



Proprioception in the rehabilitation of patients with foot and ankle joint dysfunction

Propriocepcja w procesie rehabilitacji chorych z dysfunkcją stopy i stawu skokowo-goleniowego

© J ORTHOP TRAUMA SURG REL RES 2 (18) 2010

Review article/Artykuł poglądowy

WITOLD DUDZIŃSKI

Rehasport Clinic Poznań

Address for correspondence/Adres do korespondencji:

Rehasport Clinic Sp. z o.o., ul. Górecka 30, 60-201 Poznań

Statistic/Statystyka

Word count/Liczba słów	1083/999
Tables/Tabele	0
Figures/Ryciny	7
References/Piśmiennictwo	12

Received: 12.02.2010

Accepted: 26.02.2010

Published: 20.04.2010

Summary

Proprioception in the rehabilitation of patients with foot and talocrural joint is based on influence on neural networks. Neurons form networks of connections and, stimulated by whole populations, they make three nervous system integration levels related to movement control: spinal, subcortical and cortical. All the three OUN integration levels related to movement control acquire information from a number of specialised mechanoreceptors located in the organ of sight, within the vestibular organ, in the skin, joints and muscles, which form a kind of an eye of the nervous system, called proprioceptors. The core of a proprioceptive rehabilitation regimen includes a sequence of exercises beginning from early stimulation of proprioceptors and spinal areas and leading to restoration of full functional fitness and neuromuscular control of the foot in the end.

Key words: neuron, proprioception, pattern of movement, rehabilitation

Streszczenie

Propriocepcja w procesie rehabilitacji chorych z dysfunkcją stopy i stawu skokowo-goleniowego uzależniona jest od kontroli sieci neuronalnych. Neurony tworzą sieci połączeń i pobudzane całymi populacjami tworzą trzy poziomy integracyjne układu nerwowego związane z kontrolą ruchu, rdzeniowy, podkorowy i korowy.

Wszystkie trzy poziomy integracyjne CUN związane z kontrolą ruchu zbierają informacje z szeregu wyspecjalizowanych mechanoreceptorów znajdujących się w narządzie wzroku, w obrębie narządu przedsionkowego, w skórze, stawach i mięśniach, będącymi swoistymi oczami układu nerwowego, określanymi proprioceptorami.

Istotą programu rehabilitacji propriocepcyjnej jest wczesne pobudzenie proprioceptorów i ośrodków rdzeniowych prowadzące do powrotu pełnej sprawności funkcjonalnej i kontroli nerwowo-mięśniowej stopy.

Słowa kluczowe: neuron, propriocepcja, wzorzec ruchu, rehabilitacja

Neural networks are the primary functional unit of the central nervous system.

Neurons, which develop during foetal life at a rate of 100,000 per second in the fifth week of life, total about 100 billion, of which a half is located in the cortex and the rest in subcortical areas, mainly in the cerebellar cortex (1,3,6).

Neurons form networks of connections and, stimulated by whole populations, they make three nervous system integration levels related to movement control: spinal, subcortical and cortical (6).

The cortical level is responsible for planning a motor task which originates in the limbic system area, from which spreading impulses are directed into the premotor cortex area (Brodmann area 6) which is the superior motor area, remaining in connection with all structures of the somatosensory cortex, visual, auditory, gustatory and olfactory cortex and associative cortex areas in which within the fronto-temporal lobe memory of stimulations experienced previously is stored, forming reaction systems called motor patterns which can be used at any time for performing any motor activity (8).

The subcortical movement control occurs in areas located within the medulla oblongata, pons, mesencephalon, hypothalamus, thalamus and telencephalon nuclei in which body balance control, movement direction change, joint stabilisation and neuromuscular control reactions primarily occur. Subcortical areas contain neural network junctions responsible for motor patterns (9). Three major elements characterise a motor pattern:

- appropriate movement speed
- appropriate movement precision
- optimum energy expenditure, adequate for the motor task
- tissue safety

If any of those motor pattern elements is disturbed, the motor pattern is considered incorrect. The World Health Organisation classifies approx. 650 motor patterns typical of everyday life activities. (12)

The lowest, spinal level executes movement programmes stored in neural networks of cortical and subcortical areas and controls them by a system of stretch reflexes.

All the three OUN integration levels related to movement control acquire information from a number of specialised mechanoreceptors located in the organ of sight, within the vestibular organ, in the skin, joints and muscles, which form a kind of an eye of the nervous system, called proprioceptors.(8)

Podstawową jednostką czynnościową centralnego układu nerwowego są sieci neuronalne.

Neurony rozwijające się w okresie życia płodowego, przyrastające w piątym tygodniu życia w tempie 100 tys na sekundę osiągają łączną liczbę około 100 miliardów, z których połowa znajduje się w korze mózgu, a druga część w ośrodkach podkorowych, głównie w korze mózdzku (1,3,6).

Neurony tworzą sieci połączeń i pobudzone całymi populacjami tworzą trzy poziomy integracyjne układu nerwowego związane z kontrolą ruchu, rdzeniowy, podkorowy i korowy (6).

Poziom korowy jest odpowiedzialny za zaplanowanie zadania ruchowego i powstaje w obszarze układu limbicznego, skąd płynące impulsy kierowane są do okolicy przedruchowej, kory (pole 6 Brodmanna), która jest polem ruchowym nadrzędnym, pozostającym w połączeniu ze wszystkimi strukturami kory somatoczućowej, kory wzrokowej, słuchowej, smakowej, węchowej i obszarów kory kojarzeniowej, gdzie w obszarach płata skroniowego czołowego magazynowana jest pamięć pobudzeń doznanych w przeszłości tworząc układy reakcji zwanych wzorcami ruchowymi, które w każdej chwili mogą zostać wykorzystane do wykonania dowolnej czynności ruchowej (8).

Podkorowa kontrola ruchu przebiega w ośrodkach leżących w obrębie rdzenia przedłużonego, mostu, śródmózgowia, podwzgórza, wzgórze i jąder kresomózgowia, w nich głównie zachodzą reakcje kontroli równowagi ciała, zmian kierunków ruchu, stabilizacji stawów i kontroli nerwowo-mięśniowej. W ośrodkach podkorowych zawarte są połączenia sieci neuronalnych odpowiedzialne za wzorce ruchowe (9). Wzorec ruchu charakteryzowany jest przez cztery zasadnicze elementy:

- odpowiednią szybkość ruchu
- odpowiednią precyzję ruchu
- optymalny wydatek energetyczny, adekwatny do zadania ruchowego
- bezpieczeństwo tkankowe

Jeżeli, którykolwiek z wymienionych elementów wzorca ruchowego jest zaburzony, wzorec ruchu uznany jest za nieprawidłowy. Światowa Organizacja Zdrowia klasyfikuje około 650 wzorców ruchowych charakterystycznych dla czynności życia codziennego (12).

Poziom rdzeniowy, najniższy realizuje programy ruchowe zapisane w sieciach neuronalnych ośrodków korowych i podkorowych i kontroluje je przez system odruchów rozciągowych.

Wszystkie trzy poziomy integracyjne CUN związane z kontrolą ruchu zbierają informacje z szeregu wyspecjalizowanych mechanoreceptorów znajdujących się w narządzie wzroku, w obrębie narządu przedsionkowego, w skórze, stawach i mięśniach, będącymi swoistymi oczami układu nerwowego, określanymi proprioceptorami (8).

Wśród receptorów proprioceptywnych wyróżnia się receptory znajdujące się w torebkach stawowych (stawowe), w ścięgnach i więzadłach połączonych z torebką

Proprioceptive receptors belong to the classes of receptors located in articular capsules (articular), in tendons and ligaments connected with the articular capsule (tendinous) and in skeletal muscles (muscular). Articular and tendinous receptors, known as kinaesthetic receptors, include sensory corpuscles (Ruffini's endings), lamellar corpuscles (Pacinian corpuscles) and free non-myelinated fibre endings. Golgi's corpuscles, sensory corpuscles and free nerve endings are located in tendons and ligaments. External signals detected by proprioceptors form neural pathways in which the primary neuron which receives an impulse from proprioceptors is located in spinal ganglia. Having entered the spinal cord, the processes of those neurons form synapses with secondary neurons in posterior pathways, thus originating the posterior and anterior spinocerebellar tract which conducts unconscious sensation and enters the fasciculus gracilis and the fasciculus cuneatus and farther along the thalamocortical tract through the posterior part of the internal capsule into the cortex, conducting conscious sensation, related to the perception of limb position, joint movement, pressure and vibration. In the latter case, the secondary neuron sends a process to the opposite side of the medulla oblongata and along the medial lemniscus into the posterolateral ventral nucleus. The tertiary neuron in the thalamic nuclei sends a process into the somatosensory cortex sensory area (2,4,11).

The central nervous system receives external signals detected by mechanoreceptors at three levels, that is, from receptors located in joints, muscles and the skin, the organ of sight and the vestibular organ, and generates a respective response related to neuromuscular control by the appropriate stimulation of neural network populations.

The concept of proprioception was put forward by Sir Charles Scott Sherrington, awarded with the Nobel Prize in 1932 for his discoveries.

The modern understanding of proprioception goes far beyond the first definitions related to kinaesthetic, or deep, sensation. It is nowadays understood as sensomotor integration of stimulations received by proprioceptors and processed at the spinal, subcortical and cortical level which generate the stimulation of neural populations which in turn facilitate respective motor patterns and are responsible for neuromuscular control on the conscious and unconscious level.

The information acquired by proprioceptors and processed by the OUN is only partially conscious. Only one proprioceptive stimulus in a million achieves the conscious stimulus level, while the other are analysed in subcortical areas and remain unconscious. (5)

The rehabilitation of patients with foot and talocrural joint dysfunction requires the application of an appropriate rehabilitation regimen whose aim is to restore complete functional fitness.

stawową (ścięgniste) i w mięśniach szkieletowych (mięśniowe). Receptory stawowe i ścięgniste noszą nazwę receptorów kinestetycznych i zalicza się do nich ciała zmysłowe (narządy końcowe Ruffiniego), ciała blaszkowate (ciałka Paciniego) i wolne zakończenia włókien niezmielinizowanych. W ścięgnach i więzadłach znajdują się ciała buławkowate, ciała zmysłowe i wolne zakończenia nerwowe. Sygnały zewnętrzne, wykrywane przez proprioceptory tworzą drogi neronalne, w których neuron I-szego rzędu, odbierający impulsację z proprioceptorów, znajduje się w zwojach rdzeniowych. Wypustki tych neuronów, po wejściu do rdzenia kręgowego, tworzą synapsy z neuronami II-go rzędu w drogach tylnych, dając początek drodze rdzeniowo-mózdkowej przedniej i tylnej, przewodzącej czucie nieuświadomione i wstępują do pęczka smukłego i klinowatego i dalej drogą wzgórkowo-korową, przez tylną część torebki wewnętrznej do kory mózgu przewodząc czucie uświadomione, odpowiadające poczuciu ułożenia kończyny, ruchu w stawie, ucisku i wibracji. W tym ostatnim przypadku neuron II-go rzędu wysyła wypustkę na przeciwną stronę rdzenia przedłużonego i biegnie we wstędze przyśrodkowej do jądra brzuszno-tylno-bocznego. Neuron III-go rzędu w jądrach wzgórza wysyła wypustkę do pola czuciowego kory somatosensorycznej (2,4,11).

Centralny układ nerwowy odbiera sygnały zewnętrzne wykrywane przez mechanoreceptory na trzech poziomach, tzn. z receptorów zawartych w stawach, mięśniach i skórze, narządzie wzroku i narządzie przedśionkowym i poprzez odpowiednie pobudzenia populacji sieci neuronalnych generuje adekwatną odpowiedź z zakresu kontroli nerwowo-mięśniowej.

Pojęcie propriocepcji wprowadził Sir Charles Scott Sherrington, który za swoje odkrycia w 1932 roku został uhonorowany Nagrodą Nobla.

Współczesne rozumienie propriocepcji znacznie wykracza poza jego pierwsze definicje związane z czuciem głębokim czyli kinestetycznym. Dzisiaj rozumiemy ją jako integrację sensomotoryczną pobudzeń odbieranych przez proprioceptory i przetwarzanych na poziomach rdzeniowym, podkorowym i korowym, tworzących pobudzenia populacji neuronalnych, które torują odpowiednie wzorce ruchowe i odpowiadają za kontrolę nerwowo-mięśniową na poziomie uświadomionym i nieuświadomionym, integrację sensomotoryczną strumienia bodźców odbieranych przez proprioceptory i przetwarzanych na poziomach rdzeniowym, podkorowym i korowym, tworzących pobudzenia populacji neuronalnych, które torują odpowiednie wzorce ruchowe i odpowiadają za kontrolę nerwowo-mięśniową.

Informacje zbierane przez proprioceptory i przetwarzane przez CUN tylko w niewielkim stopniu są przez nas uświadamiane. Tylko jeden na milion bodźców proprioceptyjnych dochodzi do progu bodźca uświadomionego, pozostałe są analizowane w ośrodkach podkorowych i pozostają nieuświadomionymi (5).

Proces rehabilitacji chorych z dysfunkcją stopy i stawu skokowo-goleniowego wymaga włączenia odpowied-

Every ligament and/or capsule injury within the foot and the talocrural joint leads to the occurrence of proprioceptive deficits and, in consequence, to reduced neuromuscular control and functional instability (Fig. 1) which may result in recurrent injuries.

Every surgical intervention within the foot and its immobilisation leads to the occurrence of proprioceptive disorders, related both to kinaesthetic sensation and unconscious neuromuscular control.

If a proprioceptive disorder syndrome develops due to a surgery or acute or chronic injuries, the rehabilitation exercise regimen should lead to sensomotor integration at the three levels (spinal, subcortical and cortical), according to the individual exercise regimen whose aim is to restore neuromuscular control, mainly with respect to the unconscious component of deep sensation, and to regain full functional fitness. (7)

The exercise regimen should include early and gradual selection of loads and gradual reduction of the involvement of the posterior column tract, cortical areas and visual control of the restoration of neuromuscular control in favour of subcortical areas and the spinocerebellar tract (10).

niego programu rehabilitacyjnego prowadzącego, którego efektem ma być powrót do pełnej sprawności funkcjonalnej.

Każdy uraz więzadłowy i/lub torebkowy w obrębie stopy i stawu skokowo-goleniowego, prowadzi do powstania deficytów propriocepcyjnych, w konsekwencji do zmniejszenia kontroli nerwowo-mięśniowej, niestabilności funkcjonalnej, (ryc.1), które mogą prowadzić do powstania nawrotowych urazów.

Każda interwencja chirurgiczna w obrębie stopy, jej unieruchomienie również prowadzi do powstania zaburzeń propriocepcyjnych, zarówno z zakresu czucia kinestetycznego jak i nieświadomionej kontroli nerwowo-mięśniowej.

W przypadku wystąpienia zespołu zaburzeń propriocepcyjnych, powstałych w wyniku zabiegu operacyjnego, ostrych lub przewlekłych urazów, stosowany program ćwiczeń rehabilitacyjnych powinien prowadzić do integracji sensomotorycznej na trzech poziomach rdzeniowym, podkorowym i korowym, zgodnie z indywidualnym programem ćwiczeń, których celem jest odbudowa kontroli nerwowo-mięśniowej, głównie w zakresie komponenty nieświadomej czucia głębokiego i powrót pełnej sprawności funkcjonalnej (7).

Program ćwiczeń powinien uwzględniać wczesny i stopniowany dobór obciążeń oraz stopniowe zmniejszanie udziału dróg sznura tylnego, ośrodków korowych i kontroli wzroku w procesie odbudowy kontroli nerwowo-mięśniowej na rzecz ośrodków podkorowych i dróg rdzeniowo-mózdkowych (10).



Phot. 1 / Fot. 1



Phot. 2 / Fot. 2

The core of a proprioceptive rehabilitation regimen includes:

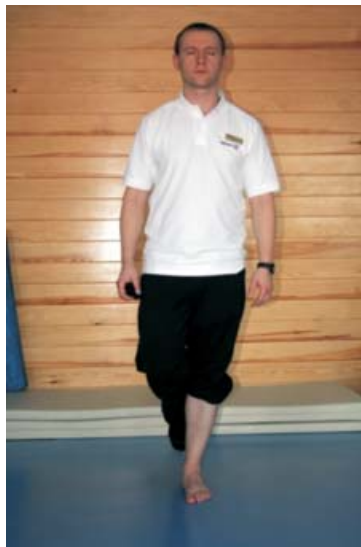
- a) early stimulation of proprioceptors and spinal areas,
- b) gradual strengthening of medullary control through the introduction of exercises which stimulate the sight-controlled spinocerebellar tract and the posterior column tract using elements of visualisation training ,
- c) gradual strengthening of medullary control through the introduction of exercises which stimulate the non-sight-controlled spinocerebellar tract and the posterior column tract (Photo 4),
- d) gradual introduction of dynamic exercises which stimulate sight-controlled spinocerebellar tract (Photo 5),

Istotą programu rehabilitacji propriocepcyjnej jest:

- a) wczesne pobudzenie proprioceptorów i ośrodków rdzeniowych (fot.1),
- b) stopniowe wzmacnianie kontroli rdzeniowej poprzez wprowadzanie ćwiczeń pobudzających drogi rdzeniowo-mózdkowe i drogi sznura tylnego przebiegające pod kontrolą wzroku (fot.2) z zastosowaniem elementów treningu wizualizacyjnego (fot.3)
- c) stopniowe wzmacnianie kontroli rdzeniowej poprzez wprowadzanie ćwiczeń pobudzających drogi rdzeniowo-mózdkowe i drogi sznura tylnego przebiegające bez kontroli wzroku. (fot.4.)
- d) stopniowe wprowadzanie ćwiczeń dynamicznych pobudzających drogi rdzeniowo-mózdkowe pod kontrolą wzroku (fot.5)



Phot. 3 / Fot. 3



Phot. 4 / Fot. 4



Phot. 5 / Fot. 5



Phot. 6 / Fot. 6



Phot. 7 / Fot. 7

- e) gradual introduction of dynamic exercises which stimulate non-sight-controlled spinocerebellar tract (Photo 6),
- f) restoration of full functional fitness and neuromuscular control of the foot.

In general terms, proprioception is considered the sixth sense. The central nervous system is particularly sensitised to the stimuli it experiences through the proprioceptor network, vitally important in modern motor organ rehabilitation procedures. Modern rehabilitation protocols for patients with foot and ankle joint dysfunction allow at every stage first of all for appropriate proprioceptive procedures according to the current knowledge of neurophysiology.

- e) stopniowe wprowadzanie ćwiczeń dynamicznych pobudzających drogi rdzeniowo-mózdkowe bez kontroli wzroku (fot.6)
- f) powrót pełnej sprawności funkcjonalnej i kontroli nerwowo-mięśniowej stopy (fot.7)

Priopriocpecja w swoim ogólnym pojęciu jest uznawana jako szósty zmysł. Centralny układ nerwowy jest w szczególności sposób uwrażliwiony na bodźce oddziałujące na niego poprzez sieć proprioceptorów, które mają podstawowe znaczenie w procesie współczesnej rehabilitacji narządu ruchu. Nowoczesne protokoły rehabilitacyjne chorych z dysfunkcjami stopy i stawu skokowo-goleniowego na każdym etapie postępowania uwzględniają przede wszystkim odpowiednie procedury priopriocpecyjne, zgodne ze aktualną wiedzą neurofizjologiczną.

References/Piśmiennictwo:

1. Bannister R., *Brain and Bannisters Clinical Neurology*, Oxford University Press
2. Bochenek A., Reicher M.: *Anatomia Człowieka*, PZWL, Warszawa 1981
3. Chudsi J.: *Struktura i funkcja w neurologii*, PZWL, Warszawa 1981
4. FitzGerald M.J.T. Folan-Curan J.: *Clinical Neuroanatomy and Related Neuroscience*, Saunders
5. Dymecki J., Kulczycki J., *Neuropatologia*, Urban&Partner Wrocław
6. Fix J.: *Neuroanatomia*, Wydawnictwo Medyczne Urban&Partner, Wrocław 1971
7. Lephart Scott M., Fu H. *Freddie: Proprioception and Neuromuscular Control In Joint Stability*
8. Longstaff A. *Neurobiologia*, PWN 2002
9. Kwolek A. *Rehabilitacja Medyczna*, Urban&Partner
10. Prentice E.W. Voight M.I. *Techinques In musculoskeletal rehabilitation*, McGraw-Hill Medical Publishing Division
11. Sobota J, Becher H.: *Atlas of Human anatomy*
12. *World Health Organization: International Classification of Functioning Disability and Health*. World health Organization. Geneva. Switzerland 2001.