

Colecția *Noosfera* este coordonată de
Simona Modreanu și Marcel Agop.

Editor: *Vasile Burlui*

Redactor: *Simona Modreanu*

Tehnoredactor: *Florentina Vrăbiuță*

Coperta: *Paul Gorban*

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
SMITH CHURCHLAND, PATRICIA

Neurosofia: spre o știință unificată minte-creier /

Patricia Smith Churchland; trad. din lb. engleză de
Teodora Lucescu; pref. de Oana Camelia Șerban - Iași:
Cartea Românească Educațional, 2020

Conține bibliografie

Index

ISBN 978-606-9088-93-7

I. Lucescu, Teodora (trad.)

II. Șerban, Oana Camelia (pref.)

Prima ediție *MIT Press, 1989*

© 1986 *The Massachusetts Institute of Technology*

Toate drepturile rezervate. Nicio parte a acestei cărți nu poate fi
reprodusă sub nicio formă electronică sau mecanică (incluzând
fotocopierea, înregistrarea sau stocarea și preluarea informației) fără
permisiunea, în scris, a editurii.

Grupul Editorial Cartea Românească Educațional
Copyright © Editura Cartea Românească Educațional, 2020
www.librariacartearomaneasca.ro/ecredu.ro

PATRICIA SMITH CHURCHLAND

NEUROFILOSOFIA. Spre o știință unificată minte-creier

Traducere din limba engleză de Teodora Lucescu
Cuvânt înainte de Oana Camelia Șerban



Neurofilosofia: o soluție de „laborator” pentru problema carteziană. Nonidentitatea minți-creier și teoria unificării lor (Oana Camelia Șerban)	5
Prefață (Patricia Smith Churchland)	15

PARTEA I

Elemente de neuroștiințe	21
Introducere generală	23

CAPITOLUL 1

Știința sistemelor nervoase: o schiță istorică	35
1.1. Introducere	35
1.2. Schița istorică	37
Lecturi selectate	60

CAPITOLUL 2

Teoria modernă a neuronilor	61
2.1. Introducere	61
2.2. Componentele celulare ale sistemelor nervoase	64
2.3. Cum funcționează neuronii?	74
Lecturi selectate	135

CAPITOLUL 3

Neuroanatomia funcțională	136
3.1. Introducere	136
3.2. Diviziunile anatomice principale	138
3.3. Căi și tracturi	144
3.4. Structura laminară a cortexului	155
3.5. Hărțile topografice din sistemele nervoase	158
3.6. Coloane verticale	172
3.7. Dezvoltarea neuronală	179
3.8. O scurtă remarcă referitoare la nevertebrate	188
Lecturi selectate	191

CAPITOLUL 4

Funcții superioare. Cercetările timpurii	192
4.1. Introducere	192
4.2. Specializarea cerebrală și leziunile naturale	202
4.3. Trasarea hărții creierului prin stimulare electrică	215
Lecturi selectate	220

CAPITOLUL 5

Funcțiile superioare: neuropsihologie și neurologie	221
5.1. Introducere	221
5.2. Lateralizarea emisferică a funcțiilor: Studii despre creierul divizat	225
5.3. Lateralizarea emisferică: tehnici neuropsihologice	248
5.4. Tehnici pentru localizarea intraemisferică a funcțiilor	258
5.5. Tehnici de imagistică	278
5.6. Un eșantion de studii neurologice	286
5.7. Concluzii	302
Lecturi selectate	303

PARTEA a II-a

Progresele recente în filosofia științei	305
---	-----

CAPITOLUL 6

Introducere și schiță istorică	307
6.1. Introducere	307
6.2. Epistemologia timpurie	311
6.3. Empirismul logic	325
6.4. Ce s-a întâmplat cu empirismul logic?	333
6.5. Implicațiile pentru o teorie a minții	350
Lecturi selectate	356

CAPITOLUL 7

Reducția și problema minți-corp	357
7.1. Introducere	357
7.2. Reducția interteoretică	358

7.3. Stările mentale și psihologia populară.....	380
7.4. Concluzii.....	400
Lecturi selectate	403

CAPITOLUL 8

Sunt stările mentale ireductibile la stări neurobiologice?	404
8.1. Introducere	404
8.2. Dualismul substanței.....	407
8.3. Dualismul proprietății și experiența subiectivă	414
8.4. Intenționalitatea și reducția interteoretică.....	430
8.5. Remarci concludive.....	445
Lecturi selectate	446

CAPITOLUL 9

Psihologia funcționalistă	447
9.1. Introducere	447
9.2. Antireducționismul în teoriile funcționaliste ale minții	450
9.3. În apărarea reducționismului.....	456
9.4. Ideologia de co-evoluție a cercetărilor	464
9.5. Reprezentările și reducția	483
9.6. Procesarea informațiilor și paradigma propozițională.....	496
9.7. Concluzii	513
Lecturi selectate	514

PARTEA a III-a

O perspectivă neurofilosofică	515
--	-----

CAPITOLUL 10

Teoriile funcționării creierului	517
10.1. Introducere	517
10.2. În căutarea unei teorii	522
10.3. Teoria rețelei de tensori.....	529
10.4. Povestea despre ce face un tensor	539
în controlul senzoriomotor	539
10.5. Teoria rețelei de tensori și reflexul vestibulo-ocular	555

10.6. Sandwich-urile spațiului fazic	564
10.7. Teoria rețelei de tensori: întrebări suplimentare	570
10.8. Ce legătură are controlul motor cu stările mentale?	575
10.9. Modele paralele ale computației neuronale.....	585
10.10. Neurobiologia unei operații atenționale.....	605
10.11. Remarci concludive.....	611
Lecturi selectate.....	612

CAPITOLUL 11

Remarci finale	613
Note	616
Bibliografie	625
Index de nume proprii	683

motiv cât se poate de practic: e destul de lungă.

Până acum am jonglat doar cu filosofia și neuroștiințele, rămâne de văzut dacă etologia și diferitele științe psihologice ar putea să își găsească loc în această poveste. Deznodământul, pe scurt, ar fi că acestea joacă un rol esențial în construirea unei teorii unificate. O înțelegere detaliată a parametrilor comportamentali este esențială dacă dorim să înțelegem ce ne pot spune mecanismele neuronale, de fapt. Mai mult decât atât, teoriile proceselor cognitive și sub-cognitive susținute de psihologie, de exemplu, ar putea evolua împreună cu teoriile neurobiologice, iar aceste teorii sunt posibile viitoare participante la reducția inter-teoretică care va urma.

Nu m-am axat însă pe etologie sau pe științele psihologice, și aceasta din câteva motive. În primul rând, obiecțiile principale pentru o astfel de teorie unificată sunt tipic filosofice, în măsura în care privesc chestiuni foarte generale și abstracte. Dacă e să apar importanța construirii unei teorii unificate, trebuie să răspund acestor obiecții. În al doilea rând, tematica reprezentărilor și a naturii lor a fost aprofundată în contexte filosofice, dar m-am străduit să aduc în discuție principiile relevante și informațiile pertinente aduse de psihologie, acolo unde a fost cazul. Chiar și așa, cercetările psihologice și etologia nu au fost discutate suficient din rațiuni practice: cartea e deja destul de lungă.

E dificil să fac față entuziasmului care a cuprins cercetările din neuroștiințe și psihologie. Entuziasmul a fost generat, pe de o parte, deoarece neuroștiințele sunt științe, iar prin împingerea limitelor cunoașterii descoperă lucruri noi și surprinzătoare și ne învață cum funcționează anumite aspecte ale universului. Dar entuziasmul mai provine și din ideea că aceste descoperiri au de-a face cu o dimensiune foarte specială a universului, *noi înșine* – noi cei cu fabuloasele îngrămădiri de celule excitabile adăpostite de craniu, care ne fac ceea ce suntem. Într-un fel mai direct, noi descoperim ce suntem de fapt și cum să ne înțelegem mai bine. Și aceasta face parte, cu siguranță, din aspirațiile filosofice ale *oricărui* om, fie el antic sau modern, needucat sau savant.

CAPITOLUL 1

Știința sistemelor nervoase: o schiță istorică

*Câtă vreme creierul nostru este un mister,
universul – reflectarea structurii creierului –
va fi și el un mister.*

Santiago Ramón y Cajal, ca. 1898

1.1. Introducere

Dacă ești înfipt în pământ, îți poți permite să fii prost. Dar dacă te miști, trebuie să ai mecanisme de mișcare și mecanisme care să se asigure că mișcarea nu e complet arbitrară și independentă de mediul extern. Să ne gândim la un simplu protocoardat, tunicatul ascidian. Un nou-născut trebuie să înoate și să se hrănească singur până își găsește o firidă potrivită, după care se apropie și se alipește permanent de ea. Odată fixat, mecanismele sale de mișcare devin redundante, așa că își suplimentează cu înțelepciune dieta consumându-și părțile cele mai inteligente.

Animalele sunt mobile, iar unele dintre ele dispun de o agilitate uimitoare. Cum poate o bufniță să plonjeze, aproape fără zgomot, din întunericul nopții și să prindă un șoarece iute? Ambele organisme sunt în mișcare, dar sincronizarea bufniței este precisă și nu ajunge nici să se prăbușească pe pământ, nici să rateze prada. Cum putem să mergem pur și simplu sau să mergem cu diverse viteze și printre diverse obstacole? Uitați-vă la un sistem nervos care nu funcționează normal pentru că a fost afectat de droguri, de boală sau traumă la nivelul urechii interne, de exemplu, și veți observa o mică parte din complexitatea extraordinară

care stă în spatele coordonării fără cusur pe care, în mod obișnuit, o considerăm de la sine înțeleasă. Ce se petrece în interiorul unui canar când acesta dobândește abilitatea motorie de a produce un cântec, sau în interiorul lupilor când știi cum să se organizeze pentru a vâna o căprioară? Cum putem noi vedea, auzi și înțelege lucruri?

Neuronii sunt celule excitabile, iar neuronii de la periferia senzorială sunt activați de fotoni sau de vibrații, pe când neuronii de la periferia motorie produc contracțiile mușchilor. Între aceștia se află neuronii care orchestrează succesiunea contracțiilor de celule musculare ce permit organismului să se miște pentru a interacționa adecvat cu mediul extern sistemului nervos, hrănindu-se, fugind și așa mai departe. Neuronii sunt elementele de bază ale sistemului nervos; sunt soluția evoluției la problema mișcării adaptive. Dar cum funcționează și ce este excitarea? Cum pot produce efecte atât de diferite unele de altele cum sunt conștientizarea luminii și conștientizarea atingerii? Cum sunt organizate așa fel încât organismul să se descurce prin lume?

Dacă dorim să înțelegem principiile funcționale ce ghidează creierul uman, trebuie să ne amintim că sistemul nostru nervos a evoluat din alte tipuri de creier – că nu a fost creat din nimic doar pentru noi, dar că are abilități și limite datorate originilor sale. Sarcina sistemelor nervoase de a evolua nu a derivat din frumusețea intrinsecă a rațiunii sau dintr-o bunătate immanentă a cogniției, ci, în principal, din nevoia animalelor de a anticipa corect evenimentele din mediul lor, precum și evenimentele ce luau naștere în alte organisme [Dawkins și Krebs, 1978, Llinás (în presă)]. Natura fundamentală a cogniției își află rădăcinile în trucerile prin care diverse scheme reprezentative oferă organismelor un avantaj competitiv în predicții. Structurile reprezentative trebuie să fie și ele bine organizate pentru a permite funcționarea motorie informată și vor purta marca rațiunii lor de a fi.

Să reținem că evoluția biologică a sistemului nervos, în sensul fizic al acestuia, este importantă în demersul teoretic, dar relevantă este și evoluția culturală a științei

sistemelor nervoase. Creierul este covârșitor de complexe și delicat și își dezvăluie secretele cu o ezitare exasperantă. Înțelegerea parțială a procesului prin care cunoștințele au fost dobândite, a modului în care conflictele teoretice au fost rezolvate sau a celui în care progresele tehnologiei au fost esențiale situează neuroștiințele moderne și le face mai accesibile. O perspectivă istorică ne ajută să formulăm presuposițiile fundamentale inerente în cunoștințele actuale, care sunt datorate originilor istorice, și să verificăm dacă aceste presuposiții sunt adecvate. Ne ajută să vedem cum și cele mai sigure convingeri pot fi doar prejudecăți și cum putem fi luați prin surprindere. Să avem o înțelegere despre cum am ajuns unde suntem este esențială dacă vrem să aflăm spre ce ne îndreptăm de acum.

Ceea ce urmează este o scurtă prezentare a unor momente cruciale din istoria neurofiziologiei. Schița istorică este, desigur, foarte selectivă și am urmărit, în principal, firul narativ ce a condus către cunoașterea elementelor structurale de bază ale sistemului nervos și modul lor de operare. Rezervăm pentru mai târziu acea parte din istorie care se referă la implementarea neurofiziologică a funcțiilor psihologice.

1.2. Schița istorică

Până la Galenus (200 B.C.), o bună parte din ce se putea observa cu ochiul liber din anatomia sistemului nervos fusese descoperită. Galenus a fost un anatomist și fizician grec care considera că mișcarea este dependentă de mușchi și că acele „corzi” albicioase din mușchi sunt esențiale, într-un anumit fel. Aceste „corzi” sunt nervii, iar nervii sunt precum niște cabluri ce conțin fibre cu fascicule de axoni. Ipoteza lui Galenus era că nervii transportă una din pneume – pneuma psihică – către mușchi, care se umflă după ce sunt pătrunși de pneuma, conducând către mișcare. În concepția lui Galenus, pneuma psihică era suflul sau aerul, deși el gândea că suflul nu era doar ceva fizic, cum gândim noi acum, ci era

infuzat cu spirit vital. Credința lui Galenus a fost un început, deși a împletit destul de neclar mecanicismul și vitalismul, ce a dăinuit ca ortodoxie până ce biologii și anumiștii secolului al XIX-lea au avut destule informații cât să o înlocuiască.

Descartes (1596-1650), deși uneori neînțeleș în această privință, a avut o concepție mult mai materialistă decât Galenus asupra mișcării corpului. Captivat de versatilitatea neasemuită a mecanismelor cu ceas și a sistemelor elaborate de fântâni, Descartes considera corpul uman ca fiind o mașinărie, deosebit de complicată, desigur. Era de acord că mușchii funcționau datorită infuziei cu spirite animale, dar le considera pe acestea ca fiind

nimic mai mult decât corpuri materiale, cu singura particularitate că sunt corpuri de o precizie extremă care se mișcă foarte repede, precum... particulele unei flăcări (1649; în Haldane și Ross 1911:336)

Este evident că nu era nimic spiritual în „spiritele animale” ale lui Descartes. El a fost preocupat îndeosebi de dobândirea unei înțelegeri mecanice a reflexelor, deoarece le considera ca fiind acțiuni în timpul cărora

membrele sunt mișcate de.... obiecte ale simțurilor și de...spirite animale, dar fără ajutorul sufletului. (1649; în Haldane și Ross 1911:339)

Conștient de natura involuntară a unei acțiuni reflexe, a demonstrat acest lucru prin clipire, observând că

... pleoapele nu se închid datorită intervenției sufletului,... însă mașinăria corpului este în așa fel alcătuită, încât o mișcare a mâinii către ochi provoacă o altă mișcare în creierul nostru ce conduce spiritele animale spre mușchi, ceea ce determină pleoapele să se închidă. (1649; în Haldane și Ross 1911:338)

Această mentalitate este limpede și pățimaș mecanicistă. Descartes a mai descris lanțul causal al reflexului în felul următor, ilustrându-și ipoteza prin desenul prezentat în figura 1.1. Să presupunem că pielea piciorului este atinsă de un tăciune aprins. Acesta deplasează pielea, care va trage de un fir minuscul care se întinde de la picior la creier. Acesta, la rândul său, deschide un por în creier ce permite spiritelor animale să coboare, umflând mușchii și activând mișcarea. Ceea ce *era* mai presus de o înțelegere mecanicistă, în opinia lui, erau acțiunile voluntare, care necesitau implicarea rațională a unui suflet imaterial și exercitarea liberului arbitru. Acesta era faimosul duh ce făcea mașinăria corpului uman atât de măreață.

Descartes a mai fost frapat de ceva ce este într-adevăr excepțional: faptul că organismele percep ceea ce fac și se mișcă datorită a ceva ce este separat de mușchi sau de organele senzoriale, mai exact, datorită creierului. Nervii sunt, în esență, cabluri mesagere către și dinspre creier. După cum a remarcat și Descartes:

Este ușor de demonstrat că sufletul simte aceste lucruri care afectează corpul, nu deoarece este prezent în fiecare parte a corpului, ci deoarece este prezent în creier, unde nervii, prin mișcările lor, în transmit diferitele acțiuni ale obiectelor externe care ating părțile corpului. (1644; în Haldane și Ross 1911:293).

Straniile cazuri ale membrelor fantomă ne arată că, în opinia lui Descartes, „durerea din mână nu este simțită de minte pentru că este în mână, ci pentru că este în creier” (1644; în Haldane și Ross 1911:294). (Se întâmplă adesea ca, după amputarea unui membru, pacientul să spună că simte ca și cum membrul încă ar exista, că are o poziție și o orientare distinctă, că are senzații, de obicei dureroase. Uneori, membrul fantomă dispăre; alteori, persistă pe termen nedefinit.)

Unii s-au aventurat să extindă concepția mecanicistă nu numai asupra comportamentului involuntar și asupra „tuturor acțiunilor comune oamenilor și animalelor”, ci și asupra comportamentului voluntar al oamenilor. La Mettrie, în special, a pus în discuție acest caz la modul general, în lucrarea sa *Omul mașină* (1748), în care a pretins că nu există o deosebire fundamentală între oameni și animale. „Iritarea” nervilor, credea el, dă seamă de orice tip de comportament, atât inteligent, cât și reflex.



Figura 1.1. Explicația lui Descartes pentru mecanismul din spatele reflexului. „... particulele focului acestuia au destulă forță să deplaseze zona pielii pe care o ating; așadar trăgând micul fir cc, pe care îl vedeți legat acolo, ele ajung să deschidă simultan porul de unde firul se termină [în creier]... [În continuare]... spiritele animale din adânciturile lui încep să se deplaseze înăuntrul nervilor, și așa ajung în mușchii ce vor da naștere mișcărilor...” (Descartes 1664; în Hall 1972:34)

Din păcate pentru La Mettrie, timpurile nu erau pregătite deloc pentru asemenea idei eretice și efervescente, astfel încât el a plătit un preț greu pentru răzvrătirea

iconoclastă. A fost alungat și insultat de preoțime, i-a fost interzisă intrarea în Franța și a fost exilat chiar și din Olanda liberală. A fost într-un final invitat la curtea lui Frederic cel Mare al Prusiei, unde și Voltaire își avea reședința.

În viziunea sa mecanicistă asupra spiritelor animale și a funcționării corpului, Descartes a fost cu siguranță un nonconformist, păstrându-și cu greu onorabilitatea doar prin rezervele constant formulate în care afirma că probabil se înșela și că se supunea întru totul autorității Bisericii catolice. Tradiționaliștii au continuat să declare că spiritele animale și forțele vitale erau imateriale și spectrale, și să considere că activitatea nervoasă necesită forțe vitale.

Totuși, ideea că nervii erau conductori ai spiritelor animale a pierdut din ce în ce mai multă popularitate și a fost pusă la încercare în special de marele biolog olandez Jan Swammerdam (1637-1680). În timpul unui experiment, el a desprins mușchiul unei broaște, cu părți ale nervilor atașate, descoperind, ca mulți alții înaintea lui, că mușchiul se contracta dacă nervul era ciupit sau iritat. Swammerdam s-a gândit că, dacă o simplă deformare mecanică a nervului era suficientă pentru a produce o contracție musculară, atunci „pneuma” din creier nu era necesară, iar proprietățile fizice obișnuite puteau fi chiar ele agenții cauzali.

Printr-un al doilea experiment, la fel de elocvent, Swammerdam a testat ipoteza că mușchii s-ar mișca datorită infuziei cu pneuma care îi umflă (figura 1.2). Folosind o metodă elegantă și simplă, a descoperit că volumul mușchiului nu se mărea în timpul contracției prin stimularea nervului, așa cum prezicea teoria pneumei. A așezat mușchiul într-un compartiment închis de unde pleca un tub ce conținea apă și a urmărit dacă exista vreo deplasare a stropului de apă atunci când mușchiul se contracta. Nu s-a produs nicio deplasare. De aici a dedus că mușchiul își schimbă forma, dar „... nicio materie de masă sesizabilă sau considerabilă nu pătrunde în mușchi prin nervi” (*Biblia naturae*, publicată post-mortem 1738). Alții au pus în practică versiuni mai primitive ale acestui test, pe subiecți de testare

vii, prin scufundarea unui braț în apă, contractarea mușchiului și măsurarea nivelului apei. Desigur, aceste experimente nu au convins pe nimeni că ipoteza spiritelor animale ar trebui abandonată, dar au stimulat cercetarea proprietăților fizice ale nervilor și mușchilor.

Un progres major în cunoaștere a fost realizat de François Magendie în 1822. Experimentând pe animale, a observat că rădăcinile nervilor de pe partea dorsală a măduvei spinării transportă informații senzoriale de la periferia măduvei, pe când rădăcinile ventrale transportă mesaje motorii către mușchi (figura 1.3). Descoperirea separării funcțiilor nervilor a fost nespuse de importantă pentru consolidarea principiului conform căruia diferite părți ale sistemului nervos execută funcții diferite. (Se pare că aceasta fusese de fapt o redescoperire întrucât, deși nu se știa în comunitatea științifică, Herophilos și Erasistratus deslușiseră deja divizarea muncii cu vreo două mii de ani înaintea experimentelor lui Magendie.) Regula generală conform căreia rădăcinile dorsale transportă informații senzoriale intern, iar rădăcinile ventrale transportă informații motorii extern a devenit cunoscută ca legea Bell-Magendie, deși se pare că Charles Bell (a se vedea mai jos) nu identificase corect funcția rădăcinilor dorsale.

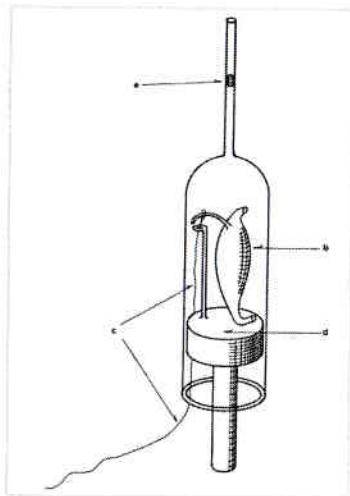


Figura 1.2. Experimentul lui Swammerdam creat pentru a testa creșterea în volum a mușchilor în timpul contracției. În punctul *e* din interiorul tubului este un strop de apă care s-ar ridica în cazul în care mușchiul *b* ar crește în volum în urma contracției stimulate mecanic (*c*). (Redesenat după Swammerdam 1737-8.)

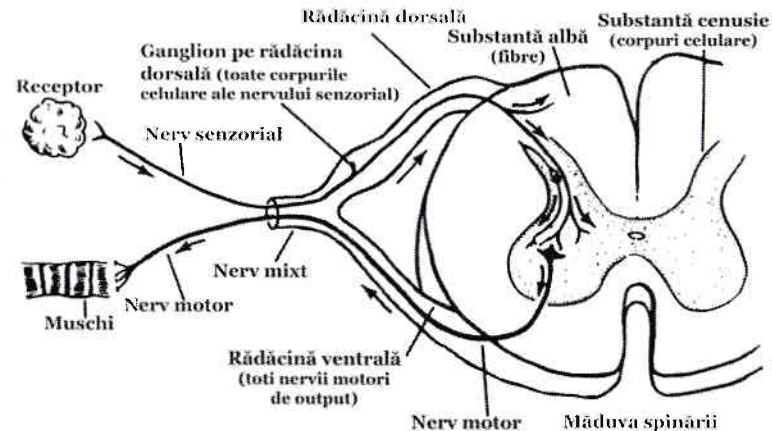


Figura 1.3. Organizarea nervilor periferici privită prin secțiunea transversală a măduvei spinării la unghi drept cu măduva. Fibrele aferente transmit informații către măduva spinării prin rădăcina dorsală, iar cele eferente conduc informații motorii dinspre măduva spinării către mușchi prin rădăcina ventrală. [A se vedea Thompson (1975). *Introducere în Psihologia fiziologică*. New York: Harper and Row.]

Charles Bell (1774-1842) a fost un pionier al cercetării experimentale asupra cauzelor diferențelor în calitățile senzoriale. Înțepându-și singur limba cu un ac ascuțit a observat că unele zone îi provocau durere, iar altele nu îi provocau nicio senzație, doar un gust ușor metalic. Deși stimulul era același, efectul era fără îndoială diferit, ceea ce l-a făcut pe Bell să creadă că diferența se datora nervilor sau creierului, nu stimulului. A observat de asemenea că percepția luminii poate fi provocată de presiunea laterală asupra ochiului.

În acele vremuri, prevala convingerea potrivit căreia calitatea unei senzații era determinată strict de natura stimulului, deși unele organe, cum ar fi retina, erau considerate a fi mai sensibile decât pielea, putând astfel să perceapă vibrații mai subtile, precum lumina, pe când pielea nu putea.

Magendie și Bell și-au dat seama că această perspectivă era probabil falsă, iar Magendie a demonstrat acest lucru, chiar într-un mod dramatic, în tratarea pacienților cu cataractă. În cabinetul său, a introdus un ac ascuțit în ochii pacienților, iar astfel a observat că, deși penetrarea inițială a corneei era foarte dureroasă, atunci când acul ajungea la retină nu provoca vreo durere insuportabilă cum susținea vechea teorie, ba chiar nu provoca nicio durere. În schimb, producea senzații de lumină.

Johannes Müller (1801-1858) a continuat investigațiile lui Magendie. Conform rezultatelor lui, care au ajuns să fie cunoscute drept „legea energiilor nervoase specifice”, fiecare nerv are „energie” sau calitatea lui particulară, întrucât face parte dintr-un sistem capabil să producă un singur fel de senzație. Müller a testat organele de simț în detaliu pentru a vedea dacă poate să producă senzația caracteristică și doar acea senzație prin metode diferite. A descoperit că senzațiile tactile, de exemplu, puteau fi produse prin influență mecanică, chimică, prin căldură, electricitate, precum și prin „stimularea sângelui” (congestie și inflamare). Propria concluzie a lui Müller dezvăluie schimbarea produsă în cunoștințele despre cum și ce reflectează creierul:

Așadar, senzația nu este transmiterea unei stări sau a unei calități de la un corp extern către conștiință, ci transmiterea unei stări sau a unei calități de la nervii noștri către conștiință, ei fiind excitați de o cauză externă. (1835; în Clarke și O'Malley 1968:206)

Ca un ecou al gândurilor lui Descartes, toate acestea marchează o etapă specială în procesul de cunoaștere a modului prin care sistemul nervos reflectează lumea exterioară. A devenit evident, așadar, faptul că mediul extern este reconstruit de creier prin efectele sale asupra nervilor, deci proprietățile lumii nu ne sunt pur și simplu „oferite”. Lumea este, într-o anumită măsură, un produs al creierului nostru.

Müller este considerat, în istoria biologiei, ca „părintele fiziologiei moderne”, fiind extraordinar de prolific, publicând, se pare, câte o lucrare la fiecare șapte săptămâni, de la vârsta de nouăsprezece ani până la moartea sa. S-a aventurat într-o mare varietate de subiecte, cuprinzând histologia, embriologia, fiziologia mișcării, viața fătusului, nervii, vederea, și anatomia vertebratelor și nevertebratelor. A fost profesor de anatomie și fiziologie la Berlin, unde a îndrumat un număr impresionant de cercetători faimoși. Totuși, Müller a rămas adeptul viziunii unor spirite animale imateriale, care ar trece prin nervi cu o viteză mult prea mare pentru a fi măsurată. Unul din studenții săi cei mai iluștri, Hermann von Helmholtz, i-a atacat presupuziția într-un mod inventiv și cu bătaie lungă, ajungând să uimească lumea când a reușit să măsoare viteza conducției unui impuls nervos.

Helmholtz (1821-1894) a fost, în ceea ce privește cauzele efectelor nervoase, un materialist neclintit. Studiind fizica, Helmholtz a fost interesat și provocat de legea conservării energiei și de ce ar putea ea să însemne din punct de vedere biologic. A considerat că, dacă legea este corectă, adică dacă energia nu e creată sau distrusă, ci transformată, asta înseamnă că nu este nevoie de o forță vitală care să apară *ex nihilo*. Așadar, a început să cerceteze dacă legea s-ar putea aplica și organismelor vii, explorând relațiile dintre procesele corporale și căldura generată de mușchi.

El a arătat că, în timpul activității musculare, au loc schimbări în mușchi, care ar putea fi explicate doar prin oxidarea nutrimenților consumate de organism. După aceea, a arătat că reacțiile chimice obișnuite erau capabile să producă toată activitatea fizică și căldura generată de organism, iar dacă era vorba de energie, corpul putea fi văzut ca un mecanism de transformare a energiei dintr-o formă în alta. Nicio forță sau spirit special nu erau necesare pentru corp. Evident că toate acestea nu au fost o lovitură prea puternică pentru vitalism, întrucât Helmholtz nu arătase decât faptul că *outputul* energetic al corpului putea fi