

## Senzorični sistemi Sensory systems

Duška Meh\*

Ključne besede  
senzorični sistem  
receptorji senzorični  
senzorični prag

Ključne besede  
sensory system  
receptors sensory  
sensory thresholds

**Izvleček.** Človek je občutljiv za vrsto različnih energij. Njihov vpliv zaznamo, če imamo zanje ustrezne receptorje, ki fizikalni dražljaj spremene v zaporedje živčnih impulzov. Ti po določenih živčnih poteh potujejo do središč v osrednjem živčevju, kjer izzovejo zaznavo (občutek). Receptorji somatosenzoričnega sistema omogočajo senzorično procesiranje dotika, propriocepcije, bolečine ter toplote in hladu. Pomembne so štiri značilnosti dražljaja, ki opredeljujejo značilnost zaznave: modalnost, intenzivnost, trajanje in lokalizacija. Povezovanje fizikalnih lastnosti dražljaja z značilnostmi senzoričnih izkušenj omogočajo psihofizikalne metode.

**Abstract.** The wealth of energies around us are detected by receptors transducing the physical stimuli in a train of nerve impulses. These are conducted to the perception centres in the CNS, where they elicit sensory impressions. Receptors of the somatosensory apparatus make sensory processing of tactile sensation, proprioception, pain and thermal sensation possible. The character of sensation is determined by the following four stimulus characteristics: modality, intensity, duration and location. The links between physical characteristics of the stimulus and characteristic features of sensory impressions are studied by psychophysical methods.

### Uvod

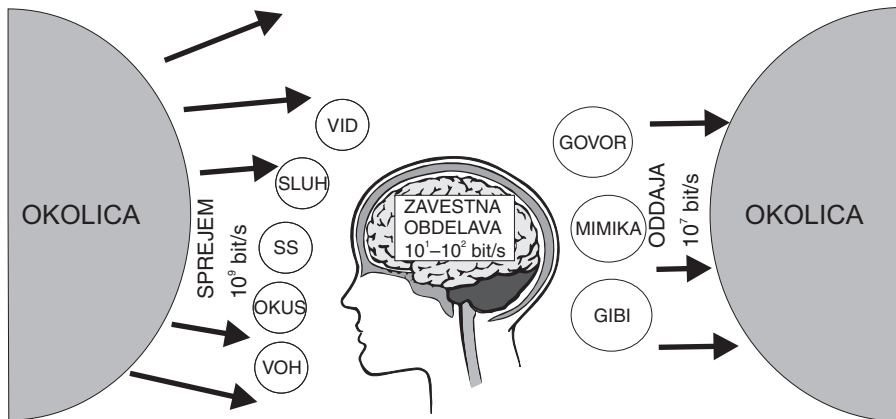
V okolju neprestano potekajo različni energetski procesi, ki jih živi organizmi zaznajo le, če izzovejo aktivnost v njihovih senzornih kanalih. Različni organizmi so občutljivi za različne energije, ki izzovejo senzorne procese in odzive organizma. Človek natančno razpozna svoje okolje, saj je občutljiv za vrsto različnih energij (ima zanje posebno organizirane senzorične sisteme – tabela 1) in se odziva na informacije, ki jih dobi z draženjem s temi energijami. Vpliv določene energije zaznamo le, če imamo zanj ustrezne receptorje. Receptorji so izpostavljeni ogromnemu številu dražljajev; število informacij, ki zasujejo organizem v 1 s, je  $10^9$  bitov. V organizmu poteka na različnih ravneh izbira (selekcija) informacij, saj jih je človek sposoben v sekundi zavestno obdelati največ  $10^2$  bitov. V kratkotrajni spomin se shrani  $10^1$  bitov/s, v trajni pa le 1 ( $10^0$ ) bit/s. Število informacij, ki jih v 1 s človek odda v okolje z govorom, mimiko, gibi itd., je spet ogromno –  $10^7$  bitov (1) (slika 1).

Senzorični sistemi se razlikujejo v vrsti podrobnosti, za vse pa velja, da fizikalni dražljaj deluje na receptor in izzove vrsto dogodkov, v katerih se dražljaj prevede v živčni impulz (transdukcija in transformacija). Ta po dovodnih perifernih živčnih vlaknih potuje do središč v osrednjem živčevju in izzove zaznavo (zavestno doživljanje občutka). Različne energije (različni fizikalni dražljaji) izzovejo procese v specifičnih analizatorskih sistemih. Senzorični proces sestavljajo sprejem dražljaja (struktura, ki sprejme dražljaj, je recep-

tor), prenos informacij (po dovodnem živčnem vlaknu in ascendentni živčni progi) in njihova predelava (v središčih v osrednjem živčevju), ki sproži občutek – zaznavo. Občutki so zavestni dogodki in vrste senzoričnih informacij (npr. tistih, ki so potrebne za refleksni nadzor gibanja ali informacij iz notranjosti telesa) se (na srečo ali žal) ne zavedamo, saj ne dosežejo zavesti, so pa pomembne za vzdrževanje vrste funkcij.

Tabela 1. Človekovi senzorični sistemi.

Modalnost	Dražljaj	Tip receptorja	Receptor
Vid	svetloba	fotoreceptor	čepnice, paličnice
Sluh	zvočnik	mehanoreceptor	lasaste celice (polž)
Somatosenzorika	mehanski	mehanoreceptor	nevroni v spinalnih ganglijih
	toplota, hlad	termoreceptor	
	bolečina	nociceptor	
	kemične snovi	kemoreceptor	
Okus	kemične snovi	kemoreceptor	okušalne brbončice
Voh	kemične snovi	kemoreceptor	olfaktorni senzorični nevroni



Slika 1. Receptorji so preplavljeni z  $10^9$  bitov podatkov iz zunanjega okolja v sekundi. Zavestno jih obdelamo le  $10^2$  bitov/s. Človek odda v okolje v 1 sekundi  $10^7$  bitov informacij.

### Somatosenzorični sistem

Receptorje somatosenzoričnega sistema najdemo po vsem telesu, omogočajo pa senzorično procesiranje

- dotika,
- proprioceptije,

- bolečine,
- toplote in hladu.

Poleg teh modalnosti so za somatosenzoriko pomembne še različne submodalnosti (npr. površinski in globok dotik – pritisk) in sestavljene zaznave (na različne načine povezane različne modalnosti in submodalnosti).

Somatosenzorične modalnosti prepozna organizem na osnovi njihovih značilnosti. Po **teoriji specifičnih modalnosti** imamo za vsako vrsto občutka specifične receptorje in primarne nevronske ter posebno čutilno progno. Vseh značilnosti s specifičnostjo struktur ne moremo razložiti, pogosto je verjetnejša razlaga, da določen občutek sproži natančno določen vzorec dražljaja (**teorija vzorcev**). Večino modalnosti kodira njihova specifičnost, prepoznavo nekaterih pa omogočajo ali vsaj dopolnjujejo vzorci.

Za vsako od somatosenzoričnih modalnosti (dotik, propriocepcija, bolečina ter toplota in hlad) obstajajo specifični receptorji in dovodna vlakna (tabela 2). Receptorji so lahko inkapsulirani ali pa so goli živčni končiči.

Tabela 2. Receptorji in dovodna vlakna, vpleteni v zaznavanje različnih občutkov.

Receptor	Dovodno vlakno	Kakovost občutka
<b>Nociceptorji</b>		
<b>mehanski</b>	<b>A-delta</b>	<b>ostra, zbadajoča bolečina</b>
<b>termični in mehansko-termični</b>	<b>A-delta</b>	<b>ostra, zbadajoča bolečina</b>
<b>termični in mehansko-termični</b>	<b>C</b>	<b>počasna, pekoča bolečina</b>
<b>polimodalni</b>	<b>C</b>	<b>počasna, pekoča bolečina</b>
<b>Termoreceptorji</b>		
<b>receptorji za toploto</b>	<b>C</b>	<b>toplota</b>
<b>receptorji za hlad</b>	<b>A-delta</b>	<b>hlad</b>
<b>Kožni in podkožni mehanoreceptorji</b>		
<b>Meissnerjevo telesce</b>	<b>A-beta</b>	<b>plahutanje</b>
<b>Paccinijevo telesce</b>	<b>A-beta</b>	<b>vibracija</b>
<b>Ruffinijevo telesce</b>	<b>A-beta</b>	<b>stalen pritisk na kožo</b>
<b>Merkelov receptor</b>	<b>A-beta</b>	<b>stalen pritisk na kožo</b>

Vsa dovodna vlakna so periferni aksoni spinalnih ganglijskih celic, psevdounipolarnih nevronov z jedri v spinalnih ganglijih. Razlikujejo se po:

- morfologiji perifernih končičev,
- občutljivosti za dražljaje,
- premeru aksona in celičnega telesa,
- mielinski ovojnjici.

Mehanorecepcija in propriocepcija sta odvisni od aktivnosti inkapsuliranih receptorjev in hitro prevajajočih perifernih aksonov. Topli, hladni in boleči dražljaji vzdražijo gole živč-

ne končiče, periferni aksoni njihovih spinalnih ganglijskih celic pa prevajajo impulze počasno (tabela 3).

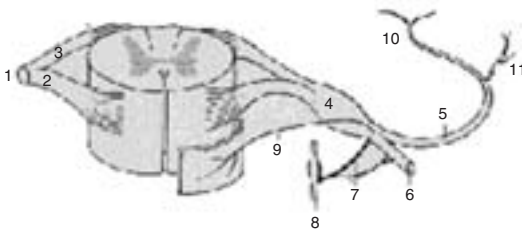
Tabela 3. *Tipi dovodnih živčnih vlaken.*

Dovodno vlakno	Mišično vlakno	Kožno vlakno	Premer vlakna ( $\mu\text{m}$ )	Prevodna hitrost (m/s)
<b>Mielinizirano</b>				
<b>debelo</b>	<b>I</b>	<b>A-alfa</b>	<b>13–20</b>	<b>80–120</b>
<b>tanjše</b>	<b>II</b>	<b>A-beta</b>	<b>6–12</b>	<b>35–75</b>
<b>najtanjše</b>	<b>III</b>	<b>A-delta</b>	<b>1–5</b>	<b>5–30</b>
<b>Nemielinizirano</b>	<b>IV</b>	<b>C</b>	<b>0,2–1,5</b>	<b>0,5–2</b>

Senzorične impulze prevajajo do hrbtenjače dovodna vlakna, združena z odvodnimi v periferni živec. Periferni živci se združijo v spinalni živec, njegova dovodna vlakna pa kot zadajšnje korenine spinalnih živcev vstopijo v hrbtenjačo (slika 2).

V hrbtenjači se impulzi prevajajo po različnih, natančno opredeljenih živčnih poteh, zadajšnjih svežnjih (vibracija, fin dotik, položajna senzibilnost, ločevanje dvojnega dražljaja) in anterolateralnem sistemu (lateralna spinotalamična proga – bolečina, sprednja spinotalamična proga – grob dotik, druge ascendentne živčne proge, katerih impulzi pa večinoma ne dosežejo zavesti) (2, 3).

Podatki o somatosenzoričnih dražljajih končno vzdražijo možgansko skorjo ali druge dele osrednjega živčevja, kar sta z neposrednim električnim draženjem skorje dokazala Penfield in Rasmussen (4), z metodo izvabljenih odzivov (evociranih potencialov) in s preiskovanjem občutljivosti pri okvarah senzoričnih in motoričnih središč pa potrdili drugi raziskovalci (5–7). Še vedno je neznan povezava med vzdraženjem nevronov in zavestno zaznavo dražljaja. Zanj so pomembni le impulzi, ki dosežejo skorjo (senzorični homunkulus) ali vsaj talamus, ki je vpleten v zaznavanje nekaterih vidikov bolečine. Lokalizacijo dražljajev omogoča zlivanje (konvergenca) senzoričnih dražljajev na periferi-



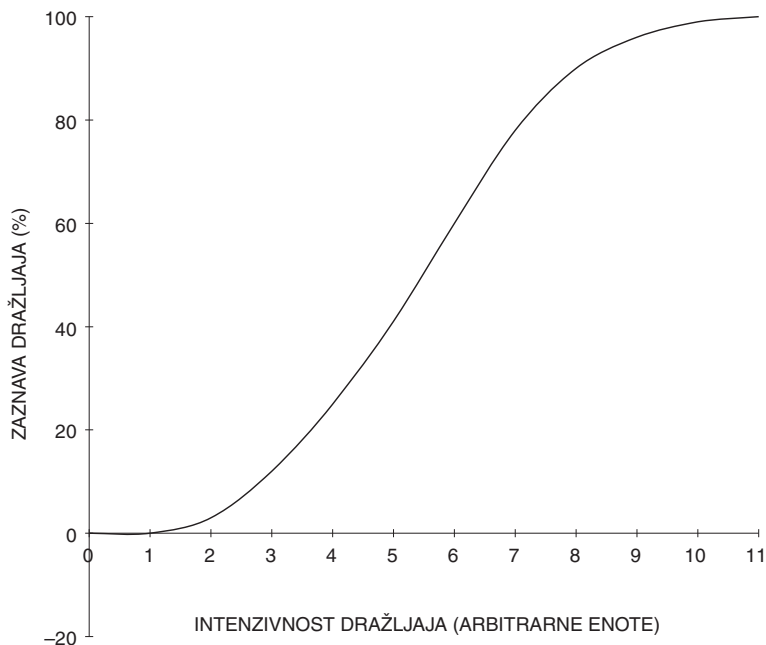
Slika 2. *Prečni presek skozi hrbtenjačo, spinalni živec z najpomembnejšimi vejami. 1 – spinalni živec (nervus spinalis), 2 – sprednja korenina (radix anterior), 3 – zadajšnja korenina (radix posterior), 4 – spinalni ganglij (ganglion spinale), 5 – zadajšnja veja (ramus dorsalis), 6 – sprednja veja (ramus ventralis), 7 – rami communicantes, 8 – avtonomni ganglij v simpatičnem trunkusu (truncus sympathicus), 9 – meningealna veja (ramus meninges), 10 – medialna veja (ramus medialis), 11 – lateralna veja (ramus lateralis).*

ji, v hrbtnjači, talamusu ali skorji. Možganska skorja je pomembna tudi za modulacijo aktivnosti nevronov v ascendentnih živčnih progah (nanje vplivajo descendente živčne poti), za diskriminativno razpoznavo občutkov in za avtonomne, motorične in čustvene odzive nanje (8).

Zaznavo normalno sproži in opredeli dražljaj. Za senzoriko so pomembne štiri značilnosti dražljaja, ki opredeljujejo tudi značilnost zaznave (9):

- modalnost (kakovost, kvaliteta),
- intenzivnost (količina, kvantiteta),
- trajanje,
- lokalizacija.

Med zaznavnim procesom organizem zazna značilnosti dražljaja in jih lahko natančno opredeli, če pa je proces moten, lahko impulzi, ki prispejo do zaznavnih središč, izkazujejo povsem drugačen občutek. Spremenjena je lahko katerakoli značilnost zaznave. Dogajanja v senzoričnih sistemih lahko vsaj delno spremljamo z nevrofiziološkimi metodami. Opazovanje dogajanj v senzoričnem živčevju, ki so posledica dražljaja, omogoča senzorična fiziologija, povezovanje fizikalnih lastnosti dražljaja z značilnostmi senzoričnih izkušenj pa psihofizikalne metode.



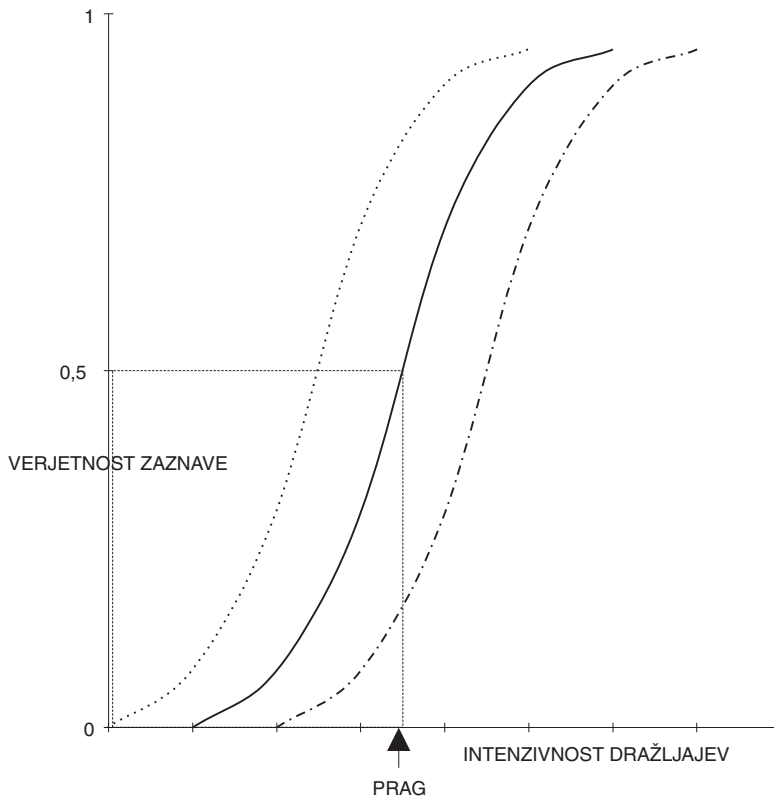
Slika 3. Psihometrične funkcije opisujejo odnos med intenzivnostjo dražljaja in odstotkom zaznanih dražljajev.

### Modalnost

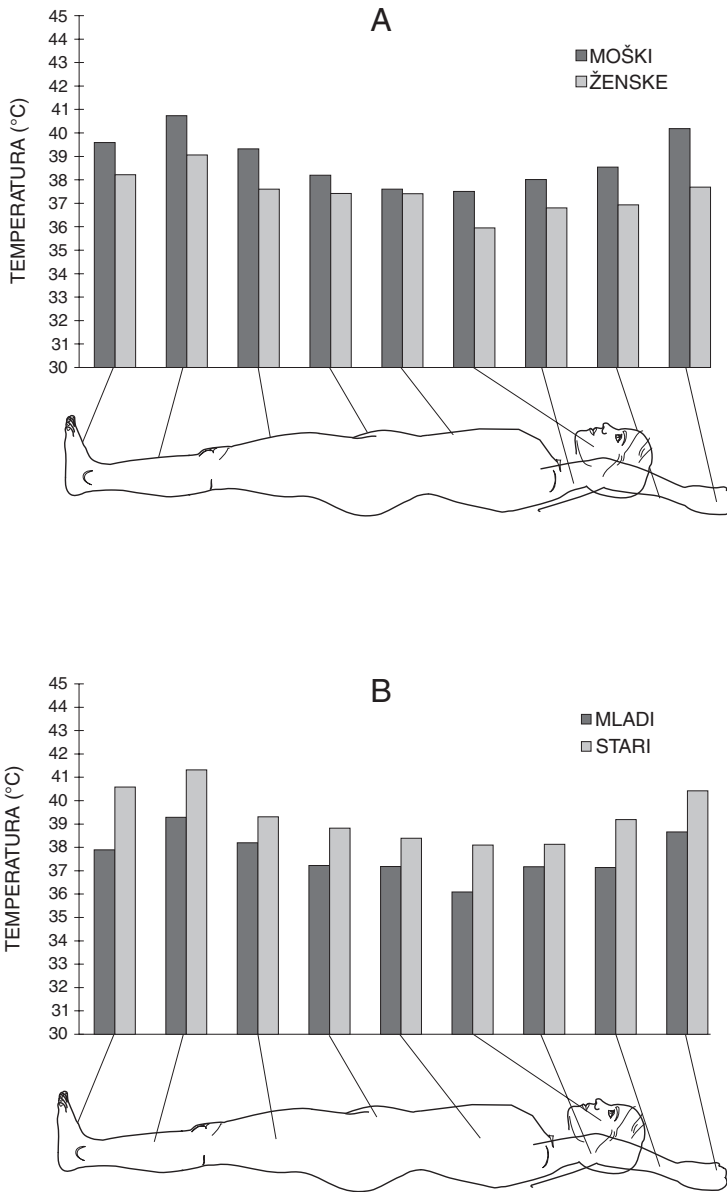
Poznamo pet **modalnosti** (vid, sluh, telesne zaznave – somatosenzorika, okus in voh), vsaka od njih pa ima več **kakovosti** ali **submodalnosti**. Modalnost je ena od značilnosti, ki določajo kakovost zaznave. Posamezne **specifično** povezane receptorje in živčna vlakna aktivirajo različni **specifični dražljaji (teorija modalnosti)**. Specifičnost ni absolutna; dražljaj, ki je dovolj močan, vzdraži več različnih receptorjev in živčnih vlaken. V normalnih razmerah so receptorji in živčna vlakna občutljivi predvsem za eno vrsto dražljajev, za katero imajo tudi najnižji prag.

### Intenzivnost

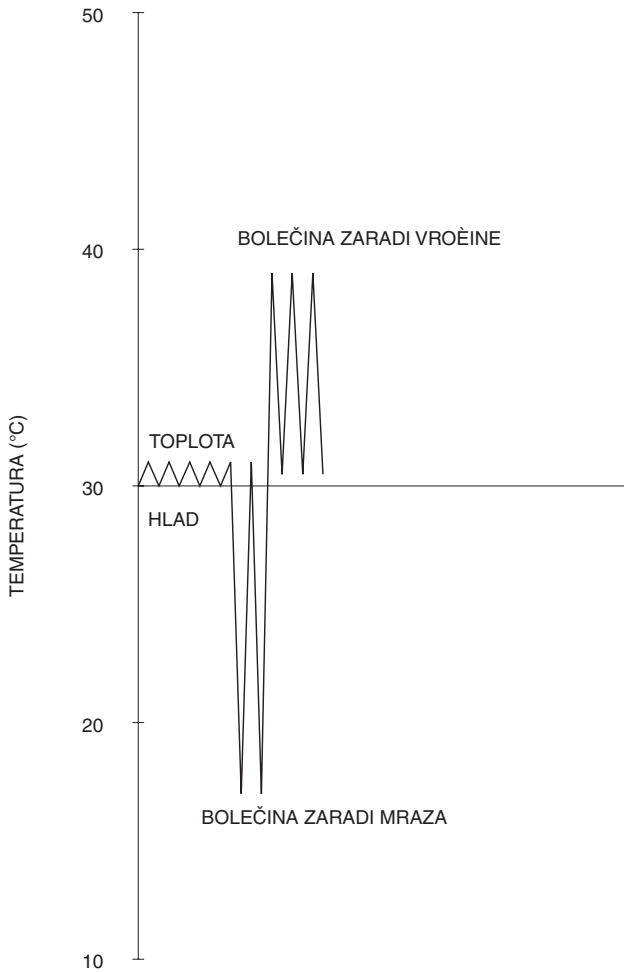
Intenzivnost občutka je odvisna od moči dražljaja. Povezavo med odstotkom zaznanih dražljajev in njihovo intenzivnostjo opisujejo psihometrične funkcije (slika 3). Najmanjša intenzivnost dražljaja, ki izzove zaznavo, je statistično določen **zaznavni prag**. Do-



Slika 4. Pri prazni intenzivnosti dražljaja zazna preiskovanec polovico dražljajev. Različni dejavniki (npr. motiv) znižajo ali zvišajo prag.



Slika 5. Pragi zaznave bolečine zaradi vročine so na različnih delih organizma različni. Odvisni so od starosti (A) in spola preiskovanca (B).



Slika 6. Pri višanju temperature zazna preiskovanec najprej toploto, nato pa bolečino zaradi vročine. Pri nižanju temperature zazna hlad in bolečino zaradi mraza.

loča jo intenzivnost dražljaja, ki jo preiskovanec zazna v polovici poskusov (slika 4). Zaznavni prag je odvisen od modalnosti dražljaja (specifičnost receptorja), nanj vplivajo različni zunanji in notranji dejavniki, odvisen pa je tudi od spreminjanja dražljaja (pri večanju intenzivnosti so pragi drugačni kot pri manjšanju). Zaznavni pragi torej niso absolutni, spremembe pa niso posledica spremenjenega receptorskega praga v perifernih receptorjih, ampak sprememb v osrednjih senzoričnih sistemih, limbičnem sistemu in drugih živčnih sistemih.



Zaznavni prag je odvisen od sposobnosti senzoričnega sistema za obdelavo dražljaja in od merila, ki ga preiskovanec uporabi pri njegovem vrednotenju in je prav tako odvisen od več dejavnikov (močan motiv npr. zniža slušni zaznavni prag pri športniku na startu in zviša bolečinski prag med porodom) (slika 4). Nanj vpliva tudi občutljivost področja, kjer določamo prage (npr. gostota receptorjev in živčnih vlaken, velikost receptivnih polj) (slika 5). Pogosto je občutljivost odvisna tudi od starosti in spola preiskovanca (slika 5).

Pri ocenjevanju intenzivnosti je pomembna tudi kvantifikacija dražljaja. Organizmu omogoča ločevanje in razvrščanje različno intenzivnih dražljajev (slika 6).

### Trajanje

Trajanje zaznave je odvisno od trajanja dražljaja in njegove intenzivnosti. Na trajanje zaznave vpliva tudi **adaptacija** (prilagajanje), zaradi katere postane dražljaj z določeno intenzivnostjo po določenem času prešibek, da bi izzval zaznavo, postane **podpražni**. Zaradi zmanjšane občutljivosti receptorjev ali drugih struktur, vpletenih v zaznavanje, se namreč zviša zaznavni prag in oseba dražljaja ne zazna več (če roko potisnemo v zelo toplo, skoraj vročo vodo, toplota po določenem času ni več moteča).

### Lokalizacija

Za prostorsko opredeljevanje določene zaznave sta pomembni lokalizacija dražljaja in sposobnost ločevanja dveh dražljajev. Sposobnost lokalizacije opredeljujejo gostota receptorjev, povezovanje dražljajev in pomen občutljivosti določenega dela za organizem.

### Sklep

Psihofizika (povezovanje fizikalnih lastnosti dražljaja z značilnostmi senzoričnih izkušenj) in senzorična fiziologija (dogajanje v senzoričnem živčevju, ki je posledica dražljaja) na vrsto vprašanj o zaznavanju še ne znata odgovoriti. Mnenja o tem, ali barve, zvoki, vonji, oblike itd. res obstajajo sami po sebi ali so le »izdelki« naših možganov, so še vedno različna in burijo duhove filozofov. Naša razmišljanja razlagajo le nekatera pravila in omejitve, ki jih ima za razlaganje sveta na razpolago naše živčevje s senzoričnimi sistemi, vidom, sluhom, okusom, vohom in telesnimi zaznavami.

---

### Literatura

1. Keidel WD. Informationsverarbeitung. In: Keidel WD, ed. *Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie*. Stuttgart: Thieme, 1979: 16.1–16.13.
2. Carpenter MB. *Core text of neuroanatomy*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1991.
3. DeMyer WE. *Technique of the neurologic examination*. New York: McGraw-Hill, 1994.
4. Penfield W, Rasmussen T. *The cerebral cortex of man*. New York: Macmillan, 1957.
5. Marshall J. Sensory disturbances in cortical wounds with special reference to pain. *J Neurol Psychiat* 1951; 14:187.
6. Fruhstorfer H, Guth H, Pfaff U. Cortical responses evoked by thermal stimuli in man. *Pflügers Arch* 1973; 339: R88.
7. Kakigi R, Shibasaki H, Ikeda A. Pain-related somatosensory evoked potentials following CO<sub>2</sub> laser stimulation in man. *Electroenceph clin Neurophysiol* 1989; 74: 131–8.

8. Kelly DD. Central representations of pain and analgesia. In: Kandel ER, Schwartz JH. *Principles of neural science*. New York: Elsevier, 1985: 331–43.
9. Martin JH. Coding and processing of sensory information. In: Kandel ER, Schwartz JH, eds. *Principles of neural science*. New York: Elsevier, 1991: 329–52.

Prispelo 24. 3. 1997