stimulacijo (TMS) pa izkoriščajo za opazovanje živčne aktivnosti spremembe membranskega potenciala aktivnih nevronov.

Literatura:

Armstrong, A. C., Stokoe, W. C., Wilcox, S. E., 1995: *Gesture and the nature of language*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Dapretto, M., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., Iacoboni, M., 2006: *Understanding emotions in others: Mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders*. *Nature Neuroscience*, 9: 28-30.

Fogassi, L., Ferrari, P. F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., Rizzolatti, G., 2005: *Parietal Lobe: from Action Organization to Intention Understanding*. *Science*, 308: 662-7.

Ramachandran, V. S., Oberman, L. M., 2006: *Broken mirrors: a theory of autism*. *Scientific American*, 5: 62-9.

Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., 1996a: *Premotor cortex and the recognition of motor actions*. *Cognitive Brain Research*, 3: 131-41.

Od streljanja češnjeve koščice do kameleonovega jezika • Fizika

Od streljanja češnjeve koščice do kameleonovega jezika¹

Gorazd Planinšič, Andrej Likar

Pogosto slišimo, da bi moral pouk naravoslovnih predmetov pripravljati bodoče generacije tako, da bo večina (volivci) sposobna sprejemati premišljene odločitve o vprašanjih, ki zadevajo širšo družbo in so povezana z znanostjo. Če hočemo to doseči, moramo pri pouku naravoslovnih predmetov načrtno iskati priložnosti, v katerih se lahko dijaki naučijo, kako se naravoslovno znanje gradi, izboljšuje in uporablja, pa tudi, kje so meje naravoslovnega znanja. V tem članku je analizirana zabavna dejavnost, ki jo po-

zna večina dijakov: streljanje češnjevih koščic s prsti. Zgodba je opisana kot raziskava, pri čemer so koraki podobni tistim, ki jih tipično ubirajo znanstveniki pri svojem delu. Takšen raziskovalni pristop je uspešen tudi kot poučevalska strategija, ki spodbuja dijake, da razmišljajo kot znanstveniki (Etkina, Van Heuvelen, 2007).

V zgodovini človeka je bila sposobnost, da z lastnim telesom požene v gibanje projektil, izjemnega pomena. Človek je postopoma izboljševal tehnike in izkoriščal svojo moč

1 Članek je izboljšana različica članka, ki sta ga avtorja v lanskem letu objavila v reviji *Physics Education* (G. Planinšic, A. Likar, *Phys. Education*, 47 (2012): 21-27.)