

FUNKCIONALNO PRIMARNI PUTEVI NERVNOG SISTEMA: ANATOMIJA I KLINIČKE KORELACIJE

FUNCTIONAL PRIMARY PATHWAYS OF THE NERVOUS SYSTEM: ANATOMY AND CLINICAL CORRELATIONS

Zdravko Vitošević¹, Nenad Milošević¹

¹ Medicinski fakultet, Univerzitet u Prištini- Kosovska Mitrovica, Kosovska Mitrovica, Srbija

SAŽETAK

Funkcionalno primarni nervni putevi predstavljaju osnovne provodne strukture centralnog nervnog sistema, odgovorne za integraciju i prenos motornih, senzitivnih i senzorijskih informacija. U ovom radu analiziraju se njihova morfološka organizacija, sistematizacija u projekcione, asocijacione i komisuralne puteve, kao i njihove uloge u regulaciji voljnih i automatskih funkcija organizma.

Poseban akcenat stavljen je na kliničke korelacije, prikazane su najčešće patologije povezane sa oštećenjem pojedinih puteva (moždani udar, Parkinsonova bolest, siringomijelija, multiple skleroza), njihove manifestacije i relevantne dijagnostičke metode. Kroz tabelarni prikaz omogućeno je jasno razumevanje anatomske-kliničke odnosa.

Rad ukazuje na značaj nervnih puteva ne samo u teorijskom okviru neuroanatomije, već i u savremenoj dijagnostičkoj i terapijskoj praksi. Integracija morfoloških znanja sa funkcionalnim i kliničkim principima predstavlja ključ za efikasnu procenu neurološkog statusa i planiranje terapijskih strategija.

Ključne reči: neuroanatomija, funkcionalni putevi, kliničke korelacije, terapijske implikacije

ABSTRACT

The functionally primary neural pathways represent the essential conduction structures of the central nervous system, responsible for the integration and transmission of motor, sensory, and sensorimotor information. This paper analyzes their morphological organization, systematic classification into projection, association, and commissural tracts, as well as their role in regulating both voluntary and involuntary bodily functions.

Special emphasis is placed on clinical correlations, highlighting common pathological conditions associated with lesions of specific pathways (such as stroke, Parkinson's disease, syringomyelia, and multiple sclerosis), their clinical manifestations, and relevant diagnostic methods. Through tabular representations, the anatomical-clinical relationships are clearly illustrated.

This study underscores the importance of neural pathways not only within theoretical neuroanatomy but also within modern diagnostic and therapeutic practice. The integration of morphological knowledge with functional and clinical principles is essential for accurate neurological assessment and the formulation of effective therapeutic strategies.

Key words: neuroanatomy, functional pathways, clinical correlations, therapeutic implications

UVOD

Nervni sistem predstavlja krucijalan i najkompleksniji regulatorni sistem u ljudskom organizmu. Njegova osnovna uloga je integracija i koordinacija svih telesnih funkcija, od najjednostavnijih refleksa do najviših kognitivnih procesa. Kao centralni informativni sistem, nervni sistem prima, obrađuje i prenosi impulse između različitih delova tela, omogućavajući usklađeno funkcionisanje organizma kao celine i njegovu adaptaciju na spoljašnje i unutrašnje promene.

Strukturalno, nervni sistem je povezan sa svakim organom, tkivom i ćelijom, stvarajući mrežu komunikacije koja obezbeđuje vitalnost i homeostazu. Njegova anatomska organizacija, precizna, hijerarhijska i funkcionalno diferentna, omogućava složene interakcije između svesnog i nesvesnog, voljnog i automatskog, motornog i senzitivnog. Zbog svog centralnog mesta u fiziologiji čoveka, razumevanje građe i funkcije nervnog sistema predstavlja osnovu savremene medicine, posebno neurologije, neurohirurgije i psihijatrije.

Anatomski, nervni sistem čoveka obuhvata jedinstvenu, esencijalnu, anatomsku i funkcionalnu celinu. Morfološki i topografski, deli se na: Centralni nervni sistem (CNS) - obuhvata mozak (encephalon) i kičmenu moždinu (medulla spinalis), i Periferni nervni sistem (PNS) - čine ga kranijalni (12 pari), spinalni (31 par) nervi i ganglije, koji povezuju CNS sa perifernim organima i tkivima (1).

Funkcionalno, nervni sistem omogućava koordinaciju svih organa i uspostavlja interakciju organizma sa spoljašnjom sredinom. Prema toj podeli razlikuju se: Somatski (animalni) nervni sistem - reaguje na spoljne nadražaje i pod voljnom je kontrolom, i Autonomni (vegetativni) nervni sistem - odgovoran za unutrašnje procese, uključujući rad endokrinih žlezda, i funkcioniše nezavisno od svesti (2).

Na makroskopskim presezima CNS-a razlikuju se siva (substantia grisea) i bela masa (substantia alba). Siva masa sadrži tela nervnih ćelija, dendrite, početne delove aksona i glijalne ćelije. Bela masa sastavljena je od aksona, često obavijenih mijelinskom ovojnicom, dendrita i oligodendrocita. Sistematizovana je u puteve koji mogu biti aferentni (somatosenzitivni i viscerosenzitivni) ili eferentni (somatomotorni i visceromotorni).

U zavisnosti od anatomske veze, putevi se dalje dele na komisuralne, asocijacione i projekcione (3).

Prenos impulsa u CNS-u odvija se sinaptički - sa aksona jedne ćelije na dendrite druge, preko sinapsi.

PUTEVI NERVNOG SISTEMA

Veliki mozak (telencephalon) je najrazvijeniji deo CNS-a u morfološkom i funkcionalnom pogledu. Prijemom informacija iz spoljašnje sredine i unutrašnjih organa, upravlja funkcijama tela, koordiniše njihov rad i omogućava adaptaciju na promene u okruženju. U kori velikog mozga nalaze se motorne, senzitivne, senzorijske i kognitivne funkcije, uključujući i limbičke centre. Građu hemisfera čine; Siva masa, koja formira moždanu koru (cortex cerebri) i subkortikalna jedra (nuclei basales) i Bela masa, koja se nalazi subkortikalno i obrazuje; Centrum semiovale - najveći deo bele mase (npr. corona radiata), Kapsule (capsula interna, externa, extrema), Spojnice (commissura anterior, corpus callosum, fornix)(1,2).

Vrste nervnih puteva: 1. Komisuralni putevi (tractus commissurales): Povezuju odgovarajuće delove leve i desne hemisfere, omogućavajući sinhronizaciju i integraciju funkcija, 2. Asocijacioni putevi (tractus associationes): Povezuju regione unutar iste hemisfere, Kratki - povezuju susedne vijuge, Dugi - povezuju udaljene kore (frontalno-okcipitalni, temporoparijetalni itd.); 3. Projekcioni putevi (tractus projectiones): Spajaju korteks sa nižim strukturama (moždano stablo, kičmena moždina). Kratki projekcioni putevi povezuju koru sa talamusom (npr. pedunculi thalami).

Dugi putevi mogu biti: Eferentni (motorni): Kortikalni (svesni): Tractus corticospinalis - kontrola voljnih pokreta tela, Tractus corticonuclearis - kontrola mišića glave. Tr. frontopontinus, Tr. temporo-pontinus - indirektna modulacija. Subkortikalni (automatski): Tr. rubrospinalis, Tr. vestibulospinalis, Tr. tectospinalis, Fasciculus longitudinalis medialis (FLM) - povezuje jezgra za koordinaciju pokreta i balansa. TTC i FLD - veza sa autonomnim nervnim sistemom.

Aferentni (senzitivni): Svesni površinski senzibilitet - Tr. spinothalamicus anterior et lateralis (dodir, temperatura, bol), Nesvesni duboki senzibilitet - Fasciculus gracilis (Goll) i Fasciculus cuneatus (Burdach). Lemniscus medialis - sadrži i vlakna za čulo ukusa (n. V, VII, IX) (1,2)

Nesvesni senzorni putevi: Tr. spinocerebellaris anterior i posterior (Flechsig) - prenose proprioceptivne informacije u mali mozak.

4. Senzorijalni putevi: Prenose informacije iz specijalnih čula do korteksa: Optički put, Akustički put, Vestibularni put, Gustativni i olfaktivni putevi.

KLINIČKE KORELACIJE FUNKCIONALNO PRIMARNIH NERNVIH PUTEVA

Poznavanje anatomije funkcionalno primarnih nervnih puteva predstavlja temelj za razumevanje kliničkih manifestacija neuroloških oboljenja. Anatomija, posmatrana ne samo kao morfološka disciplina, već i kao osnova funkcionalne organizacije nervnog sistema, omogućava preciznu lokalizaciju lezija i racionalan pristup dijagnostici. Kliničke korelacije nervnih puteva otkrivaju direktnu vezu između strukturalnih oštećenja i neurološke simptomatologije, čime anatomija zadobija primarni značaj u translaciji znanja iz teorije u kliničku praksu. Analiza ovih odnosa doprinosi dubljem razumevanju neurofizioloških procesa i unapređenju medicinske dijagnostike i terapije (Tabela 1.).

1. Kortikospinalni trakt i cerebrovaskularni incidenti (CVI)

Lezije kortikospinalnog trakta, naročito u području capsula interna, često dovode do kontralateralne hemipareze ili hemiplegije. Udar u srednju moždanu arteriju (a. cerebri media) može izazvati oštećenje vlakana koja kontrolišu pokrete ruke i lica. Klinička slika uključuje smanjen mišićni tonus, gubitak voljne motorike i patološke reflekse (npr. Babinski znak) (2,4).

2. Oštećenje fasciculus gracilis i cuneatus - Tabes dorsalis

Degeneracija posteriornih stubova kičmene moždine, karakteristična za neleženi neurosifilis, dovodi do oštećenja fasciculus gracilis et cuneatus. Klinički sindrom poznat kao tabes dorsalis karakteriše se gubitkom proprioceptije, ataksijom i pozitivnim Rombergovim znakom (2).

3. Spinalnolamični trakt - gubitak osećaja bola i temperature

Lezija lateralnog spinalnolamičnog trakta, npr. kod siringomijelije, dovodi do disocijativnog gubitka senzibiliteta: gubitak osećaja bola i temperature, uz očuvanu taktilnu percepciju. Promene su bilateralne i simetrične u zonama odgovarajućih dermatoma (4).

4. Parkinsonova bolest - bazalne ganglije i nesvesni motorni putevi

Parkinsonova bolest nastaje usled degeneracije dopaminergičkih neurona substantiae nigrae pars compacta, što remeti aktivnost nucleus caudatus, putamen i globus pallidus. Klinička slika uključuje bradikineziju, tremor u mirovanju, rigiditet i posturalnu nestabilnost (5). Funkcija indirektnih motornih puteva je znatno poremećena.

5. Multiple skleroza i demijelinizacija nervnih puteva

Multiple skleroza (MS) je autoimunska bolest u kojoj dolazi do demijelinizacije bele mase CNS-a, uključujući i projicirane puteve kao što su tractus corticospinalis, lemniscus medialis, tractus opticus. Klinički se javlja parapareza, smetnje vida (neuritis nervi optici), cerebelarna ataksija i senzorne smetnje (6,7). Simptomi variraju u zavisnosti od lokalizacije lezija.

Tabela 1. Kliničke korelacije primarnih nervnih puteva

Nervni put	Glavna funkcija	Tipična lezija/bolest	Kliničke manifestacije	Dijagnostičke metode
Tractus corticospinalis	Voljna motorika	Moždani udar (CVI)	Kontralateralna hemipareza, Babinski znak	MRI mozga, CT, neurološki status
Fasciculus gracilis / cuneatus	Proprioceptija i fina taktilna čula	Tabes dorsalis (neurosifilis)	Ataksija, pozitivan Romberg, gubitak duboke senzibiliteta	Lumbalna punkcija, VDRL test
Tractus spinothalamicus	Bol i temperatura	Siringomijelija	Disocijativna senzibilitet (gubitak bola/temp., očuvan dodir)	MRI kičmene moždine
Subkortikalni motorni putevi	Automatski pokreti, tonus	Parkinsonova bolest	Tremor u mirovanju, bradikinezija, rigiditet	DaTscan, klinička dijagnoza
Tractus opticus	Vid	Optički neuritis (MS)	Gubitak vida, bol pri pokretu oka	VEP, MRI orbita
Tractus spinocerebellaris	Proprioceptija, tonus, ravnoteža	Lezije malog mozga	Ataksija, dismetrija, nestabilnost hoda	MRI cerebeluma, romberg, prst-nos test
Lemniscus medialis	Taktilni impulsi i ukus	Multiple skleroza	Parestezije, disfunkcija čula ukusa	Somatosenzorni evocirani potencijali

Dijagnostičke i terapijske implikacije

Poznavanje morfološke i funkcionalne organizacije nervnih puteva ima neposrednu primenu u savremenoj dijagnostici i lečenju neuroloških oboljenja. Lokalizacija neuroloških ispada, bilo senzitivnih, motornih ili vegetativnih, često zavisi upravo od razumevanja toka i preseka pojedinih puteva. Na osnovu simptoma, moguće je diferencirati da li je lezija kortikalna, subkortikalna, moždanostablena ili spinalna (8).

U dijagnostici se primenjuju brojne neurofiziološke metode usmerene ka proveru funkcionalnosti specifičnih puteva:

Evocirani potencijali (VEP, SEP, BAEP) omogućavaju procenu brzine i integriteta senzitivnih i senzorijskih puteva.

Funkcionalna magnetna rezonanca (fMRI) i traktografija (DTI) koriste se za prikaz aktivnih puteva, naročito u preoperativnom planiranju.

Neurosonologija i transkranijalna dopler dijagnostika koriste se za indirektnu procenu vaskularne perfuzije i potencijalnih poremećaja koji mogu uticati na puteve u dubokim strukturama mozga (9,10).

S druge strane, razumevanje nervnih puteva pruža osnovu za ciljne terapijske intervencije, kako farmakološke, tako i invazivne:

Duboka moždana stimulacija (DBS) koristi se u tretmanu Parkinsonove bolesti, tremora i distonija, a ciljano deluje na motorne puteve bazalnih ganglija i talamusa.

Terapije plastičnosti nervnog sistema, poput neurorehabilitacije, oslanjaju se na sposobnost asocijacionih puteva da delimično preuzmu funkcije oštećenih projekcionih sistema (11).

Farmakoterapija demijelinizacionih bolesti (npr. MS) usmerena je na očuvanje provodljivosti kroz bele mase puteva, čime se stabilizuje ili usporava progresija funkcionalnih gubitaka.

Savremena medicina sve više teži personalizovanom pristupu, koji u središte terapijske strategije postavlja pojedinačnu funkcionalnu mapu nervnog sistema pacijenta. Time se anatomske putevi izučeni u morfologiji ne posmatraju samo kao teoretske strukture, već kao klinički relevantni „koridori“ informacija čije očuvanje i obnavljanje predstavlja osnovu savremene neurološke terapije.

ZAKLJUČAK

Morfološki prikazi funkcionalnih puteva nervnog sistema retko se sistematski izlažu u literaturi, iako su od ključne važnosti za razumevanje neurofiziologije i kliničke neuroanatomije. Njihova uloga u integraciji senzorne i motorne funkcije, homeostazi i adaptaciji organizma na spoljašnje promene čini ih temom od izuzetnog značaja u savremenoj medicini.

Poznavanje toka, građe i funkcionalnih odnosa nervnih puteva omogućava preciznu lokalizaciju lezija, bolju diferencijalnu dijagnostiku i izbor adekvatne terapije. Neurofiziološke metode, funkcionalna magnetna rezonanca i traktografija danas omogućavaju vizualizaciju ovih puteva u živom organizmu, dok se terapijski pristupi - poput duboke moždane stimulacije i neurorehabilitacije - sve više oslanjaju na očuvanje i modulaciju upravo tih struktura. U tom smislu, funkcionalni putevi CNS-a više nisu apstraktna anatomska jedinica, već konkretna klinička osobina dijagnostičkog i terapijskog procesa.

U poslednjih dvadesetak godina, pojavljuju se i novi modeli razumevanja prenosa informacija u nervnom sistemu, uključujući linearne i kvantne pristupe, koji sugerišu mogućnost prelaska sa mehanicističkog na holistički koncept obrade podataka u mozgu. Takvi teorijski pravci, iako još uvek na nivou hipoteza, otvaraju perspektive za dublje razumevanje svesti, neuroplastičnosti i integrativne neurologije.

Zato je ovaj prikaz, pre svega u morfološkom smislu, doprinos boljem razumevanju kompleksne funkcionalnosti nervnog sistema i njegovog presudnog mesta u životu čoveka, i kao biološkog entiteta i kao svesnog bića.

LITERATURA

1. Jovanović SV, Lotrić NL. Deskriptivna i topografska anatomija čoveka. Beograd: Naučna knjiga; 1987.
2. Snell RS. Clinical Anatomy for Medical Students. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000.
3. Hollinshead WH. Textbook of Anatomy, Fourth Edition. Philadelphia: Harper & Row; 1985.
4. Patestas MA, Gartner LP. A Textbook of Neuroanatomy. 2nd ed. New Jersey: Wiley Blackwell; 2016.
5. DeLong MR, Wichmann T. Circuits and circuit disorders of the basal ganglia. Archives of neurology 2007; 64(1): 20-24. <https://doi.org/10.1001/archneur.64.1>.
6. Compston A, Coles A. Multiple sclerosis. Lancet 2008; 372(9648): 1502-1517. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)61620-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61620-7)
7. Crossman AR, Neary D. Neuroanatomy: An Illustrated Colour Text. 5th ed. Amsterdam: Elsevier; 2015.
8. Blumenfeld H. Neuroanatomy through Clinical Cases. 3rd ed. Massachusetts: Sinauer Associates; 2021.
9. Young PA, Young PH. Basic Clinical Neuroscience. 4th ed. Netherlands: Wolters Kluwer; 2020.
10. Dobkin BH. Neurorehabilitation. New England Journal of Medicine 2004; 352(3): 229-237. <https://doi.org/10.1056/NEJMc043511>
11. Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, Siegelbaum SA, Hudspeth AJ. Principles of Neural Science, 5th ed. New York: McGraw-Hill; 2013.