

Psihofizikalne metode Psychophysical methods

Duška Meh*

Ključne besede
občutek, motnje – diagnostika
senzorični prag

Key words
sensation, disorders – diagnosis
sensory thresholds

Izvleček. Kvantitativni senzorični testi so pomembno dopolnilo kliničnega pregleda. Občutke izvabljamo s fiziološkimi modalno-specifičnimi dražljaji in merimo s psihofizikalnimi preiskavnimi metodami. Zaznavni prag je odvisen od vrste zunanjih in notranjih dejavnikov, ki jih moramo upoštevati pri odločitvi o motenem občutku. Občutljivost (za dotik, bolečino, toploto, hlad, vibracijo) lahko okvarijo različne bolezni. Nevrološka bolezen lahko selektivno prizadene senzorični nevron na različnih ravneh, različne populacije nevronov in njihove različne dele, natančna lokalizacija bolezenskega procesa pa je mogoča le s povezovanjem rezultatov kliničnega pregleda in različnih preiskav. Le ocena praga s psihofizikalnimi metodami (opisali smo termometrijo, vibrametrijo in ocenjevanje zaznavanja dotika) je zato premalo za ovrednotenje klinične slike.

Abstract. Quantitative sensory tests constitute an important complement to physical examination. Perception is evoked by modality-specific stimuli and sensory thresholds are examined by psychophysical methods. Sensory disturbances are defined in terms of changes in perception thresholds. Different psychophysical methods are described. Subjective responses are assessed by thermometry, vibrametry and examination of tactile sensation which are affected by some internal and external factors. As these tests do not localize the lesion, they should be complemented by a physical examination and other investigations.

Uvod

Psihofizika preučuje odnose med fizikalnimi lastnostmi dražljaja in senzoričnimi izkušnjami, psihofizikalne metode pa temeljijo na določanju zaznavnih pragov. Zaznavni prag je opredeljen kot velikost dražljaja, ki izzove zaznavo, oz. kot intenzivnost dražljaja, ki jo preiskovanec zazna v polovici poskusov. V senzoričnih poteh je stalna, naključna aktivnost (šum), ki jo zunanji dražljaj poveča. Preiskovanec primerja izrazitost zaznave z notranjim merilom in se mora odločiti, če je nova aktivnost toliko večja od šuma, da dražljaj, ki jo je izzval, lahko opredeli kot prazni – določi torej svoje merilo. Notranje merilo je pri različnih preiskovancih in pri istem preiskovancu na različnih mestih različno, nanj pa vplivajo tudi čas, preiskovančevi motivacija in pripravljenost za sodelovanje ter drugi dejavniki, npr. verjetnost, da se bo preiskovanec odločil za eno od možnosti (1–3).

Določanje zaznavnih pragov je zahtevno delo, ki ga dobro opravi le natančen, potrpežljiv in teoretično dobro podkovan preiskovalec. Na izmerjene zaznavne prage močno vplivajo

*Znanstvena sodelavka dr. Duška Meh, dr. med., Inštitut RS za rehabilitacijo, Linhartova 51, 1000 Ljubljana in Univerzitetni inštitut za klinično nevrofiziologijo, Klinični center, 1525 Ljubljana.

dejavniki, ki preoblikujejo (zavirajo ali spodbujajo) dražljaj, ki potuje proti možganski skorji. Hrup, utrujenost, vznemirjenost, sočasni drugi dražljaji so nekateri od dejavnikov, ki motijo zaznavanje in onemogočajo natančno določitev pragov. Preiskave otežkoča tudi preiskovančev strah in za veliko ljudi morda nepričakovan, pri določanju občutljivosti za vibracijo tudi neznan in težko prepoznaven dražljaj. Zaznavni pragi so odvisni tudi od aktivnosti simpatičnega živčnega sistema (4), čeprav povezave med izmerjenimi zaznavnimi pragi in aktivnostjo simpatičnega živčevja, določeno z merjenjem simpatičnega kožnega odziva, nismo mogli dokazati (5), vznemirjen preiskovanec pa pragov ni mogel zanesljivo označiti (6). Pomembna je adaptacija, na katero vplivajo tudi histrost spreminjanja dražljaja in starost preiskovanca. Kožna temperatura močno vpliva na izmerjene prage (5, 6). Možen in verjeten je vpliv osrednjih procesnih mehanizmov, ki jih ne poznamo in zaenkrat ne moremo dovolj zanesljivo oceniti, ter spremenljivost notranjega merila (1–3). Na zaznavne prage vplivajo tudi določena zdravila, predvsem tista, ki vplivajo na zaznavne procese v osrednjem živčevju in povzročajo dremavost in zaspanost, zaradi pomirjevalnega učinka in izzvane fizične utrujenosti pa vplivajo tudi na psihomotorne sposobnosti. Preizkušali smo vpliv diazepama na prage zaznave vibracije (5, 7). Statistično značilno spremenjenih zaznavnih pragov po zaužitju diazepama nismo našli, povečal pa se je raztros vrednosti. Pri bolnikih, ki uživajo diazepam, zaznavnih pragov zaradi vpliva učinkovine na zaznavanje ne bo smiselno opravljati.

V svetu je le nekaj raziskovalnih središč, ki se ukvarjajo s psihofizikalnim ocenjevanjem občutljivosti. Naša raziskovalna skupina se z dvema metodama, termometrijo in vibrimetrijo, raziskovalno ukvarja od začetka devetdesetih let, vedno pomembnejši pa postajata tudi pri diagnostičnih postopkih. Pri raziskovalnem in kliničnem delu bomo začeli določati tudi prage zaznave rahlega dotika in bolečine zaradi pritiska.

Termometrija

Termometrija je ena od psihofizikalnih metod, s katerimi ocenjujemo občutke. Pri delu uporabljamo metodo Marstock (8), ki so jo razvili švedski in nemški raziskovalci in se po mestih (Marburgu in Stockholmu), v katerih so delali, tudi imenuje. Uporabljamo Somedicov aparat (SOMEDIC Thermostest, Somedic AB Stockholm, Švedska) (slika 1). Preiskava omogoča kvantitativno oceno pragov zaznave toplote, hladu in bolečine zaradi mraza in zaradi vročine, zelo pomembne podatke pa dobimo s hkratnim spremljanjem kakovosti občutka. Absolutnih vrednosti pragov zaznave toplote in hladu ne vrednotimo, saj so izmerjene vrednosti odvisne od kožne temperature. Prag zaznave hladu je nizek pri nizki kožni temperaturi in se viša z višanjem kožne temperature, prag zaznave toplote pa je najnižji pri visoki kožni temperaturi in višji pri nižjih temperaturah kože (9).



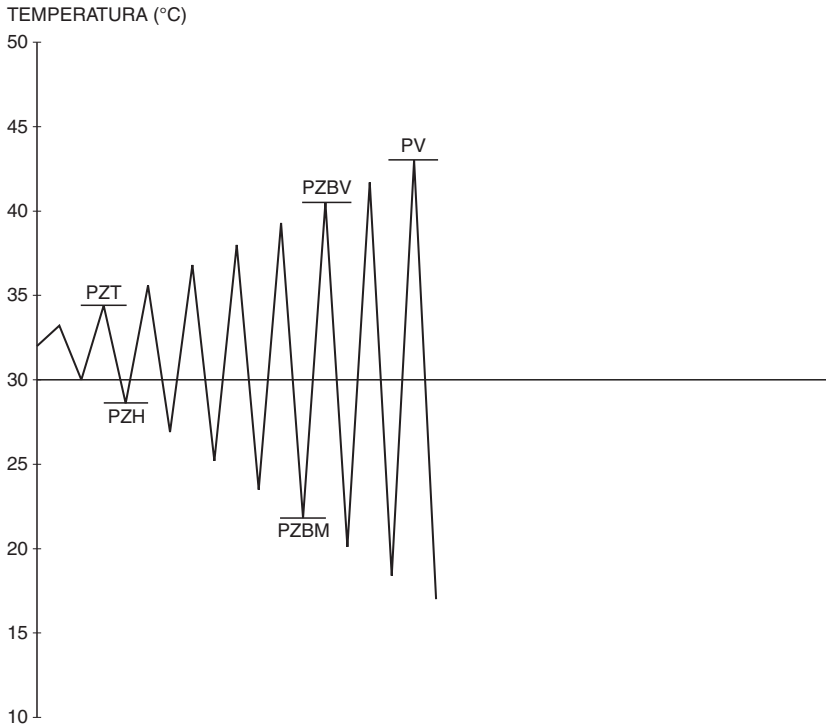
A



B

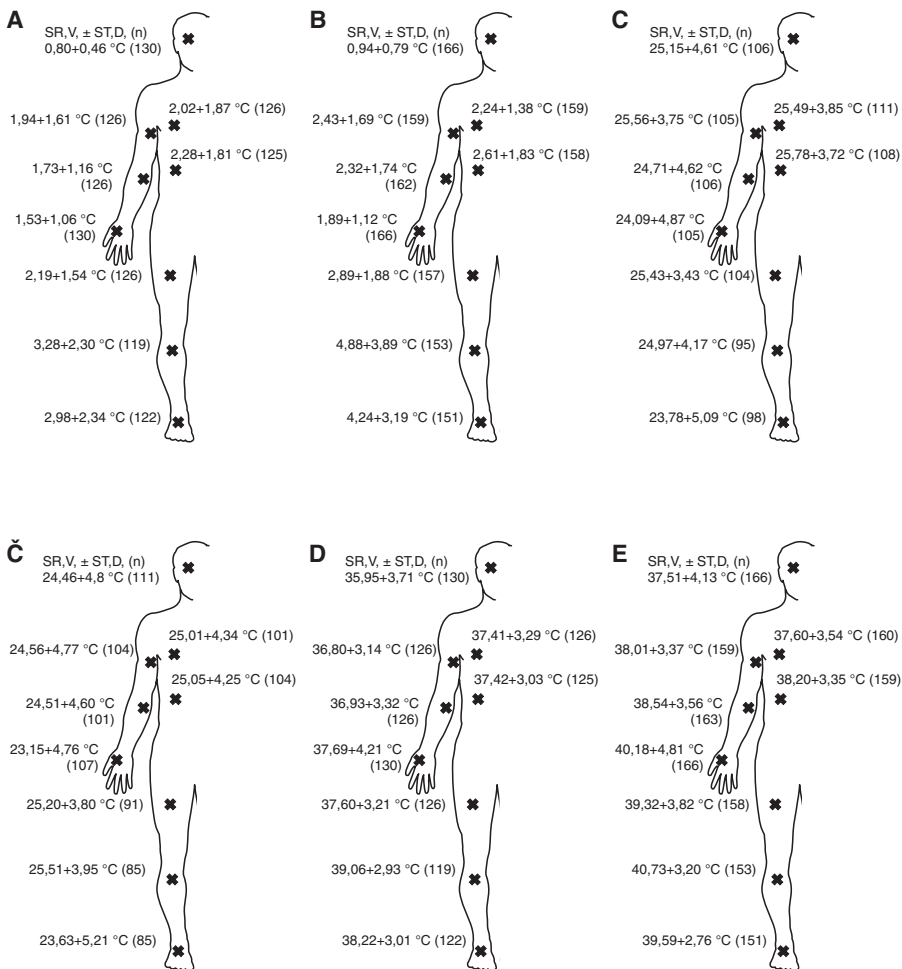
Slika 1. A – termotester s termodo, ki jo na del, ki ga pregledujemo, pritrdimo z elastičnim trakom. B – preiskovanec s pritiskom na stikalo spremeni smer toka in s tem temperaturo. Stikalo pritisne takoj, ko začuti, da je postal stimulator toplejši ali hladnejši (dražiti začnemo vedno s temperaturo 30 °C, ki je v nevtralnem območju). Spreminjanje temperature zapisujemo s peresnim pisalnikom.

Vrednosti, ki nam pomagajo pri opredeljevanju občutljivosti, so širina nevtralnega območja (razlika med pragoma zaznave toplote in zaznave hladu), ter praga zaznave bolečine zaradi mraza in zaradi vročine (slika 2).



Slika 2. Temperatura, s katero določamo zaznavne prage, se spreminja linearno. V nevtralnem območju (območju ugodja) ne zaznavamo nič, če se temperatura še dvigne ali zniža, pa zaznavamo toploto ali hlad. Pri še večjih spremembah zaznavamo bolečino, skrajna meja, do katere zdržimo, a je pri preiskovancih običajno ne določamo, pa je tolerančna meja. PV – prag vzdržljivosti, PZBM – prag zaznave bolečine zaradi mraza, PZBV – prag zaznave bolečine zaradi vročine, PZH – prag zaznave hladu, PZT – prag zaznave toplote.

Pri ocenjevanju občutkov za toploto, hlad in bolečino zaradi mraza in zaradi vročine uporabljamo čisti toplotni dražljaj, saj stimulator, termodo, z elastičnim trakom pritrdimo na mesto, ki ga pregledujemo, in med določanjem zaznavnih pragov ne dražimo receptorjev za dotik. Termoda ne deformira kože in podkožnega tkiva, saj je pritisk na tkivo premajhen, velikost termode pa je standardna, tovarniško določena in pri vseh preiskovanih enaka, tako da ne more vplivati na rezultate. V odvisnosti od smeri toka, ki teče skozi njo, se ohlaja ali segreva in s tem hladi ali segreva kožo na draženem mestu. Temperaturo za določitev širine nevtralnega območja spreminjamo s hitrostjo $0,15\text{ }^{\circ}\text{C/s}$, kar dosežemo z 10 % največjega možnega toka (I_0), zelo občutljiva področja dražimo s počasneje se spreminjajočo temperaturo (s 5 % I_0 , tj. z $0,04\text{ }^{\circ}\text{C/s}$), za določitev bolečine zaradi



Slika 3. Povprečne vrednosti širin nevtralnih območij (A, B) in pragov bolečine zaradi mraza (C, Č) in zaradi vročine (D, E) na različnih delih telesa. SR, V – srednja vrednost in ST, D – standardna deviacija.

mraza ali zaradi vročine pa uporabimo 40% I_0 oz. hitrost 1 °C/s. Hitrosti 0,15 °C/s in 1 °C/s se skladajo s priporočenimi v literaturi (9, 10) in ne vplivajo na zaznavne prage, ki pa jih ne spremenijo niti počasnejše spremembe – 0,04 °C/s (6).

Preiskava je odvisna od preiskovančevega sodelovanja, saj s stikalom sam spreminja smer toka in s tem temperaturo. Stikalo pritisne takoj, ko začuti, da je postal stimulator toplejši ali hladnejši (praga zaznave toplote in hladu) oz. boleče vroč ali boleče mrzel (praga zaznave bolečine zaradi vročine in zaradi mraza). Preiskovalec mora natančno

spremljati preiskovančeve odzive, resničnost njegovih navedb pa lahko preveri z vrsto drobnih zvijač. Dražiti začnemo vedno s temperaturo 30 °C, ki je v nevtralnem območju (temperaturnem območju, kjer temperatura stimulatorja ne izzove proženja impulzov in preiskovanec ničesar ne zaznava). Mejni uporabljani temperaturi sta 10 °C in 50 °C, ki že izzoveta bolečino, ne moreta pa poškodovati preiskovanca.

Normativne vrednosti zaznavnih pragov smo določili na devetih delih telesa desno in levo (11, 12), dokaj natančno pa lahko zaznavanje ocenimo tudi drugje (vrednosti se med sosednjimi področji ne razlikujejo bistveno). Na splošno so razlike med različnimi merjenimi mesti najbolj izražene pri določanju širine nevtralnega območja, pri določanju bolečine zaradi mraza in zaradi vročine pa so manjše (slika 3). Izmerjeni pragi so med preiskovanci zelo različni (na hrbtni strani nog se širine nevtralnih območij npr. pri ženskah gibljejo od 0,25 do 11 °C, pri moških pa od 0,20 do 14,80 °C).

Zaznavanje toplote, hladu in bolečine je spremenjeno pri mnogih nevroloških okvarah, pri vseh, ki okvarijo katerega od členov v senzorični poti. Najznačilnejše okvare perifernega živčevja, ki spremenijo delovanje tankih mieliniziranih (A-delta) in nemieliniziranih živčnih vlaken, ki sestavljajo kar dve tretjini ali tri četrtine vlaken v perifernem živcu (13–15), so periferne nevropatije in mnoge med njimi izolirano ali pa najprej in najočitneje okvarijo prav tanka vlakna. Bolezni, ki izolirano okvarijo tanka živčna vlakna, so diabetesna (16–18) in amiloidna nevropatija (19), Riley-Dayev sindrom (20), hereditarne senzorične nevropatije (21), Tangierjeva bolezen (22), Fabryjeva bolezen (23), pansenzorična familiarna nevropatija (24) in Sjögrenov sindrom (25–28). Okvare so s psihofizičnimi preiskavami dokazali tudi pri nekaterih boleznih osrednjega živčevja (29). Izolirano okvaro zaznavanja toplote, hladu in bolečine ugotovimo tudi pri različnih intramedularnih procesih, npr. siringomielijah in tumorjih.

Vibrametrija

Kvantitativne in kvalitativne podatke o zaznavanju vibracije prav tako izmerimo s psihofizikalno preiskavo, vibrametrijo. Merilni aparat, vibrometer, ima standardizirana pritisk na kožo in amplitudo premika ter omogoča določanje zaznavnih pragov. Uporabljamo metodo, ki sta jo opisala Goldberg in Lindblom (30), zaznavne prage pa merimo s Somedicovim aparatom (Vibrometer type IV, Somedic AB Stockholm, Švedska) (slika 4).

Stimulator je nepolariziran elektromagnet, ki vibrira z dvakratno frekvenco uporabljenege električnega signala – s 100 Hz. Kar najbolj navpično in pravokotno ga prislonimo na kožo nad kostjo. Pritisk na tkivo je enak teži stimulatorja (450 g), stična površina pa meri 1,13 cm². Uporabljeni pritisk je med meritvijo stalen, signalna lučka na vibrametru pa preiskovalca opozori na morebitno odstopanje od začetne točke. Stimulator pred merjenjem na vsakem mestu, ki ga pregledujemo, uravnamo, saj je amplituda odvisna od viskozno-elastičnih lastnosti tkiva (31), ki jim prilagodimo aparat. Amplitudo vibracije (možne so vrednosti od 0 do 399,9 μm) merimo neposredno s pomočjo pretvornika v stimulatorju. Preiskovanec pove, kdaj začuti vibracijo in kdaj občutek izgine. Frekvenca in oblika vibracije (sinusna) sta stalni, zaradi širjenja vibracije na okolna zdrava tkiva pa metoda za dokazovanje izpadov na omejenih področjih, glavi ali prsnem košu, ni primerna.

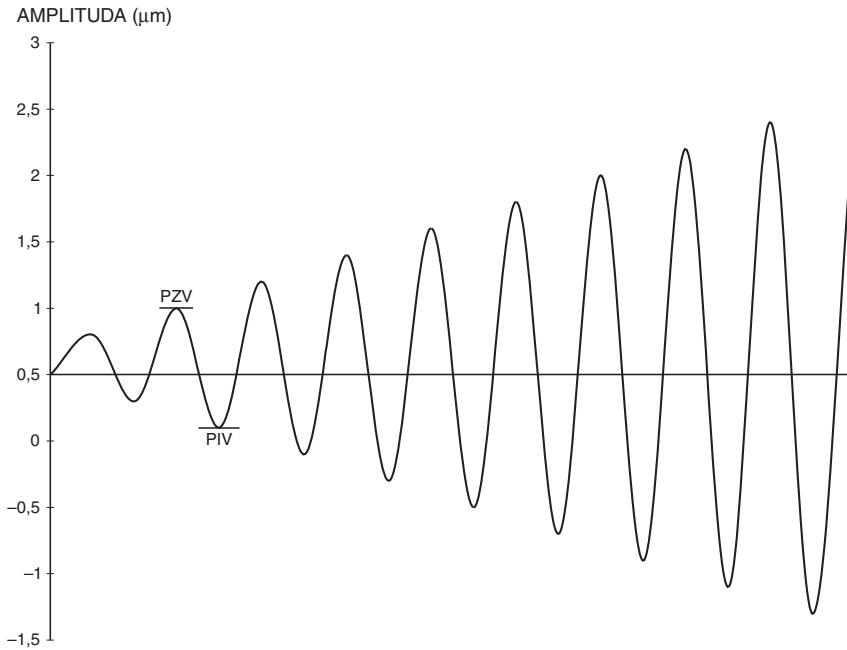


A



B

Slika 4. A – pod preiskovano mesto položimo blazino z zrcni, ki preprečuje širjenje vibracije po podlagi. B – vibrator prislonimo kar najbolj navpično na kožo nad kostjo, na kateri določamo prage zaznave vibracije.



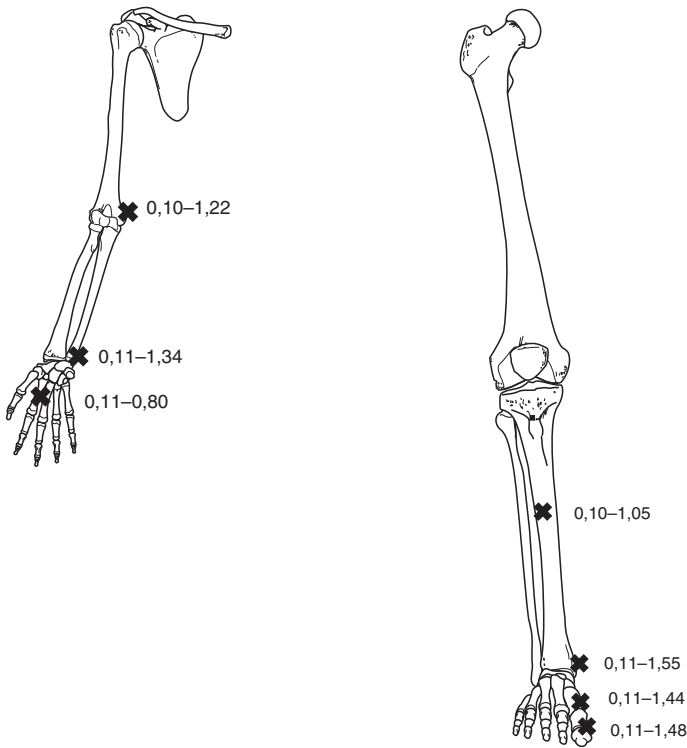
Slika 5. Sinusoidno nihanje (vibracijo) zaznamo, ko amplituda doseže zaznavni prag. Pri manjši amplitudi občutek vibracije izgine (prag izginotja občutka vibracije). PIV – prag izginotja občutka vibracije, PZV – prag zaznave vibracije.

Določamo prag zaznave vibracije (PZV) in prag izginotja občutka vibracije (PIV) ter izračunamo vibracijski prag (VP), srednjo vrednost med obema prejšnjima (slika 5). Normativne vrednosti smo določili za sedem različnih telesnih delov (32, 33). Izmerjene vrednosti se med različnimi mesti razlikujejo (30, 32–34). Preiskovanci težje določijo PIV, kjer je aktivnost, dodana šumu, majhna, in variabilnost teh podatkov je večja, variabilnosti PZV in VP pa sta podobni (30, 32). Pri okvarjeni občutljivosti ali pri drugače spremenjenih pogojih, ko je prage težko določiti, se zato izjemoma lahko zadovoljimo tudi z določitvijo le PZV (32). Različni deli telesa so za vibracijo različno občutljivi. Razponi izmerjenih vrednosti so veliki (slika 6).

Vibrimetrija je znana in pri kliničnem in raziskovalnem delu pogosto uporabljena metoda. Pomembna je za potrditev ali izključitev okvarjenega zaznavanja, kadar so rezultati preiskovanja z glasbenimi vilicami dvomljivi. Določanje zaznavnih pragov je občutljivo in pokaže tudi subklinične okvare.

Ocenjevanje zaznavanja dotika

Psihofizikalna preiskava, s katero ocenjujemo zaznavanje dotika, je določanje zaznave z von Freyevimi laski (35). Preiskava je dokaj preprosta. Sintetični laski so pritrjeni

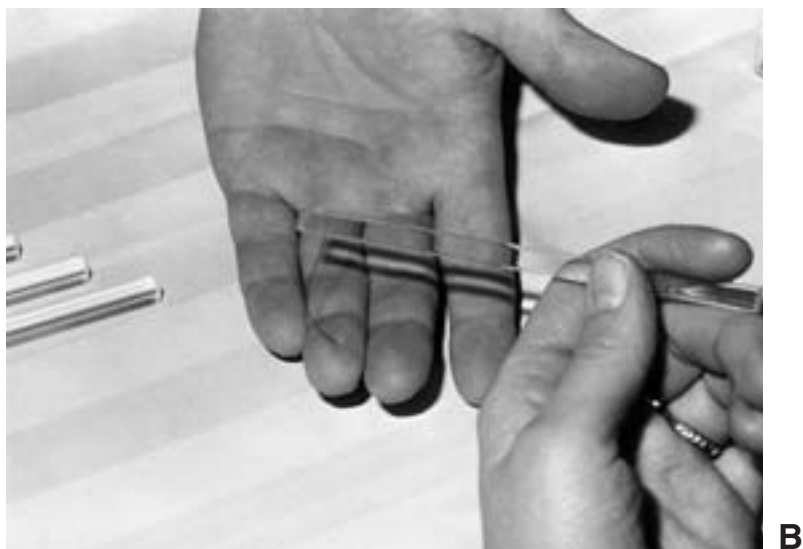


Slika 6. Razponi izmerjenih pragov zaznavanja vibracije na različnih delih telesa.

na držalo (slika 7). Ob delovanju določene sile se upognejo. Preiskovanec čuti pritisk na kožo in glede na debelino laska, ki ga čuti, izmerimo občutljivost preiskovanega telesnega dela. Na zaznavanje dotika prav tako vpliva vrsta dejavnikov, lastnih izkušenj pa imamo še premalo, da bi jih lahko natančno opredelili.

Sklep

Ob upoštevanju omejitev so kvantitativni senzorični testi pomembna pomoč v klinični praksi in kliničnem raziskovanju. Pred odločitvijo o motenem občutku moramo ovrednotiti dejavnike, ki odločajo o pomenu rezultata. Zaznavni prag je namreč odvisen od več zunanjih in notranjih dejavnikov. Nevrološke bolezni lahko povzročijo okvaro senzibilnosti (občutka za dotik, občutka bolečine, občutka za toploto ali hlad, občutka za vibracijo), lahko pa tudi spremenijo zaznavanje navedenih občutkov. Le ocena praga je zato premalo za ovrednotenje klinične slike. Upoštevati moramo tudi, da lahko nevrološka bolezen selektivno prizadene senzorični nevron na različnih ravneh, različne populacije nevronov in njihove različne dele.



Slika 7. Von Freyevi laske za določanje občutljivosti za dotik. A – sintetični laske so pritrjeni na držala. B – ob delovanju določene sile se laske upognejo.

Literatura

1. Green DM, Swets JA. *Signal detection theory and psychophysics*. New York: John Wiley and Sons, 1966.
2. Swets JA, Tanner WP Jr, Birdsall TG. Decision processes in perception. *Psychol Rev* 1961; 89: 752–65.
3. Coombs CH, Dawes RM, Tversky A. *Mathematical psychology: an elementary introduction*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1970.
4. Francini F, Zoppi M, Maresca N, Procacci P. Skin potential and EMG changes induced by cutaneous electrical stimulation. 1. Normal man in arousing and non-arousing environment. *Appl Neurophysiol* 1979; 42: 113–24.
5. Meh D, Denišlić M. Influence of sympathetic activity, temperature, ischemia and diazepam on thermal and vibration thresholds. *Pflügers Arch Eur J Physiol* 1996; 431: R305–6.
6. Meh D. *Ocenjevanje toplote, hladu in bolečine pri človeku*. Magistrsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, 1992.
7. Meh D. *Elektrofiziološko in psihofizično ocenjevanje somatosenzoričnega in avtonomnega živčnega sistema*. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, 1994.
8. Fruhstorfer H, Lindblom U, Schmidt WG. Method for quantitative estimation of thermal thresholds in patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1976; 39: 1071–5.
9. Kenshalo DR. Psychophysical studies of temperature sensitivity. In: Neff WD, ed. *Contributions to sensory physiology*. New York: Academic Press, 1970: 19–74.
10. Swerup C, Nilsson BY. Dependence of thermal thresholds in man on the rate of temperature change. *Acta Physiol Scand* 1987; 131: 623–4.
11. Meh D, Denišlić M. Ocenjevanje občutkov toplote, hladu in bolečine. *Zdrav Vestn* 1993; 62: 445–50.
12. Meh D, Denišlić M. Quantitative assessment of thermal and pain sensitivity. *J Neurol Sci* 1994; 127: 164–9.
13. Bessou P, Perl ER. Response of cutaneous sensory units with unmyelinated fibers to noxious stimuli. *J Neurol Neurosurg* 1969; 32: 1025–43.
14. Ochoa J, Mair WGP. The normal sural nerve in man. I. Ultrastructure and numbers of fibres and cells. *Acta Neuropathol* 1969; 13: 197–216.
15. Jacobs JM, Love S. Qualitative and quantitative morphology of human sural nerve at different ages. *Brain* 1985; 108: 897–924.
16. Said G, Slama G, Selva J. Progressive centripetal degeneration of axons in small fibre diabetic polyneuropathy. *Brain* 1983; 106: 791–807.
17. Claus D, Mustafa C, Vogel W, Herz M, Neundörfer B. Assessment of diabetic neuropathy: definition of norm and discrimination of abnormal nerve function. *Muscle Nerve* 1993; 16: 757–68.
18. Hendriksen PH, Oey PL, Wieneke GH, Bravenboer B, van Huffelen AC. Subclinical diabetic polyneuropathy; early detection of involvement of different nerve fibre types. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1993; 56: 509–14.
19. Dyck PJ, Lambert EH. Dissociated sensation in amyloidosis. Compound action potential, quantitative histologic and teased-fiber, and electron microscopic studies of sural nerve biopsies. *Archs Neurol* 1969; 20: 490–507.
20. Aguayo AJ, Nair CPV, Bray GM. Peripheral nerve abnormalities in the Riley-Day syndrome. *Archs Neurol* 1971; 24: 106–16.
21. Dyck PJ, Nichols PC. Quantitative measurement of sensation related to compound action potential and number and sizes of myelinated and unmyelinated fibers of sural nerve in health, Friedreich's ataxia, hereditary sensory neuropathy, and tabes dorsalis. In: Rémond A, ed. *Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology*. Vol. 9. Amsterdam; Elsevier, 1971: 83–118.
22. Kocen RS, King RH, Thomas PK, Haas LF. Nerve biopsy findings in two cases of Tangier disease. *Acta Neuropathol* 1973; 26: 317–27.
23. Ohnishi A, Dyck PJ. Loss of small peripheral sensory neurons in Fabry disease. *Archs Neurol* 1974; 31: 120–7.
24. Appenzeller O, Kornfeld M. Acute pandysautonomia. *Archs Neurol* 1973; 29: 334–9.
25. Denišlić M, Meh D. Neurophysiological assessment of peripheral neuropathy in primary Sjögren's syndrome. *Clin Investig* 1994; 72: 822–9.
26. Denišlić M, Meh D. Sicca syndrome associated with asymmetric sensory and autonomic neuropathy. *Neurol Cro* 1994; 43: 101–6.

27. Denišlič M, Meh D. Early asymmetric neuropathy in primary Sjögren's syndrome. *J Neurol* 1997; 244: 383–7.
28. Denišlič M, Meh D, Popovič M, Kos Golja M. Small nerve fibre dysfunction in a patient with Sjögren's syndrome. Neurophysiological and morphological confirmation. *Scand J Rheumatol* 1995; 24: 257–9.
29. Boivie J. Sensory abnormalities in patients with central nervous system lesions as shown by quantitative sensory testing. In: Boivie J, Hansson P, Lindblom U, eds. *Touch, temperature, and pain in health and disease. Mechanisms and assessment*. Seattle: IASP Press, 1994: 179–91.
30. Goldberg JM, Lindblom U. Standardised method of determining vibratory perception thresholds for diagnosis and screening in neurological investigation. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1979; 42: 793–803.
31. Nielsen VK. The vibration stimulus: effects of viscous-elastic resistance of skin on the amplitude of vibrations. *Electroencephalogr clin Neurophysiol* 1975; 38: 647–52.
32. Meh D, Denišlič M. Zaznavanje vibracije. *Zdrav Vestn* 1995; 64: 681–5.
33. Meh D, Denišlič M. Influence of age, temperature, sex, height and diazepam on vibration perception. *J Neurol Sci* 1995; 134: 136–42.
34. De Michele G, Filla A, Coppola N, et al. Influence of age, gender, height and education on vibration sense. A study by tuning fork in 192 normal subjects. *J Neurol Sci* 1991; 105: 155–8.
35. Johansson RS, Vallbo AB, Westlind G. Thresholds of mechanosensitive in the human hand as measured with von Frey hairs. *Brain Res* 1980; 184: 343–51.

Prispelo 24. 3. 1997