

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Tomáš Hunčovský

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu
Katedra fyzioterapie

**Možnosti ovlivnění neuropatické bolesti pomocí virtuální
reality u pacientů s inkompletní míšní lézí**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:
MUDr. David Pánek, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Tomáš Hunčovský, DiS.

Praha, březen 2020

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně, za odborného vedení MUDr. Davida Pánka, Ph.D. Všechny použité informační zdroje a literatura jsou pravdivě uvedeny v seznamu použité literatury. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

.....

podpis autora

Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své diplomové práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto diplomovou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu své diplomové práce MUDr. Davidu Pánkovi, Ph.D. za cenné připomínky k práci, přínosné diskuze, věcné rady a vedení při praktických výzkumech. Děkuji MUDr. Pavlu Čelakovskému za laskavé zapůjčení přístrojů potřebných k vyšetřování evokovaných potenciálů, za jeho čas a entuziasmus vkládaný do řešení vědeckých úkolů. Děkuji Mgr. Dominice Dvořáčkové za poskytnuté konzultace a pomoc se statistickým zpracováním dotazníkového šetření. Rovněž děkuji zaměstnancům Centra Paraple, o.p.s. a jejich klientům, bez jejichž spolupráce by tato práce nikdy nemohla vzniknout. V neposlední řadě děkuji své rodině za morální, hmotnou a duševní podporu při celém mém dosavadním studiu.

Abstrakt

Název: Možnosti ovlivnění neuropatické bolesti pomocí virtuální reality u pacientů s inkompletní míšní lézí.

Cíl práce: Cílem práce je zjištění účinku dlouhodobého sledování virtuální reality na ovlivnění neuropatických bolestí u pacientů s inkompletní míšní lézí.

Metody: Studie se zúčastnilo 8 probandů (3 ženy a 5 mužů) ve věku od 30 do 64 let (průměrný věk $49,5 \pm 12,0$ let) z řad klientů Centra Paraple, o.p.s. Při vstupním vyšetření obdrželi účastníci výzkumu brýle pro virtuální realitu VR BOX VR-X2, umožňující sledování dvojrozměrných (2D) videí ve trojrozměrném (3D) formátu. Probandi poté v domácím prostředí sledovali terapeutická videa, zobrazující „virtuální chůzi“ – videa zachycující lidskou chůzi z pohledu první osoby. Po tříměsíční terapeutické intervenci bylo provedeno kontrolní vyšetření ke zjištění efektu terapie. K hodnocení změn ve vnímání neuropatických bolestí byly použity dotazníky Neuropathy Pain Scale a International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set. Výsledky dotazníkového šetření byly statisticky zpracovány pomocí párového t-testu v programu R. V dotazníkovém šetření byla zjišťována intenzita, kvalita a plocha zasažená neuropatickými bolestmi. Ke sledování objektivních změn somatosenzorického a motorického nervového systému bylo provedeno vyšetření somatosenzorických a motorických evokovaných potenciálů s pomocí přístrojů Magstim 200 a Synergy CareFusion. Analýzu evokovaných potenciálů prováděl MUDr. David Pánek, Ph.D. Při vyšetření evokovaných potenciálů byla hodnocena amplituda a latence somatosenzorických a motorických evokovaných potenciálů.

Výsledky: Sledováním terapeutických videí došlo ke statisticky významnému ($p = 0,008$) zmenšení plochy zasažené první největší neuropatickou bolestí v průměru o 3,1 bodu dle dotazníku ISCIPBDS. Zmenšená plocha zasažená neuropatickou bolestí byla registrována i v případě druhé největší a třetí největší neuropatické bolesti, avšak jen s velmi nízkou hladinou statistické významnosti ($p \geq 0,30$). Dále nebyly zaznamenány statisticky významné změny intenzity ($p \geq 0,10$) a kvality ($p \geq 0,058$) neuropatických bolestí. U všech probandů nebyla vybavena evokovaná odpověď při vyšetření somatosenzorických a motorických evokovaných potenciálů.

Klíčová slova: neuropatická bolest, virtuální realita, míšní léze, evokované potenciály

Abstract

Title: The Possibilities of Influencing the Neuropathic Pain via Virtual Reality in Incomplete Spinal Cord Injury Patients.

Objectives: The goal of this thesis is to determine how a long-term exposure to virtual reality affects experiencing neuropathic pain in the case of patients with incomplete spinal cord lesions.

Methods: The study included 8 probands (3 females and 5 males) aged from 30 to 64 years (average age 49.5 ± 12.0 years) from among the clients of a charitable trust „Centrum Paraple“. At the entrance examination, the participants received a pair of VR BOX VR-X2 virtual reality headsets enabling viewing of two-dimensional (2D) videos in the three-dimensional (3D) format. Thereafter they were watching, in their home environment, varied therapeutic videos depicting "virtual walking" - human walking viewed from a first person perspective. After 3 months of therapeutic intervention, a follow-up examination was carried out to determine the effect of the therapy. The Neuropathy Pain Scale and the International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set were used to assess changes in the perception of neuropathic pain. The results were statistically processed by means of a paired t-test in the R program. To monitor objective changes in the somatosensory and motor nervous systems, the evoked somatosensory and motor potentials were examined using the Magstim 200 and Synergy CareFusion devices. The analysis of evoked potentials was carried out by MUDr. David Panek, Ph.D. The amplitude and latency of evoked somatosensory and motor potentials were evaluated during the examination of evoked potentials.

Results: The exposure to therapeutic videos resulted in a statistically significant ($p = 0.008$) reduction of the area affected by the 1st largest neuropathic pain by an average of 3.1 points according to the ISCI-PBDS questionnaire. A reduced area affected by neuropathic pain was also noticed in the 2nd and the 3rd largest neuropathic pain, but only with a very low level of statistical significance ($p \geq 0.30$). Furthermore, there were no statistically significant changes in the intensity ($p \geq 0.10$) and quality ($p \geq 0.058$) of neuropathic pain. It was not possible to reach evoked response when examining somatosensory and motor evoked potentials in all probands.

Keywords: neuropathic pain, virtual reality, spinal cord lesions, evoked potentials

OBSAH

1 ÚVOD.....	11
TEORETICKÁ VÝCHODISKA	12
2 MÍŠNÍ LÉZE.....	12
2.1 Etiologie.....	12
2.2 Klinický obraz míšní léze	12
2.3 Vyšetřovací postupy u míšních lézí.....	15
2.3.1 International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set.....	17
2.4 Míšní a kortikální plasticita.....	18
2.5 Zrcadlové neurony	20
2.6 Komplexní léčebná rehabilitace po míšních lézích	21
2.7 Fyzioterapeutická léčba	22
2.7.1 Fáze akutní.....	22
2.7.2 Fáze subakutní	23
2.7.3 Fáze chronická.....	24
2.7.4 Fáze pozdní.....	25
3 EVOKOVANÉ POTENCIÁLY	26
3.1 Somatosenzorické evokované potenciály	27
3.2 Motorické evokované potenciály.....	29
4 NEUROPATICKÁ BOLEST	32
4.1 Klinické formy neuropatické bolesti	34
4.2 Diagnostika neuropatické bolesti	34
4.2.1 Neuropathy Pain Scale	35
4.3 Výzkum neuropatických bolestí u inkompletních míšních lézí	37
5 VIRTUÁLNÍ REALITA.....	39
5.1 Virtuální realita v terapii neuropatické bolesti.....	41

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	49
6 METODIKA PRÁCE	49
6.1 Cíl práce	49
6.2 Úkoly práce	49
6.3 Výzkumné otázky	49
6.4 Hypotézy	50
6.5 Výzkumný soubor.....	51
6.6 Použité metody	52
6.6.1 International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set.....	52
6.6.2 Neuropathy Pain Scale	52
6.6.3 Vyšetření somatosenzorických evokovaných potenciálů.....	53
6.6.4 Vyšetření motorických evokovaných potenciálů.....	54
6.7 Terapeutická videa.....	55
6.8 Měření a sběr dat	55
6.9 Analýza dat.....	56
7 VÝSLEDKY	58
8 DISKUZE	67
8.1 Hypotéza č. 1.....	67
8.1.1 Podhypotéza H1.1	67
8.1.2 Podhypotéza H1.2.....	68
8.1.3 Podhypotéza H1.3.....	70
8.2 Diskuze k hypotéze č. 1	71
8.3 Diskuze k hypotéze č. 2	72
8.4 Diskuze k hypotéze č. 3	73
9 ZÁVĚR.....	75
POUŽITÁ LITERATURA	77
PŘÍLOHY	87

Seznam použitých zkratek

ABC	Activities-Specific Balance Confidence
BAEP	sluchové kmenové evokované potenciály
BBS	Berg Balance Scale
CNS	centrální nervový systém
CPD	Chronic Pain Grade
CPG	centrální generátory lokomoce
CSP	kortikální perioda útlumu
CT	Computer Tomography
DN4	Douleur Neuropathique 4
EEG	elektroencefalografie
EMG	elektromyografie
EP	evokované potenciály
ERP	kognitivní evokované potenciály
ISICIPBDS	International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set
LANSS	Leeds Assessment of Neuropathic Symptoms and Signs
LOS	Limit of Stability
m.	musculus
MEP	motorické evokované potenciály
MNSI	Michigan Neuropathy Screening Instrument
MR	magnetická rezonance
n.	nervus
NB	neuropatická bolest
NPS	Neuropathy Pain Scale
SEP/SSEP	somatosenzorické evokované potenciály
TENS	transkutánní elektrická nervová stimulace
TUG	Timed Up & Go Test
VAS	vizuální analogová stupnice
VEP	zrakové evokované potenciály
VR	virtuální realita
WISCI II	Walking Index for Spinal Cord Injury-II

1 ÚVOD

Míšní léze je závažným zdravotním postižením, ovlivňujícím funkci prakticky všech tělních systémů. Vede k poruše motorických, senzitivních a autonomních funkcí pod segmentem poranění míchy, často doprovázenými poruchami respiračního, trávicího a vylučovacího systému, sexuálními dysfunkcemi nebo poruchami termoregulace. Ve většině případů se jedná o léze inkompletní, kdy jsou částečně zachovány neurologické funkce pod úrovní léze.

Mezi přidružené komplikace míšních lézí patří vznik a rozvoj neuropatické bolesti, vyskytující se u 59 % jedinců s poškozením míchy (Finnerup a kol., 2014). Tato bolest vzniká na podkladě porušené funkce nervových vláken, kdy nastává nerovnováha mezi procesem podráždění a útlumu v nervovém systému, je vysoce farmakorezistentní, dlouhotrvající a významně snižuje kvalitu života postižených. Její léčba prozatím naráží na omezené možnosti regenerace nervových buněk a axonů centrální nervové soustavy. Moderní léčebné přístupy se proto snaží o využití neuroplasticity míchy a mozku, tedy schopnosti zdravé nervové tkáně v okolí místa léze převzít porušenou nebo ztracenou funkci poškozených nervových struktur. Významný terapeutický potenciál při podpoře těchto procesů spočívá ve stimulaci zrcadlových neuronů, jejichž prostřednictvím je možné aktivovat určité oblasti mozkové kůry zodpovědné za pohyb, a to již při pouhém pozorování či představě pohybu samotného.

V posledních letech byly zaznamenány nadějně výsledky studií při využití virtuální reality k léčbě neuropatických bolestí (Özkul a kol., 2015; Jordan a Richardson, 2016; Polák a kol., 2017; Pozeg a kol., 2017; Richardson a kol., 2019; Anam a kol., 2019). S pomocí virtuální reality jsme schopni vytvořit téměř dokonalý, a přesto ve skutečnosti neexistující svět stimulující činnost zrcadlových neuronů. Tato práce, navazující na výzkum Poláka a kol. (2017), si klade za cíl zjištění efektu „virtuální chůze“ na ovlivnění neuropatických bolestí u osob s inkompletní míšní lézí. Ke zhodnocení efektu terapie byly použity jednak dotazníkové otázky, jednak vyšetření somatosenzorických a motorických evokovaných potenciálů. Spojení dotazníkového šetření s vyšetřením evokovaných potenciálů je vysokou přidanou hodnotou této diplomové práce, neboť umožnilo kvalitní sledování vývoje klinického stavu testovaných osob.

TEORETICKÁ VÝCHODISKA

2 MÍŠNÍ LÉZE

2.1 Etiologie

Míšní léze je souhrnný název pro devastující změny v míše, které mají za následek dočasnou nebo trvalou změnu její funkce, čímž dochází k ovlivnění motoriky, citlivosti a autonomních procesů pod úrovní míšních lézí. V České republice je ročně zaznamenáno 250-300 takových případů. Výskyt je přibližně 4x častější u mužů, často se jedná o mladé osoby v produktivním věku (Kolář, 2009).

Příčiny míšních lézí lze rozdělit dle mechanismu vzniku na traumatické a netraumatické. Při traumatickém poranění míchy dochází obvykle k současnému poranění páteře, v takovém případě hovoříme o tzv. vertebrospinálním poranění (Kolář, 2009). Četnost poranění míchy je závislá na lokalizaci poranění v rámci jednotlivých úseků páteře. Při úrazech krční páteře dochází k míšním lézím ve 40 % případů (nejvíce rizikové C5-C7), v 10 % při poranění hrudní páteře (typicky Th5) a v 35 % při úrazech v úrovni thorakolumbálního přechodu. Mícha je poškozena kompresí (kostěnými strukturami páteře a/nebo otokem) nebo distrakcí (jejím nadměrným protažením). Vlivem úrazu dochází i ke změnám na úrovni vaskulární (krvácení, vazospazmy), biochemické (produkce zánětlivých mediátorů, rozvoj koagulační kaskády) a histologické (vazivové změny, tvorba gliové jizvy). Nejčastějšími příčinami vzniku traumatických míšních lézí jsou pády z výšek, dopravní nehody, úrazy při sportu (skoky do mělké vody, lyžování, motokros, cyklistika), násilné činy, pracovní úrazy a úrazy v domácnosti (Ambler, 2006; Šámal a kol., 2017).

S netraumatickými příčinami vzniku míšních lézí se naopak setkáváme spíše u osob starších 40 let. Mezi její nejčastější příčiny patří degenerativní postižení páteře a onkologická, vaskulární, zánětlivá či demyelinizační onemocnění (Ambler, 2006).

2.2 Klinický obraz míšních lézí

Klinické projevy míšních lézí se odvíjejí od výškové lokalizace míšních lézí (vertikální topika) a transversálního rozsahu patologického procesu (horizontální topika). Vertikální topika je stanovena podle posledního míšního segmentu

s fyziologickými senzoryckými a motorickými funkcemi (viz kapitola 2.3). Horizontální topika je určena mírou zachování cití, svalové síly a autonomních funkcí pod úrovní léze (Wendsche a Kříž, 2005; Ambler, 2006).

Horizontální rozsah míšního postižení, tj. závažnost poranění míchy v jejím příčném průřezu, určuje zásadním způsobem klinické projevy a prognózu nemocného. Podle míry postižení míchy rozlišujeme léze kompletní, kdy je poškozen celý míšní sloupec a je proto přítomna úplná ztráta hybnosti, cití a autonomní regulace pod místem léze, a léze inkompletní, kdy je poškozena pouze část míchy a jsou tak částečně zachovány motorické, senzitivní a autonomní funkce pod úrovní léze. Mezi inkompletní léze patří Brown-Séquardův syndrom, syndrom centrální míšní šedi, syndrom arteria spinalis anterior, syndrom zadních provazců, syndrom epikonosu, syndrom konusu a syndrom kaudy (Wendsche a Kříž, 2005; Šámal a kol., 2017). Podle rozsahu postižení jednotlivých anatomických struktur rozlišuje Wendsche a Kříž (2005) následující klinické projevy:

1. Motorické dysfunkce – léze motoneuronů na úrovni předních rohů míšních vede k obrazu periferní (chabé) parézy, naopak poranění tractus corticospinalis se manifestuje syndromem centrální (spastické) parézy.
2. Senzitivní dysfunkce – poranění zadních rohů míšních nebo spinálních ganglií se projevuje ipsilaterální poruchou všech kvalit citlivosti. Léze předních a postranních provazců se manifestuje kontralaterální poruchou hrubé kožní citlivosti, termického a algického cití. Naproti tomu poranění zadních míšních provazců se projevuje ipsilaterální poruchou propriorecepce a diskriminačního cití.
3. Autonomní dysfunkce – vzniká vlivem narušení centrálních drah ovlivňujících pregangliové autonomní neurony nebo v důsledku poškození sympatických (C8-Th3) či parasympatických (S2-S4) pregangliových neuronů samotných. Projevuje se pestrým klinickým obrazem čítajícím poruchy mikce a defekace, poruchy sexuálních funkcí, zornicové poruchy a narušenou regulaci vazomotoriky.

V případě přerušení descendentních supraspinálních drah vzniká **míšní šok**. Může se objevit po částečném i úplném přerušení míchy, a to zejména při akutním míšním poranění, ale byl zaznamenán i u několik hodin trvajícího mechanismu vzniku míšní léze (Háková a Kříž, 2015). Jeho etiologie je pravděpodobně multifaktoriální,

kdy se předpokládá vliv hematomu, ischemizace a vyplavení zánětlivých mediátorů, které blokují vedení nervových impulzů. Míšní šok trvá několik dní až měsíců, nejčastěji kolem 6 týdnů. V klinickém obrazu míšního šoku dominuje chabá či pseudochabá plegie pod úrovní míšní léze, areflexie, anestezie, porucha vegetativních funkcí (bradykardie, hypotenze), porucha termoregulace, střevní atonie, porucha vazomotoriky, porucha vylučovací funkce ledvin, areflexie močového měchýře, porucha funkce tělních žláz, hyperglykemie a posun elektrolytické rovnováhy (Wendsche a Kříž, 2005). Počáteční inhibice je vystřídána obnovením reflexní aktivity až hyperreflexií, což je přisuzováno denervační hypersenzitivitě a růstu nových synapsí. Za ukončení míšního šoku je považován návrat polysynaptických nebo šlachookosticových reflexů, podle některých autorů je ukončen obnovou aktivity detruzoru, podle jiných autorů až nástupem spasticity pod místem léze. Případná obnova motorických, senzitivních a autonomních funkcí po odeznění míšního šoku závisí na rozsahu míšního poškození (Háková a Kříž, 2015).

Míšní poranění jsou zatížena mnoha přidruženými komplikacemi, a to zejména psychickými změnami, posturální hypotenzí, plicním edémem, selháním plic a vznikem dekubitů, dále pak poruchami peristaltiky, metabolismu, termoregulace, mikce a sexuálních funkcí. Vlivem inaktivity dochází ke ztrátě svalové hmoty a demineralizaci kostí s rizikem zlomenin (Pollard a Kennedy, 2010). Již přibližně 2 měsíce po poranění může docházet k heterotopické osifikaci měkkých tkání především v okolí kyčelních, kolenních a loketních kloubů, vedoucí až k ankylóze zmíněných kloubů. Prevencí je včasné zahájení vertikalizace a provádění aktivních, popř. pasivních pohybů v maximálních možných rozsazích (Pazour, 2005). Životem ohrožující komplikací je autonomní dysreflexie, kdy dochází k prudkému vzestupu krevního tlaku až na 250-300 mmHg systolického a 200-220 mmHg diastolického tlaku. Tento stav je vyvolán nepřiměřenou reakcí sympatického nervového systému na dráždění ze splachnické oblasti (nejčastěji z močového měchýře a gastrointestinální soustavy). Základem první pomoci je rychlé rozpoznání příznaků a odstranění vyvolávající příčiny – posazení nemocného, podání antihypertenziva, v případě přeplněného močového měchýře vycévkování (Kříž a Reichrt, 2013).

Samostatnou kapitolou, významně ovlivňující kvalitu života nemocných s míšní lézí, je rozvoj spasticity. Vlivem léze kortikospinálního traktu s oslabením až úplnou ztrátou inhibičního působení kmenových retikulárních struktur dochází ke zvýšení tonických napínacích reflexů v závislosti na rychlosti protažení svalu (Kaňovský, 2015).

Míra spasticity je dále ovlivňována vnitřními (nitrobřišní tlak, náplň močového měchýře, infekční onemocnění) a vnějšími (teplota a tlak vzduchu, hluk) faktory. Terapeuticky lze spasticitu zmírnit prodlouženým izometrickým strečinkem spastických svalů a facilitačními technikami v časných stádiích onemocnění (Ambler, 2006; Háková a Kříž, 2015).

Prognóza je závislá na vstupním klinickém stavu, rychlosti progresu, době trvání symptomů a etiologické příčině. Kompletní míšní léze mají nepříznivou prognózu, neboť v současné době neexistuje léčba proti sekundárním postižením jako je demyelinizace a gliální jizva, bránících převodu vzruchů. Naproti tomu u inkompletních míšních lézí lze včasnou a kvalitní rehabilitací (viz kapitola 2.7) dosáhnout regrese neurologického deficitu (Šámal a kol., 2017).

2.3 Vyšetřovací postupy u míšních lézí

Vyšetřovací algoritmus zahrnuje jak zobrazovací metody ke stanovení rozsahu míšní léze, tak klinické vyšetření ke zjištění funkčních deficitů nemocného. Ze zobrazovacích metod je mimo základního rentgenologického a skiagrafického vyšetření používána magnetická rezonance (MR) umožňující posouzení stavu míchy, meziobratlových disků a vazivových struktur. K vyšetření měkkých tkání včetně krvácení se využívá počítačová tomografie (CT z angl. Computer Tomography). Mezi další postupy patří laboratorní vyšetření zahrnující vyšetření likvoru, elektromyografie (EMG) a vyšetření evokovaných potenciálů (Ambler 2006; Šámal a kol., 2017).

Pro vhodnou a cílenou rehabilitační léčbu je nutné provést podrobné klinické vyšetření, díky kterému lze zjistit rozsah a míru neurologických deficitů nemocného. Základem je kvalitně odebraná anamnéza s důrazem na mechanismus poranění, bolesti, sfinkterové poruchy, vegetativní dysfunkce a případné komplikace. Z vyšetřovacích postupů má největší výpovědní hodnotu vyšetření motorických a senzitivních funkcí umožňující sledování vývoje stavu nemocného a hodnocení reziduální funkční kapacity svalů (Kříž a Chvostová, 2009).

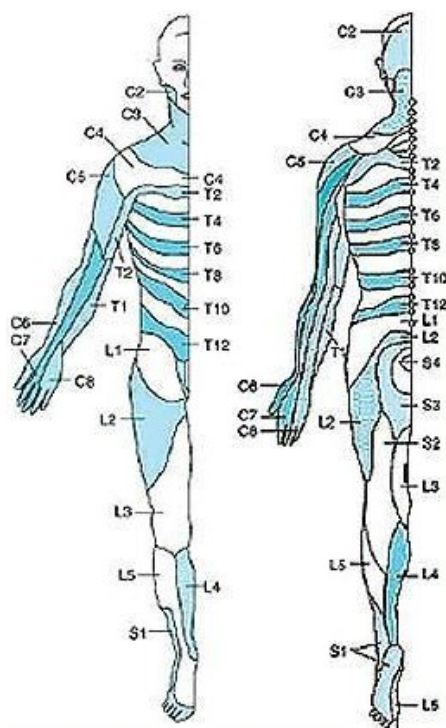
K vyšetření hybnosti se využívá tzv. klíčových svalů, kdy je pro každý míšní segment určen jeden klíčový sval z odpovídající kořenové inervace (viz tab. 1).

Tab. 1: Klíčové svaly jednotlivých míšních segmentů (Ambler, 2005)

Míšní segment	Klíčový sval
C5	m. biceps brachii, m. brachialis (flexe lokte)
C6	m. extensor carpi radialis longus et brevis (extenze zápěstí)
C7	m. triceps brachii (extenze lokte)
C8	m. flexor digitorum profundus (flexe prstů)
Th1	m. abductor digiti minimi (abdukce malíku)
L2	m. iliopsoas (flexe kyčle)
L3	m. quadriceps femoris (extenze kolene)
L4	m. tibialis anterior (dorzální flexe nohy)
L5	m. extensor hallucis longus (dorzální flexe palce)
S1	m. gastrocnemius, m. soleus (plantární flexe nohy)

Svaly se vyšetřují ve specifické poloze s co možná nejnižším zapojením synergistických svalů a pomocí 6 stupňového hodnocení (0 až 5) se určuje jejich síla. Motorická úroveň léze je následně stanovena míšním segmentem, jehož klíčový sval je nejméně na 3. stupni svalové síly (Kříž a Chvostová, 2009).

Ke stanovení senzitivní úrovně výšky míšní léze je využíváno vyšetření dle dermatomů, tedy části kůže inervované z jednoho míšního segmentu (viz obr. 1).



Obr. 1: Přehled senzitivní kořenové inervace (Ambler, 2005)

Každý z dermatomů je vyšetřován zvlášť v celé své délce jak pro lehký dotyk, tak diskriminační cití. Senzitivní úroveň léze je definována jako nejnižší segment s plně zachovanou citlivostí pro obě modalities. Neurologická úroveň míšní léze je následně stanovena jako nejnižší segment s fyziologickou motorickou a senzitivní funkcí na obou stranách. Pro určení rozsahu míšní léze je nezbytné hodnocení motoriky a cití v úrovni S2-S4, tzn. in/aktivity sfinkterů a ne/citlivosti dorzální strany steh a perianální oblasti. Při ztrátě veškeré volní hybnosti a cití diagnostikujeme lézi kompletní, v případě zachované motoriky nebo citlivosti distálně od léze hovoříme o inkompletní míšní lézi. Pro zjištění vývoje stavu nemocného je důležité výše uvedená vyšetření pravidelně opakovat (Kříž a Chvostová, 2009).

Stanovením rozsahu motorického a senzitivního deficitu tak lze zjistit přesnou výšku postiženého míšního segmentu. Obecně se dle výšky míšní léze rozlišují pentaplegie, kvadruplegie a paraplegie (případně paréza u všech zmíněných). Při postižení krční intumescence (C5-Th1) vzniká kvadruplegie, při které dochází k paréze horních a plegii dolních končetin. Je-li léze nad segmentem C4 vzniká pentaplegie, kdy je kromě plegie všech končetin a trupového svalstva přítomna dechová insuficience vlivem poškození nn. phrenici inervujících bránici. Při lézi míchy od úrovně Th2 níže vzniká paraplegie, kdy jsou postiženy dolní končetiny, funkce horních končetin není narušena. Motorický deficit trupového svalstva se odvíjí od výšky léze a zásadním způsobem ovlivňuje schopnost jedince udržet stabilní sed. V případě postižení bederní intumescence (L1-S2) dochází k paraparéze dolních končetin, kdy u vyšších lézí (L1-L4) jsou postiženy především proximální pletencové svaly, zatímco u nižších lézí (L5-S2) je narušena funkce distálních svalových skupin (Ambler, 2006; Slezáková, 2014).

2.3.1 International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set

Za účelem objektivizace a přesné lokalizace bolesti u pacientů s míšními lézemi vznikl v roce 2008 dotazník International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set (ISCIPBDS) – viz příloha č. 7. Tento hodnotící nástroj byl vytvořen kolektivem autorů ze dvou mezinárodních (International Spinal Cord Society, International Association for the Study of Pain) a dvou amerických (American Spinal Injury Association, American Pain Society) organizací (Widerström-Noga a kol., 2008).

V roce 2014 byl dotazník zrevidován za spolupráce Executive Committee of the International SCI Standards and Data Sets, The International Spinal Cord Society, The American Spinal Injury Association, American Pain Society Boards a The Neuropathic Pain Special Interest Group of the International Association for the Study of Pain. Úpravou došlo ke zkrácení dotazníku, a tím k jeho zjednodušení pro využití v běžné denní praxi. Výsledkem je standardizovaný dotazník umožňující přesnou interpretaci a lokalizaci bolesti. Jeho opakované použití umožňuje sledování míry nepříjemnosti bolesti u nemocného v čase (Widerström-Noga a kol., 2014).

Reliabilitu a validitu ISCI-PBDS zkoumali a Stampacchia a kol. (2018). Výzkumnou skupinu tvořilo 66 jedinců s kompletní (53 %) a inkompletní (47 %) míšní lézí. Studie ukázala středně vysokou až vysokou inter-rater reliabilitu: 0,781 při hodnocení počtu pociťovaných bolestí, 0,683 při určování druhu bolesti a 0,750 při stanovování míry nepříjemnosti bolesti. Intra-rater reliabilita se pohybovala v rozmezí středně vysokých až vysokých hodnot 0,724 až 0,861. Vysokou míru reliability a validity ISCI-PBDS potvrzuje i dřívější výzkum Jensena a kol. (2009). Nejvyšších hodnot validity bylo dosaženo při hodnocení největších 3 bolestí a jejich ovlivnění každodenního života ($p < 0.001$), nálady ($p < 0.001$) a spánku ($p = 0.01$). Studie navíc vyzdvihuje vysokou vnitřní konzistenci testu, kdy bylo dosaženo Cronbachovo alfa 0,94 značící významnou míru korelace mezi jednotlivými otázkami. Výsledky těchto studií naznačují, že je použití dotazníku ISCI-PBDS vhodnou diagnostickou metodou k hodnocení bolestí u pacientů s míšními lézemi.

2.4 Míšní a kortikální plasticita

V průběhu života se centrální nervový systém přizpůsobuje vnitřním i vnějším podnětům. Plasticita centrálního nervového systému (tj. mozku a míchy) je adaptačním mechanismem uplatňujícím se již v raných vývojových stádiích jedince a probíhajícím po celý život. Při postižení centrální nebo periferní nervové soustavy funguje jako reparační mechanismus sloužící k zachování nebo obnovení původní funkce v maximální možné míře a kvalitě (Murata a kol., 2015). Využívá schopnosti zdravé nervové tkáně v okolí místa léze převzít porušenou nebo ztracenou funkci poškozených nervových struktur. Rehabilitační postupy využívající neuroplastické děje pracují s cílenými propioceptivními, exteroceptivními, vizuálními, akustickými a motivačními

stimuly majícími za cíl způsobit změny v nervové tkáni a tím zlepšit nebo obnovit funkci poškozených oblastí (Kolář a kol., 2009).

Základními prvky plasticity je reorganizace synaptických spojů (remapping) a neurálních okruhů (neurální plasticita). Zároveň dochází ke změně počtu synapsí, větvení a přeskupování dendritů či axonů, remyelinizaci a růstu nových neuronů (anatomická plasticita). Tyto kompenzační a reparační mechanismy probíhají jak na míšní, tak na kortikální úrovni (převážně v somatosenzorické a motorické oblasti). Tím dochází k zapojení intaktních oblastí s následnou částečnou či úplnou korekcí deficitu (Holly a kol., 2007).

Neurální (jinak též synaptická) plasticita vede ke změně prahu dráždivosti neuronů, jejich synaptickým změnám a k aktivaci do té doby němých kortikálních a míšních spojení. Dochází ke změně koncentrace mediátoru GABA, hlavního inhibičního neurotransmiteru CNS, mající za následek lokální snížení inhibice a změnu efektivity synaptické aktivity (Serradj a kol., 2016). Na míšní úrovni jsou reorganizovány preexistující neuronální okruhy. Tyto spinální okruhy jsou zodpovědné za pohybový vzor chůze a jiné rytmické pohyby a mohou pracovat nezávisle na kortikální aktivitě (Dietz a Harkema, 2004). Jedná se o tzv. **centrální generátory lokomoce** (CPG z angl. Central Pattern Generators) vytvářející neurální síť schopné vytvářet rytmické pohybové vzory bez účasti vyšších etází CNS. Jsou považovány za udavače rytmu (pacemakery) pohybu. Předpokládá se, že každá z končetin má svou vlastní neurální míšní síť (Dimitrijevic a kol., 1998).

Anatomická plasticita, tj. proces zahrnující proces remyelinizace a růst nových neuronů, byla dříve popisována jen u periferního nervového systému. Výzkum za použití transkraniální magnetické stimulace u pacientů s inkompletní míšní lézí však prokázal, že trénink chůze na pohyblivém chodníku vede i v chronickém stádiu míšního poranění k funkční reparaci kortikospinální dráhy. Po 3-5 měsících intenzivního lokomotorického tréninku došlo ke zvýšení amplitudy MEP minimálně u jedné z dolních končetin všech testovaných jedinců a ke zvýšení excitability pyramidové dráhy. Zároveň došlo k prodloužení kortikální periody útlumu, což naznačuje ovlivnění kortikálních okruhů zprostředkovávajících centrální inhibiční mechanismy (Thomas a Gorassini, 2005).

2.5 Zrcadlové neurony

Zrcadlové neurony jsou specifické asociační neurony v mozkové kůře. Na rozdíl od motoneuronů se neaktivují pouze při pohybu samotném, ale i při plánování či představě pohybu. Zároveň jsou aktivní i při pasivním pozorování pohybu prováděného jinou osobou („zrcadlí“ reakci jiného neuronu). Pozorování tedy aktivuje stejné skupiny neuronů, jako pohyb samotný (Fadiga a kol., 1995). Zrcadlové neurony se aktivují nejen při cíleném a účelném jednání, ale i při poslechu zvuku doprovázejícího důvěrně známou akci. Naopak se neaktivují při bezděčném chování, nebo pokud chybí předchozí zkušenost s daným pohybem – pro porozumění pohybů ostatních jedinců jich musíme být schopni i my sami. Jsou proto aktivní při jakékoliv známé činnosti bez ohledu na to, zda se jedná o pochopení prostřednictvím zraku či sluchu (Rizzolatti, 2005).

Nález zrcadlových neuronů u opic rodu makaků (di Pellegrino a kol., 1992) a později u lidí je považován za jeden z nejvýznamnějších objevů v oboru neurokognitivních věd konce 20. století (Gallese a kol., 1996). Výzkum Fadigy a kol. (1995) s využitím transkraniální magnetické stimulace u zdravých jedinců sledujících druhou osobu uchopující různé trojrozměrné předměty prokázal, že při pohledu na tuto činnost druhé osoby dochází k významnému zvýšení amplitudy motorických evokovaných potenciálů u svalů zapojených do úchopové funkce ruky testovaných jedinců. K přesné lokalizaci zrcadlových neuronů v mozku byly později použity zobrazovací a vyšetřovací metody jako EEG, magnetoencefalografie, funkční magnetická rezonance a pozitronová emisní tomografie. Za jejich hlavní uzle jsou v současnosti považovány lobus parietalis inferior, ventrální premotorický kortex a kaudální část gyrus frontalis inferior. Nachází se tak buď v oblasti motorické kůry přímo zodpovědné za provádění pohybu, nebo v somatosenzorických oblastech kortexu souvisejících se zpracováním zrakové či sluchové aference (Fabbri-Destro a Rizzolatti, 2008).

Přítomnost zrcadlových neuronů pomáhá vysvětlit procesy napodobování, imitace a anticipace pohybu. Hrají důležitou roli v sociální integraci s okolním světem, jsou důležitým prvkem sebeuvědomění a umožňují empatické vnímání druhých. Jejich chybná funkce může být příčinou některých psychických onemocnění, a to hlavně autismu (Gallese a Freedberg, 2007). Podle některých autorů (Ramachandran a Altschuler, 2009; Eick a Richardson 2014) však mají zrcadlové

neurony vliv i na regenerační a reinervační procesy včetně reorganizace somatosenzorického kortexu, a tím významně ovlivňují dosažený klinický stav nemocných po onemocněních či traumatech postihujících centrální nervovou soustavu. Jejich činnost je proto považována za jeden z mechanismů vysvětlující účinek zrcadlové terapie (mirror therapy) a léčby virtuální realitou (viz kapitola 5). Zrcadlové neurony tak tvoří pomyslnou spojnici mezi motorickými příkazy, vizuální aferentací a propiocepcí (Ramachandran a Altschuler, 2009).

2.6 Komplexní léčebná rehabilitace po míšních lézích

Komplexní léčebná rehabilitace, někdy též označovaná jako komprehensivní (z angl. comprehensive, v překladu ucelená či „všezahrnující“), začíná bezprostředně po vzniku míšní léze, provází celý proces hospitalizace a v určité formě přetrvává i po propuštění do domácího prostředí (Faltýnková a Kříž, 2013). Jejím cílem je dosažení co možná nejvyšší funkční roviny jedinců se zdravotním postižením a jejich zapojení do běžných aktivit společnosti. Jak uvádí Votava a kol. (2003) a Kříž a kol. (2019), komplexní léčebná rehabilitace se skládá z 5 základních složek, jejichž vzájemné propojení vede k ucelenosti rehabilitace:

1. Léčebná rehabilitace – je zajišťována ve zdravotnických zařízeních za multidisciplinární spolupráce mnoha lékařů a zdravotníků. Ošetrovatelský personál tvoří především rehabilitační lékař, zdravotní sestry, neurolog, neurochirurg, anesteziolog, ortoped, ergoterapeut, protetik, internista, urolog, sexuolog a další. Jedním z důležitých prostředků léčby je fyzioterapie, usilující o největší možný návrat pohybových funkcí (viz kapitola 2.7).
2. Pracovní rehabilitace – usiluje o přípravu jedinců, majících alespoň částečný pracovní potenciál, na budoucí uplatnění a zařazení do pracovního procesu. Zaměřuje se proto na rozvoj specifických vědomostí, dovedností a schopností potřebných pro zvolenou profesi.
3. Sociální rehabilitace – snahou je maximální možná integrace osob se zdravotním postižením do společnosti a dosažení vysoké soběstačnosti a samostatnosti jedince. Důležitou úlohu zde zastávají sociální pracovníci, posudkoví lékaři a dobrovolné neziskové organizace osob se zdravotním postižením.

4. Pedagogická rehabilitace – jejím cílem je dosažení nejvyšší možné úrovně vzdělání a vhodné kvalifikace postižených.
5. Psychologická rehabilitace – usnadňuje osobám se zdravotním postižením vyrovnat se s nastalou životní situací a jejich zdravotním stavem, jehož změna nastala náhle a je mnohdy nevratná. Disabilita se nesmí stát neustálým středem pozornosti pacienta, snahou je proto nalézání nových životních hodnot.

2.7 Fyzioterapeutická léčba

Cílem fyzioterapie je obnova poškozených funkcí, nejvyšší možné využití zbylého svalového potenciálu a vytvoření kompenzačních mechanismů k dosažení co možná nejlepší kvality života a soběstačnosti (Faltýnková a Kříž, 2013). Protože se klinický stav nemocného liší v závislosti na uplynutém času od vzniku míšní léze, rozděluje se fyzioterapeutická léčba do čtyř období: akutní fáze, subakutní fáze, chronická fáze a pozdní fáze.

2.7.1 Fáze akutní

Zdravotní péče je během akutní fáze (cca 1.-2. týden) poskytována na anesteziologickém a resuscitačním oddělení (ARO), jednotce intenzivní péče (JIP), nebo specializovaném spondylochirurgickém pracovišti. Přednost má zachování a stabilizace základních životních funkcí, metody léčebné rehabilitace jsou proto vždy vybírány s ohledem na aktuální zdravotní stav pacienta. Pokud to stav nemocného dovoluje, je v tomto stádiu provedeno funkční vyšetření stavu pacienta (zjištění výšky a rozsahu motorické a senzitivní míšní léze, kloubní rozsahy, tonus svalů a další), na jehož základě se stanovuje následný rehabilitační program (Wendsche, 2009).

Fyzioterapeutická péče se soustřeďuje na toaletu dýchacích cest, reedukaci dechového stereotypu a nácvik vykašlávání jakožto prevenci bronchopneumonie. Při pobytu na lůžku se klade důraz na pravidelnou změnu polohy a využití antidekubitních pomůcek. Ovlivňují se měkké tkáně a obnovuje se kloubní pohyblivost. Provádějí se pasivní pohyby v kloubech horních a dolních končetin k zachování rozsahu pohybu kloubů a prevenci kontraktur. Mohou se aplikovat techniky na neurofyzilogickém podkladu k facilitaci svalové aktivity, stimulaci propriocepce, využití neuroplasticity mozku a aktivaci centrálně uložených pohybových vzorců.

Při cvičení v akutní fázi je nutné počítat s rychle nastupující únavou, poruchou koordinace pohybů a omezenou schopností vnímání (Kříž a kol., 2019).

Mezi fyzioterapeutické metody používané v akutní fázi po míšních lézích patří respirační fyzioterapie, polohování, mobilizační a měkké techniky, manuální nebo přístrojové (motodlaha, Motomed) provádění pasivních pohybů, aktivní pohyby, Vojtova reflexní lokomoce, propioceptivní neuromuskulární facilitace (PNF), koncept bazálních posturálních programů (BPP), Bobath koncept, fyzikální terapie (pozitivní termoterapie, elektroléčba) a vertikalizace (Kříž a Chvostová, 2009).

2.7.2 Fáze subakutní

Rehabilitace pacienta v subakutní fázi (3.-12. týden) pokračuje na spinální jednotce. V České republice jsou tato specializovaná pracoviště celkem čtyři a jsou součástí následujících nemocnic: FN Motol, KN Liberec, FN Brno-Bohunice a FN Ostrava. Tato fáze je charakterizována odezněním míšního šoku, návratem reflexních míšních automatismů a u některých pacientů rozvojem spasticity. V důsledku těchto mechanismů dochází ke změnám klinického obrazu nemocného, je proto vhodné znovu provést komplexní vyšetření pacienta a na základě jeho výsledků stanovit cílený rehabilitační program (Wendsche, 2009; Kříž a kol., 2019).

Léčebná rehabilitace navazuje na již započatou fyzioterapeutickou intervenci. Pokračuje péče o dýchací cesty, k čemuž jsou využívány aktivní cykly dechových technik, autogenní drenáž, odporované dýchání a dýchání se souhyby končetin. Pozornost je věnována zlepšení funkčních schopností horní části těla s použitím kvalitních funkčních opor o horní končetiny a zabránění hypotrofie svalstva z inaktivity. Cílem je získání stability v sedu i v nižších polohách, samostatná mobilita na lůžku a vozíku a zvládnutí přesunů. Ovlivňuje se spasticita, zároveň se jí nemocný učí využívat k některým denním činnostem (při otáčení v posteli, oblékání, vertikalizaci). Dle výšky a rozsahu léze se nacvičuje močení. Významnou úlohu má ergoterapie, usilující o maximální možné využití reziduálních funkčních schopností pacienta (Kříž a Chvostová, 2009; Faltýnková a Kříž, 2013).

Fyzioterapeutické techniky, uvedené v kapitole 2.7.1, v této fázi onemocnění doplňuje antispastické polohování, dynamická respirační fyzioterapie, autodrenážní techniky, nácvik močení, balanční cvičení, senzomotorická stimulace, pohyby v závěsném zařízení, cvičení ve vodě, dynamická neuromuskulární stabilizace (DNS),

nácvik transferů, vertikalizace do vyšších poloh a nácvik chůzového stereotypu v Lokomatu. Z fyzikální terapie se aplikuje pozitivní termoterapie, magnetoterapie, antiedematózní léčba, elektrostimulace svalů majících dle EMG naději na aktivní funkci, nebo funkční elektrostimulace (FES) k ovlivnění pohybových stereotypů (Wendsche, 2009; Faltýnková a Kříž, 2013).

2.7.3 Fáze chronická

Přibližně 12 týdnů po vzniku míšní léze nastává v pořadí třetí fáze, která je charakterizována dlouhodobou výdrží nemocného vsedě na invalidním vozíku. Pacienti ze spinálních jednotek, kteří jsou indikováni k další léčbě, jsou pro zajištění kontinuity péče překládáni do rehabilitačních ústavů, jako např. Rehabilitační ústav Kladruby, Rehabilitační ústav Hrabyně nebo Hamzova odborná léčebna v Luži-Košumberku (MZČR, 2002).

Fyzioterapeut ve spolupráci s ergoterapeutem pomáhají pacientovi s výběrem vhodného vozíku a antidekubitního sedacího polštáře a nastavují ideální pozici sedu. Vzprámený symetrický sed neomezující respirační funkce spolu s optimálním pohybovým vzorem horních končetin při manipulaci s vozíkem jsou základem pro aktivní způsob života vozíčkáře (Faltýnková a Kříž, 2013). V případě potřeby je kontaktován ortotik-protetik, který zhotoví ortézu, protézu či jiné kompenzační pomůcky. Hlavním cílem rehabilitace je dosažení nejvyšší možné úrovně samostatnosti a soběstačnosti. Fyzioterapeutická péče proto navazuje na předchozí léčbu, opakuje nebo kombinuje se techniky uvedené v kapitole 2.7.1 a 2.7.2. Dle vývoje stavu se zvyšuje náročnost cviků a pacient je postupně konfrontován s náročnějšími aktivitami běžného života. Klade se důraz na časté kontrolování míst náchylných na otlaky, pravidelné vyměšování a samostatnost při hygieně. Řeší se výběr adekvátní práce či návrat do školy a další otázky týkající se návratu do běžného života. Důležitou součástí terapie je psychoterapeutická péče pomáhající vyrovnat se s novou životní situací. Léčebný pobyt může být doplněn o prvky sportovní terapie, nejčastěji formou plavání. Před propuštěním jsou pacienti vybaveni zdravotnickou technikou (lůžko, sedačka, zvedák apod.) pro pobyt v domácím prostředí (Wendsche, 2009; Kříž a kol., 2019).

2.7.4 Fáze pozdní

Toto období je spojeno s návratem do domácího prostředí. Případná fyzioterapeutická péče probíhá ambulantně v místě bydliště pacienta, je vysoce individualizovaná a věnuje se aktuálním potížím a požadavkům. Za tímto účelem může terapeut volit některý z dříve zmíněných postupů, popř. uplatnit jakoukoliv jinou indikovanou metodu. Vybraným terapeutickým postupem musí být docíleno nejvyššího možného efektu léčby při zachování účinku již dříve použitých technik (Kříž a kol., 2019).

Pacient v pozdní fázi onemocnění uplatňuje dřívější poznatky z rehabilitací, kdy především musí dodržovat zásady správného polohování, dbát na pravidelné vyměšování a kontrolovat místa s rizikem vzniku dekubitů. Aby se udržel v dobré fyzické kondici, měl by provádět dechová cvičení, protahovat svaly s tendencí ke zkrácení a udržovat kloubní rozsahy. Pokud to fyzický stav jedince umožňuje, je doporučeno věnovat se některému ze sportů pro vozíčkáře, jako např. plavání, potápění, cyklistika na handbike, florbal, tenis, kvadrurugby, atletika (oštěp, koule, disk) nebo lyžování na monoski. Pravidelná pohybová aktivita brání vzniku případných komplikací a udržuje dobrý stav tělesné kondice (Wendsche, 2009; Kříž a kol., 2019).

Pacient v ideálním případě nachází adekvátní uplatnění na pracovním trhu a vrací se do běžného společenského života. V každodenním životě musí čelit do té doby neznámým problémům, jako jsou vysoké překážky na ulici, předměty uložené mimo dosah horních končetin nebo používání hromadných i vlastních dopravních prostředků (Kříž a kol., 2019). Hendikepovaní mohou využívat pomoc některých z neziskových organizací pomáhajících lidem se zdravotním postižením, jako např. Centrum Paraple v Praze, ParaCENTRUM Fenix v Brně, KŘÍŽOVATKA handicap centrum v Pardubicích, Ostravská organizace vozíčkářů aj. Tyto organizace disponují poradenskými centry, publikují informační materiály, pořádají rekondiční pobyty a podílejí se na organizování volného času. (Faltýnková a Kříž, 2013).

3 EVOKOVANÉ POTENCIÁLY

„Evokovaný potenciál je bioelektrické zpracování a odpověď mozku na zevní senzorický nebo motorický stimulus“ (Bareš, 2002). Jedná se o neinvazivní elektrofyziologické vyšetření funkční integrity aferentních a eferentních mozkových a míšních drah. V praxi se využívá k objektivizaci klinického nálezu, detekci subklinického postižení jednotlivých dostředivých nebo odstředivých nervů a ke sledování funkčního stavu vyšetřovaného systému v čase (Slezáková, 2014).

Seidl (2015) rozlišuje 5 druhů evokovaných potenciálů (EP) podle podnětu, kterým jsou vyvolané:

1. Somatosenzorické evokované potenciály (SEP = Somatosensory Evoked Potential) - stimulací periferního nervu (typicky n. medianus, ulnaris, radialis, femoralis, tibialis, peroneus) objektivizujeme poškození aferentního nervového systému. Dále viz kapitola 3.1.
2. Motorické evokované potenciály (MEP = Motor Evoked Potential) – pomocí transkraniální magnetické stimulace vyšetřujeme eferentní motorické dráhy a tím objektivizujeme poškození pyramidové dráhy. Dále viz kapitola 3.2.
3. Zrakové evokované potenciály (VEP = Visual Evoked Potential) – snímáme převod vzruchu zrakové dráhy vedoucí ze světločivných buněk až do kůry okcipitálního laloku. Jako vizuální podněty se využívají LED diody, stroboskopická lampa či tzv. strukturovaný podnět (černo-bílá blikající šachovnice). Využíváme jako pomocné neurologické vyšetření u demyelinizačních onemocnění (např. roztroušená skleróza) a při poškození nervů (především n. opticus).
4. Sluchové kmenové evokované potenciály (BAEP = Brainstem Auditory Evoked Potential) – vyšetřujeme integritu sluchové dráhy. Vyšetřovaná osoba má sluchátka, stimulem je opakující se click („cvaknutí“), odpověď snímáme elektrodami přiloženými na vertexu.
5. Kognitivní evokované potenciály (ERP = Event-Related Potential) – zadáváním různých úloh s využitím senzorických podnětů vyšetřujeme kognitivní funkce. Sledovaným parametrem je latence odpovědi. Nevýhodou testování ERP je jeho nízká specifická.

Výbavnost evokovaných potenciálů je podmíněna celistvostí aferentních (SEP) a eferentních (MEP) nervových drah. U somatosenzorických evokovaných potenciálů je výbavnost vyjádřena přítomností kortikální odpovědi, v případě motorických evokovaných potenciálů záškubem periferního svalu s odpovídající amplitudou. Dle Bareše (2002) jsou sledovanými parametry při vyšetření EP:

- latence vedení (doba mezi aplikovaným podnětem a zachycenou odpovědí);
- amplituda a tvar křivky;
- centrální míšní kondukční čas = rozdíl latencí periferních a centrálních;
- práh stimulace při transkraniální magnetické stimulaci;
- stranová a/symetrie.

Klinické využití vyšetření EP spočívá hlavně u demyelinizačních onemocnění (roztřoušená skleróza mozkomíšní, encefalomyelitida), spondylogenní myelopatie, míšního tumoru, AIDS či borreliózy. Dále se využívají k hodnocení prognózy u posttraumatických a posthypoxických stavů (Seidl, 2015). Oproti jiným neurologickým vyšetřením (magnetická rezonance, vyšetření likvoru) poskytuje vyšetření EP obecně pouze omezenou informaci o přesném místě léze a žádnou informaci o přítomnosti případného zánětu. Je ale naopak senzitivní v časných stádiích onemocnění, při detekci funkční poruchy nevyjádřené na morfologických metodách a při stanovování prognózy pacienta (Bareš, 2002). S přibývajícím věkem, zřejmě v souvislosti se zpomalováním vedení v periferních nervových drahách, se latence odpovědi prodlužuje (Štětkářová, 2017).

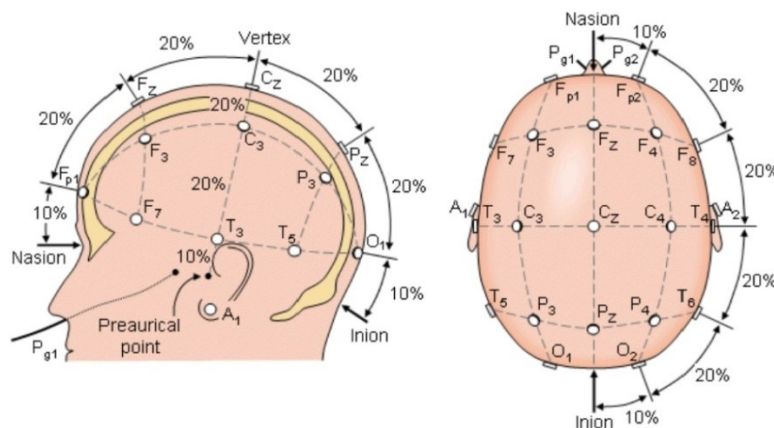
3.1 Somatosenzorické evokované potenciály

Somatosenzorické evokované potenciály (SEP, v literatuře někdy též SSEP) mapují vedení signálu z periferního receptoru do kortexu. Stimulací periferního nervu (nejčastěji n. medianus v oblasti zápěstí pro horní končetiny a n. tibialis za vnitřním kotníkem pro dolní končetiny) vzniká synchronní salva vzruchů šířící se proprioceptivními myelinizovanými vlákny (Štětkářová, 2017). V míše je následně vedení zprostředkováno ipsilaterálními zadními provazci do jader zadních provazců v prodloužené míše. Odtud vzruchy pokračují do thalamu a do primární somatosenzorické korové projekční oblasti v gyrus postcentralis. Odpovědi jsou

registrovány pomocí povrchových elektrod, které jsou umístěny v průběhu vyšetřované aferentní nervové dráhy a na skalpu (ACNS, 2006).

Při vyšetření SEP z horních končetin jsou odpovědi registrovány na úrovni brachiálního plexu (Erbův bod), dále z oblasti zadních míšních provazců a jejich jader (cervikální intumescence), centrální kortikální odpověď je pak registrována ze skalpu v oblasti nad kontralaterální korovou projekční oblastí pro ruku v postcentrálním gyru. Při vyšetření SEP z dolních končetin jsou odpovědi registrovány ve fossa poplitea, dále na úrovni zadních kořenů a rohů míšních (lumbální intumescence), centrální kortikální odpověď je registrována ze skalpu v oblasti nad kontralaterální korovou projekční oblastí pro nohu v postcentrálním gyru (Štětkářová, 2017).

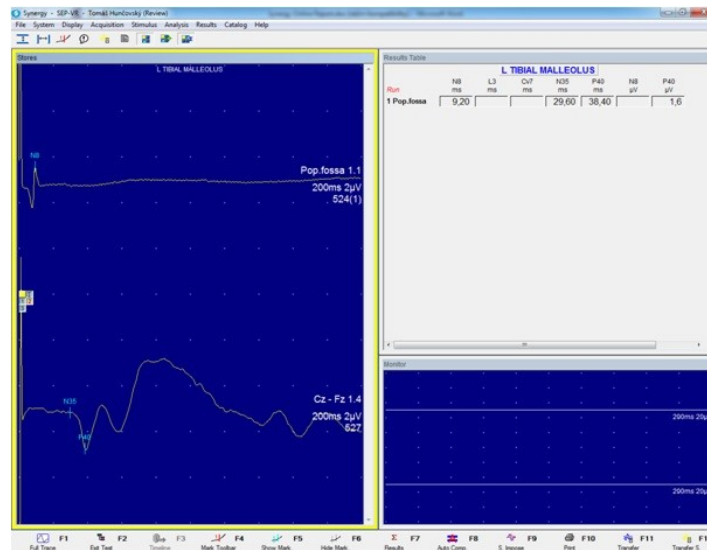
Pro rozmístění povrchových elektrod na povrchu skalpu je standardně používán tzv. systém 10-20 (čti deset-dvacet). Označení vychází ze způsobu rozměření, kdy je obvod hlavy a 2 kolmé roviny na něj rozdělen na části po 10 % a 20 %. Výsledkem je síť bodů, pomocí které se řídí umístování elektrod. Směrem ventrodorzálním rozlišujeme 5 řad elektrod: prefrontální, frontální, centrální, parietální a occipitální (Homan a kol., 1987).



Obr. 2: Rozmístění povrchových elektrod v systému 10-20 (Malmivuo a Plonsey, 1995)

Stimulace probíhá opakovaným pravoúhlým elektrickým impulzem o intenzitě přibližně 2,5 násobku senzitivního prahu. Intenzita elektrického impulsu je nadprahově motorická (tzv. „motor treshold“ stimulus), dochází tedy ke kontrakci nervem zásobeného svalu (Kaiser a kol., 2016). Odpovědi na stimuly mají malou amplitudu (mikrovolty) a zanikají v elektrickém šumu způsobeným bioelektrickými či fyzikálními artefakty (spontánní EEG, EKG, zevní elektrický a elektromagnetický šum). Abychom SEP „očistili“ od těchto artefaktů, jsou zapotřebí stovky až tisíce stimulů, po jejichž zprůměrování počítačem dojde ke zvýraznění reakce na stimulaci periferního

nervu (Seidl, 2015). Jak znázorňuje obr. 3, fyziologicky lze snímat s různou latencí jak periferní odpověď ve fossa poplitea (horní křivka), tak kortikální odpověď v oblasti somatosenzorické arei (dolní křivka).



Obr. 3: Somatosenzorický evokovaný potenciál (autorské foto)

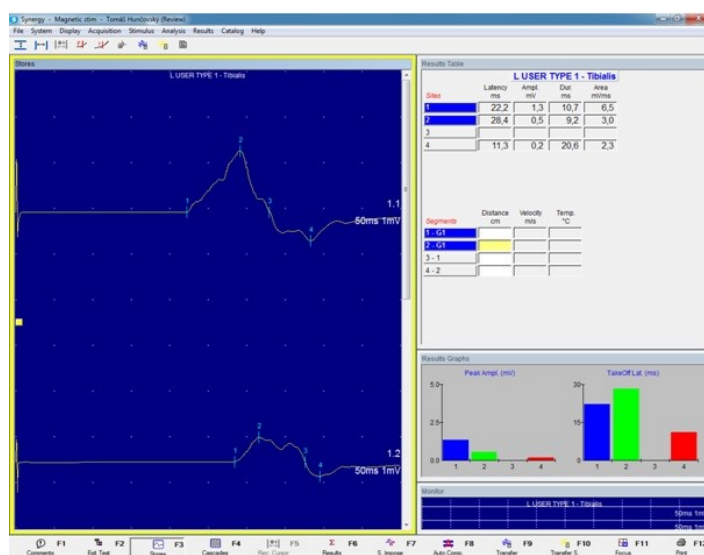
SEP se využívá i v rámci peroperačního monitorování, zejména během chirurgických zákroků, při kterých hrozí poškození somatosenzorických drah. Ve srovnání s monitoringem EEG je výhodou SEP monitoringu jeho odolnost na intravenózní sedativa, barbituráty i celkovou anestezii (Bareš, 2002).

3.2 Motorické evokované potenciály

Změnu elektrického pole je možné vyvolat i obráceným směrem - při vyšetření MEP sledujeme časový interval, za který dorazí vzruch z mozkového kortexu k alfa motoneuronu a latenci mezi stimulací alfa motoneuronu a podrážděním svalu (Seidl, 2015).

Ke stimulaci se využívá transkraniální magnetická stimulace pomocí magnetické cívky, která vytváří pulzní změny elektromagnetického pole indukující elektrický proud. Změnou elektrické aktivity v centrálním nervovém systému (CNS) dochází k aktivaci rychle vedoucích kortikospinálních vláken v oblasti axonového hrbolku nebo v prvním internodiu (Štětkářová, 2017). Ke stimulaci může být využito i přímé působení elektrickým impulzem, vzhledem k jeho bolestivosti se ale používá jen při peroperační monitoraci, kdy je pacient v celkové anestezii (Seidl, 2015).

Motorická odpověď se na horních končetinách snímá povrchovými elektrodami nejčastěji na drobných svalech ruky (m. abductor pollicis brevis, m. abductor digiti quinti). Na dolních končetinách registrujeme odpověď nejčastěji na m. tibialis anterior nebo m. extensor hallucis brevis. Na rozdíl od somatosenzorických evokovaných potenciálů není třeba výsledné hodnoty průměrovat, neboť motorická evokovaná odpověď ze svalu má vysokou amplitudu a je dobře registrovatelná (Štětkářová, 2017).



Obr. 4: Motorický evokovaný potenciál (autorské foto)

Ke zvýšení amplitudy vyvolané odpovědi je možné využít jeden z **facilitačních mechanismů**. Těmi jsou aktivní volní kontrakce testovaného svalu (k nejvyšší facilitaci dochází přibližně při 20 % maximální volní kontrakce), nebo představa (imaginace) pohybu. V obou případech dochází ke zkrácení latence a ke zvýšení amplitudy odpovědi (Diehl a kol., 2006). Zajímavostí je skutečnost, že k facilitaci MEP dochází i při pouhém pasivním pozorování prováděného jinou osobou. Facilitovány jsou přitom selektivně pouze ty svaly, které by byly potencionálně zapojeny při napodobování daného pohybu (Fadiga a kol., 1995). Tento facilitační mechanismus se vysvětluje existencí zrcadlového nervového systému (viz kapitola 2.5).

Po nadprahově motorické transkutánní magnetické stimulaci dochází fyziologicky k přechodnému vymizení EMG aktivity stimulovaného svalu. Časový interval mezi MEP vyvolaným transkutánní magnetickou stimulací a návratem EMG aktivity svalu se nazývá **kortikální perioda útlumu** (CSP z angl. Cortical Silent Period). Je jedním z inhibičních mechanismů potlačujících nadměrnou svalovou aktivitu, za jehož vznik jsou zodpovědné inhibiční interneurony, descendní inhibiční

dráhy a GABA_B receptory (Poston a kol., 2012). Čím vyšší je intenzita impulzu, tím je perioda útlumu delší. Některá onemocnění postihující nervovou soustavu způsobují patologické zkrácení nebo prodloužení doby trvání CSP. Ke zkrácení doby jejího trvání dochází při amyotrofické laterální skleróze, Parkinsonově nemoci a cervikální myelopatii. Naopak k prodloužení doby trvání CSP dochází u Alzheimerovy demence, mozečkového iktu a spinocerebelární ataxie (Wilson a kol., 1993).

Monitorace MEP se využívá i při neurochirurgických operacích, kdy se při resekcích v okolí motorické arei stimuluje daná mozková hemisféra a kontroluje se celistvost kortikospinálního traktu. Vzhledem k faktu, že část nervových vláken kortikospinální dráhy vychází i z postcentrálního gyru, je nutné stimulovat nejen gyrus praecentrální, ale také gyrus postcentrální (Neuman a kol., 2015).

Kontraindikací pro vyšetření MEP je přítomnost elektromagnetických implantátů v těle a implantovaný kardiostimulátor. Mezi relativní kontraindikace patří těhotenství, epilepsie a přítomnost implantovaných programovatelných pump (Štětkářová, 2017).

4 NEUROPATICKÁ BOLEST

Neuropatická bolest je jednou z častých komplikací při postižení centrálního nebo periferního nervového systému. Je definována jako „*Bolest vznikající jako přímý důsledek léze nebo onemocnění, které postihuje somatosenzorický nervový systém*“ (Treede a kol., 2008). Jedná se o dlouhotrvající, úpornou bolest, často obtížně léčitelnou, přinášející riziko psychických poruch (Hyšperská, 2018). Na rozdíl od bolesti nociceptivní neplní ochrannou funkci mající původ ve stimulaci nociceptorů, nýbrž vzniká na podkladě poruchy funkce při poškození tenkých vláken periferních nervů nebo spino-thalamo-kortikálního traktu. Současná stimulace nociceptorů však může tuto bolest akcentovat (Ambler, 2009). Dle Hakla (2016) dělíme neuropatickou bolest podle lokalizace poškození na periferní a centrální.

Periferní neuropatická bolest vzniká na podkladě postižení periferního nervového systému, především pak aferentních (nociceptivních) vláken A-delta a vláken C (Hakl, 2016). Podle lokalizace léze se jedná o mononeuropatie, plexopatie nebo radikulopatie. Nejčastějšími příčinami je diabetická neuropatie, infekční neuralgie, alkoholicko-karenční neuropatie, poúrazové a pooperační neuralgie (fantomová bolest), HIV indukovaná neuropatie, vaskulitidy, toxická (především poléková) neuropatie a neuropatie u chronických kompresivních nebo u chronických kořenových syndromů (Rutar, 2018). Dochází k periferní senzitivizaci, která je charakterizována neuronální hyperexcitabilitou, snížením prahu pro vznik akčního potenciálu, snížením prahu dráždivosti neuronů a vznikem ektopických impulzů v nociceptivních vláknech nebo v regenerujících novotvořených výběžcích vzniklých po přerušení axonů (Ambler, 2009).

Centrální neuropatická bolest vzniká poškozením centrálních senzitivních nervových drah, tj. spinothalamické dráhy vedoucí v předních a postranních míšních sloupcích, nebo méně často trigeminothalamické dráhy. Nejčastějšími příčinami jsou traumatické míšní léze, syringomyelie, roztroušená skleróza mozkomíšní a stavy po cévní mozkové příhodě (Rutar, 2018). Pro centrální neuropatickou bolest je typická distribuce v neuroanatomicky přesně definované oblasti s částečným nebo úplným senzitivním deficitem, často s přítomností hypersenzitivity či alodynies. Tato bolest se může někdy projevit s odstupem několika měsíců, vzácněji i let po prvotním poškození nervové tkáně (Hakl, 2016). Předpokládá se, že jedním z faktorů při vzniku centrální neuropatické bolesti je periferní senzitivizace, kdy na úrovni zadních míšních

rohů dochází ke zvýšení citlivosti vůči nociceptivním stimulům a k rozšíření recepčního pole neuronů na další míšní oblasti a vyšší etáže CNS. Rozšíření recepčního pole a aktivace polymodálních receptorů vede ke stále vyšší četnosti výbojů v zadních míšních rozích, což má za následek kontinuální stimulaci a změnu non-nociceptivních podnětů na nociceptivní. Zároveň dochází ke strukturálním změnám na zadních míšních rozích vlivem reorientace zakončení A-beta vláken, která fyziologicky končí v míšních laminách III a IV. Při centrální senzitivizaci vrůstají i do laminy II, takže na mechanické podráždění reagují bolesti (Ambler, 2009).

I přes výše popsané mechanismy je přesná příčina vzniku neuropatické bolesti dosud neznámá. D'Angelo a kol. (2013) předpokládají multifaktoriální původ neuropatické bolesti na podkladě anatomických, neurochemických, excitotoxických a zánětlivých procesů. Na úrovni míchy shrnuje 3 skupiny důsledků míšního poranění vedoucí k funkčním změnám somatosenzitivního nervového systému:

- aktivace mikroglíí (viz dále) a astrocytů (zajišťujících výživu neuronů) patřících do skupiny neuroglíí;
- rozšíření recepčního pole neuronů a jejich ektopické aktivity, zvýšení četnosti výbojů, změny koncentrace sodíku;
- změny synaptických spojů, koncentrace regulačních proteinů a regulace genové transkripce/translace.

S tvrzením D'Angela a kol. souhlasí i Vierck (2019), jenž jako nejdůležitější faktor podílející se na vzniku neuropatické bolesti označuje aktivitu zachovalých axonů v místě léze a činnost mikroglíí majících schopnost fagocytózy a fyziologicky se účastnících imunitních dějů v nervové soustavě. Po míšním traumatu dochází k migraci mikroglíí k místu léze a jejich aktivaci, vedoucí k poškození oligodendrocytů a tím k demyelinizaci axonů. Demyelinizovaný nociceptivní axon se stává hyperaktivním a spontánně generuje bolestivé vzruchy. Při své činnosti navíc mikroglie uvolňují prozánětlivé faktory (cytokiny, chemokiny, radioaktivní formy kyslíku a růstové faktory) dráždící zachovalá nervová vlákna. Za vhodnou terapii neuronální hyperexcitability proto autor považuje tetracyklické antibiotikum Minocycline, inhibičně působící na činnost mikroglíí.

4.1 Klinické formy neuropatické bolesti

Dle Amblera (2011) rozlišujeme 2 základní klinické formy neuropatické bolesti: bolest stimulovanou a bolest spontánní.

Mezi stimulované bolesti patří alodynie a hyperalgezie. Alodynie znamená stav trvalého podráždění, kdy jsou běžně nebolestivé podněty (dotyk, pohlázení, oděv na těle, teplo) vnímány jako bolestivé. Přítomnost alodynie vyšetřujeme dotykem, neurologickým štětečkem nebo pohybem smotky vaty po kůži, termickou citlivost zjišťujeme aplikací tepla nebo chladu. Hyperalgezie je charakterizována snížením prahu pro bolest a zvýšením citlivosti v postižené bolesti. Mechanický nebo termický stimul tak vyvolá bolest o vyšší intenzitě, než je fyziologicky obvyklé (Ambler, 2011).

Spontánní bolest je naopak na stimulu nezávislá a vzniká jako důsledek neuronální dysbalance a hyperaktivity. Dle Adamčové (2005) lze rozlišit 4 základní typy spontánních senzitivních syndromů:

- parestezie: brnění, svědění, píchání či pálení kůže nebolestivého charakteru;
- dysestezie: stejně jako v případě parestezií abnormální senzitivní vjemy (brnění, „mravenčení“), které jsou ale vnímané velmi nepříjemně až bolestivě;
- trvalá pálivá bolest;
- paroxysmální (záchvatovitá) bolest: krutá bolest charakteru trhání části těla.

Hyperalgezie a pálivá bolest jsou vedeny nervovými vlákny typu A delta a C, zatímco alodynie, parestezie a dysestezie vlákny typu A beta (Adamčová, 2005). Spontánní a stimulovaná neuropatická bolest se u pacienta často kombinuje a vzájemně překrývá (Hakl, 2016).

4.2 Diagnostika neuropatické bolesti

Kvalitně odebraná anamnéza je základním předpokladem k rozlišení nociceptivní (muskuloskeletální, viscerální) bolesti od bolesti neuropatické, na základě čehož se stanovuje následná terapie. Hodnotí se intenzita bolesti, lokalizace, kvalita, doba trvání, proměnlivost během dne a noci, co od bolesti ulevuje a co ji naopak zhoršuje. V klinickém vyšetření se provádí neurologické vyšetření se zaměřením na citlivost (povrchové i hluboké čítí, nocicepce, vnímání teploty) a svalovou sílu (Hyšperská, 2018). Neuropatická bolest se může objevit v akutním i chronickém stádiu

po míšním poranění. V případě bolesti udávané v oblasti s neurologickým deficitem je zjišťován výskyt alodynzie, hyperalgezie a spontánních senzitivních syndromů. K diagnostice neuropatické bolesti byly vyvinuty dotazníky jako např. Neuropathy Pain Scale (NPS – viz kapitola 4.2.1), Michigan Neuropathy Screening Instrument (MNSI), Leeds Assessment of Neuropathic Symptoms and Signs (LANSS), Douleur Neuropathique 4 (DN4) nebo PainDETECT (Bednařík, 2008).

Dle Hyšperské (2018) může být neuropatická bolest u nemocných s míšní lézí lokalizovaná na 3 úrovních:

1. Nad úrovní léze: nemá přímou souvislost s míšním poraněním. Jedná se o syndromy postižení periferních nervů, často u paraplegiků vlivem přetížení horních končetin (syndrom karpálního tunelu, útlak n. ulnaris aj.);
2. V úrovni léze: příčinou je komprese nervového kořene (traumatem, instabilitou páteře až výhřezem disku), posttraumatická syringomyelie (dutina v míše vyplněná tekutinou) nebo trauma míchy s poruchou prokrvení;
3. Pod úrovní léze: jedná se o vlastní neuropatickou bolest objevující se s odstupem týdnů až měsíců po míšní lézi. Bolest je bodavá, pálivá, charakteru elektrického impulsu, špatně lokalizovatelná. Může se zhoršovat únavou, stresem, změnami počasí, dekubity, potížemi při vyprazdňování.

4.2.1 Neuropathy Pain Scale

Za účelem diagnostiky neuropatické bolesti, zjištění její intenzity, míry nepříjemnosti bolesti pro pacienta a zhodnocení senzitivních manifestací neuropatické bolesti vznikl v roce 1996 dotazník Neuropathy Pain Scale (NPS) – viz příloha č. 8. Tento hodnotící nástroj byl vytvořen za spolupráce lékařské univerzity ve Washingtonu a doktorů Galera a Jensena (Galer a Jensen, 1997).

Hlavní část dotazníku je věnována senzitivním manifestacím bolesti, kdy pacient zodpovídá otázky pro její přesnou charakteristiku. Autoři vybrali 7 vlastností neuropatické bolesti, které jsou při neuropatických bolestech popisovány nejčastěji: intenzivní, ostrá, pálivá, tupá, studená, citlivost kůže, svědivá. Zbývající tři otázky zjišťují dobu trvání bolesti, její nepříjemnost a intenzitu hluboké či povrchové bolesti. Odpovědi jsou zaznamenávány na stupnici 0 až 10, kdy 0 znamená „vůbec není“ a 10 znamená „nejvíce“, jak si dokážu představit“ (Benzon, 2005).

Jensen a kol. (2006) zjišťovali validitu NPS na 159 pacientech trpících neuropatickou bolestí. Probandi byli rozděleni do dvou skupin, kdy první obdržela medikamentózní léčbu opioidy, zatímco druhá pouze placebo. NPS zaznamenal u jedinců léčených opioidy statisticky významný pokles intenzity ($p < 0.003$), nepříjemnosti ($p < 0.018$), ostrosti ($p < 0.028$), tuposti ($p < 0.023$) a hloubky ($p < 0.015$) bolesti. U pacientů užívajících placebo došlo k mírnému poklesu intenzity ($p < 0.012$), nepříjemnosti ($p < 0.019$), hloubky ($p < 0.039$) a povrchovosti ($p < 0.021$) bolesti. Výsledky ukázaly, že dotazník NPS je vhodným hodnotícím nástrojem ke zjišťování analgetického efektu terapeutické intervence u pacientů (Jensen a kol., 2006).

Porovnáním NPS s McGill Pain Questionnaire se zabývali Rog a kol. (2007). Cílem jejich studie bylo zjistit obsahovou správnost obou dotazníků ve vztahu k hodnocení neuropatických bolestí. V obou případech byl zaznamenáván počet otázek, které vystihovaly již diagnostikované neuropatické bolesti. V testu NPS bylo průměrně 81 % otázek vystihujících neuropatickou bolest (na hodnotící škále hodnocených > 1), zatímco v případě McGillova dotazníku se jednalo jen o 59 % otázek (na hodnotící škále hodnocených > 1). Výsledky studie naznačují, že je NPS vhodně konstruovaným dotazníkem k hodnocení neuropatické bolesti s vysokou obsahovou správností (Rog a kol., 2007).

Pokračováním předešlé studie Roga a kol. (2007) opakovaným sběrem dat u 36 respondentů došlo ke stanovení test-retest reliability NPS. Ta se pohybovala v rozmezí 0,45 až 0,78 s celkovým aritmetickým průměrem 0,71, což značí středně vysokou test-retest reliabilitu dotazníku Neuropathy Pain Scale (Roga a kol., 2007).

Specificku a senzitivitu NPS zkoumali jeho autoři Galer a Jensen (1997). Za tímto účelem porovnávali protibolestivý účinek lidocainu oproti phentolaminu před a těsně po aplikaci analgetika u 78 pacientů s neuropatickými bolestmi. Byl zjištěn významně vyšší účinek lidocainu proti nepříjemné a hluboké bolesti, v ostatních parametrech bolesti se již protibolestivý efekt analgetik statisticky významně nelišil. Výsledky tohoto výzkumu naznačují, že by mohl být dotazník Neuropathy Pain Scale používán pro svou vysokou diskriminační validitu jako vhodný diagnostický nástroj ke stanovení medikace jedinců trpících neuropatickými bolestmi. Za použití Pearsonova korelačního kvocientu navíc vědci zjistili silnou korelaci (0,73) mezi povrchovou bolestí a citlivostí kůže a silnou korelaci (0,65) mezi intenzitou a nepříjemností bolesti, což značí vysokou provázanost těchto vlastností neuropatické bolesti (Galer a Jensen, 1997).

4.3 Výzkum neuropatických bolestí u inkompletních míšních lézí

Porovnáním četnosti výskytu neuropatických bolestí oproti bolestem nociceptivního původu se zabývali Orita a kol. (2016). Jejich studie zahrnovala 1804 pacientů s lézemi, stenózami nebo kompresemi míchy, kteří udávali chronickou (≥ 3 měsíce) bolest dolní části zad. Cílem studie bylo zjistit souvislost mezi lokalizací bolesti a její etiologií. Vztah mezi původem bolesti a její lokalizací byl statisticky hodnocen pomocí nepárového t-testu, chí-kvadrát testu a Fischer exaktního testu. Za statisticky významné byly považovány hodnoty signifikance $p < 0.05$. Z celkového počtu 1804 pacientů byl neuropatický původ bolesti zjištěn u 31,9 % jedinců. U pacientů s izolovanou bolestí pouze dolní části zad převažovala nociceptivní složka (44 %) nad složkou neuropatickou (22 %), avšak u pacientů se současnou bolestí dolních končetin a periferní bolestí převažovala neuropatická složka (78 %) nad složkou nociceptivní (56 %). Prevalence neuropatické bolesti se navíc statisticky významně zvyšovala ($p < 0.01$), pokud byla současně přítomna i bolest hýždě. Výsledky výzkumu tedy ukazují, že u pacientů s izolovanou bolestí dolní části zad můžeme častěji očekávat bolest nociceptivního původu, zatímco u přidružených bolestí hýždě a/nebo dolních končetin je bolest častěji neuropatického původu.

Studie Teixeira a kol. (2013) zjišťovala souvislost mezi rozsahem míšní léze, příčinou míšní léze, mezipohlavními rozdíly a intenzitou neuropatické bolesti. Výzkumu se účastnilo 213 pacientů s neuropatickou bolestí v úrovni nebo pod úrovní míšní léze. Pacienti s inkompletní míšní lézí ($n = 69$) udávali na vizuální analogové stupnici (VAS) průměrně o 0,5 bodu vyšší intenzitu bolesti než pacienti s kompletní míšní lézí ($n = 144$). Ženy ($n = 49$) popisovali průměrně o 0,4 bodu nižší intenzitu bolesti než muži ($n = 164$). Jedinci s traumatickou etiologií poranění ($n = 169$) udávali vyšší intenzitu bolesti než osoby s infekční ($n = 12$) a onkologickou ($n = 32$) etiologií vzniku míšní léze. Rozdíly však byly minimální, neboť průměrné hodnoty se pohybovaly u všech testovaných jedinců mezi 8,9 až 9,1 na stupnici VAS. Naměřené hodnoty naznačují, že intenzita neuropatické bolesti je nejvyšší u pacientů s inkompletní míšní lézí, zároveň ženy popisují/vnímají mírně slabší bolesti než muži. Na základě výsledků lze současně usuzovat, že etiologie míšní léze nemá vliv na intenzitu neuropatických bolestí.

Rozdílem intenzity neuropatické bolesti v průběhu dne a její přesnou charakteristikou se zabývala studie Celika a kol. (2012). Výzkumu se účastnilo

50 pacientů s bolestí v úrovni a pod úrovní míšní léze. Byla použita vizuální analogová škála (VAS) a dotazníky McGillovy univerzity a LANSS, ke statistickému vyjádření výsledků byl aplikován Wilcoxonův test a Spearmanův korelační koeficient. Za statisticky významnou se určila signifikance $p \leq 0,05$. Byl zjištěn statisticky významný ($p = 0,003$) rozdíl mezi intenzitou bolesti mezi dnem a nocí, kdy průměrně došlo ke zvýšení VAS v noci o 1,22 bodu ve srovnání s ránem, o 1,14 bodu ve srovnání s polednem a o 0,58 ve srovnání s večerem. U žen bylo kolísání intenzity bolesti průměrně vyšší než u mužů. Pokud jde o přesnou charakteristiku bolesti, pacienti nejčastěji vyjadřovali svou bolest pomocí slov: „pulzující“ ($n = 20$), „vyčerpávající“ ($n = 20$), „horká“ ($n = 18$), „jako štípnutí“ ($n = 18$). Výsledky výzkumu především prokazují, že v noci dochází k akcentaci neuropatické bolesti, což by mělo být dle autorů zohledněno při stanovování farmakoterapie.

Vývoj neuropatické bolesti během déletrvajícího časového horizontu sledovali Siddall a kol. (2002). Po dobu 5 let pozorovali 30 jedinců s neuropatickou bolestí v úrovni míšní léze a 25 jedinců s neuropatickou bolestí pod úrovní míšní léze. Do výzkumu byli zařazeni pacienti s inkompletní nebo kompletní poúrazovou míšní lézí. Ke zjištění míry bolesti a jejího vlivu na běžné denní aktivity byl použit dotazník Chronic Pain Grade (CPD) hodnotící míru chronické bolesti a disability. K vyhodnocení dotazníku v čase byl aplikován Pearsonův korelační koeficient. Z odpovědí respondentů vyplývá, že neuropatická bolest v úrovni místa léze začala s odstupem průměrně 1,2 roku po zranění míchy, zatímco neuropatická bolest pod úrovní míšní léze se v průměru objevila s odstupem 1,8 roku po primárním inzultu. Tento rozdíl si autoři studie vysvětlují možností rozlišné etiologie vzniku neuropatické bolesti v úrovni a pod úrovní míšní léze. Celkem 60 % respondentů s bolestí v úrovni míšní léze udávalo silnou bolest omezující běžné denní činnosti (průměrná hodnota CPD $64/100 \pm 15$). Oproti tomu 48 % respondentů s bolestí pod úrovní míšní léze popisovalo jejich bolest jako silnou a omezující při běžných denních činnostech (průměrná hodnota CPD $61/100 \pm 19$). Ve vnímání intenzity a míry disability tedy nebyl mezi skupinami významný rozdíl. Co se týkalo časového vývoje, 60 % respondentů s bolestí na úrovni léze a 44 % respondentů s bolestí pod úrovní léze popsalo po 5 letech od traumatu stejnou intenzitu bolesti, jako v prvních 6 měsících této bolesti. Autoři neuvádí, zda u zbývajících respondentů došlo ke zlepšení či zhoršení původní bolesti. Vysoký počet osob trpících i po několika letech stále stejně intenzivní neuropatickou bolestí však ukazuje její vysokou rezistenci vůči současným terapeutickým intervencím.

5 VIRTUÁLNÍ REALITA

Tradiční terapeutické postupy využívající neuroplasticitu mozku jsou v současné době s výhodou doplňovány novými technikami používající počítačem generované nereálné prostředí. Virtuální realita (VR), jak toto uživatelské prostředí nazýváme, simuluje reálné prostředí prostřednictvím vizuálních, sluchových, hmatových nebo jiných sensorických orgánů (Weiss a kol., 2006). Za nejdůležitější komponentu je považována zraková aferentace. Jakýkoliv zrakový vjem je v mozku okamžitě interpretován, přičemž naše vědomí neumí rozlišit, zda je tento vjem reálný nebo fiktivní. Pokud je navíc vizuální aferentace doplněna o akustickou složku vyvolávající dostatečně silnou emoční odezvu, dochází k dokonalé iluzi mající odezvu v oblastech motorického učení (Pánek a kol., 2018).

Přístrojové vybavení pro virtuální realitu se nejčastěji skládá z počítače vytvářejícího virtuální prostředí a výstupního zařízení (virtuální brýle či helma) zprostředkovávajícím uživateli sensorické vjemy. Součástí může být i vstupní zařízení snímající pohyby uživatele či speciální datové rukavice, dovolující tak toto prostředí měnit. Výsledná kvalita prostředí a míra jeho přesvědčivosti má zásadní vliv na výsledný biofeedback v motorické části mozkové kůry, a tím ovlivňuje celkový terapeutický efekt (Mlíka a kol., 2005). Plechatá a kol. (2019) rozdělují VR dle stupně imerze, tzn. na základě míry pohlcení uživatele virtuální realitou na:

1. Neimerzní: Divák zcela vnímá reálný svět, jen určitou míru své pozornosti věnuje dění ve VR. Je zprostředkována obrazovkou, se kterou uživatel komunikuje pomocí klávesnice, myši nebo jiných specializovaných příslušenství.
2. Částečně imerzní: Uživatel není plně vnořen do VR a částečně vnímá i reálný svět. K vytvoření širokého zorného pole se nejčastěji využívá velkoplošná obrazovka nebo projekční plátno.
3. Plně imerzní: Divák je plně vtažen do VR a nevnímá reálný svět. K vytvoření 360° virtuálního světa se používají virtuální brýle nebo helma, často v kombinaci se sluchátky. Použitím vysokého rozlišení je vytvořena iluze, kdy se divák cítí být součástí obrazového média, má stanoviště uvnitř obrazu.

Sak (2007) dále rozlišuje 3 stupně virtuální reality:

1. Pasivní: Je možné otáčet hlavou a vidět patřičný obraz generovaného prostředí, chybí zde však možnost volného pohybu či poupravování virtuálního prostředí.
2. Aktivní: K vlastnostem pasivní VR přidává schopnost volného pohybu ve virtuálním světě, do kterého ale stále není možné jakkoliv zasahovat.
3. Interaktivní: Nejdokonalejší stupeň VR, ve které uživatel v reálném čase modifikuje a formuje virtuální prostředí.

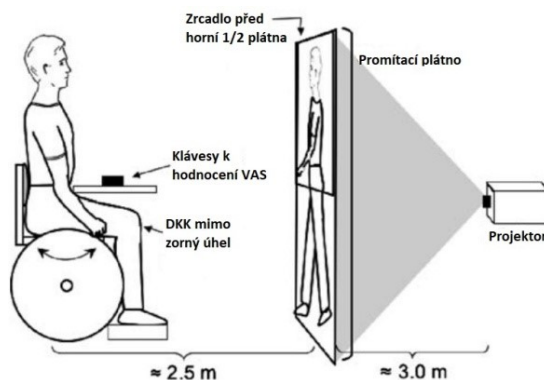
Jak již bylo popsáno v kapitole 2.5, při pozorování pohybu dochází ke zvýšené aktivitě systému zrcadlových neuronů a stimulaci svalů zodpovědných za pozorovaný pohyb. Tento mechanismus vysvětluje princip fungování VR. Při déletrvajícím nepoužívání určitého motorického vzoru dochází k „zapomínání a uspávání určitých programových okruhů“. Předpokládá se, že pomocí terapie virtuální realitou je možné tyto „spící“ oblasti znovu „probudit“, a tím podpořit efekt souběžně používaných terapeutických technik (VRehabilitation, 2018).

Pomocí VR je navíc možné dosáhnout vysoké variability a obtížnosti prováděných aktivit s možností přesného zacílení na funkční deficit uživatele (v tomto případě pacienta). Při dosažení optimálního množství aferentních vzruchů a patřičné motivaci uživatele dochází k dokonalé iluzi o pohybu s následným biofeedbackem v motorické části kortexu. To vede ke spuštění plastických změn CNS, k aktivaci zbytkových motorických funkcí, zvýšení rozsahu pohybu a zvýšení svalové síly (Navrátilová a kol., 2017).

VR se v současnosti ve fyzioterapii využívá především u pacientů po cévní mozkové příhodě, ke zlepšení stability, k ovlivnění fantomových bolestí nebo u pacientů s neglect syndromem (Polák a kol., 2017). Pobyť ve virtuální realitě může u některých pacientů hlavně z počátku způsobovat pohybovou nevolnost (motion sickness) s příznaky dezorientace, nauzey, posturální nejistoty, pocení a bolesti očí. K těmto příznakům dochází především u kvalitních přístrojů navozujících přesvědčivý pocit přítomnosti virtuálního prostředí. V takových případech volíme nižší kvalitu zobrazení a kratší dobu aplikace (Weiss a kol., 2006).

5.1 Virtuální realita v terapii neuropatické bolesti

Jako první zkoumal efekt „virtuální chůze“ na neuropatickou bolest Moseley (2007). Jeho výzkumu se zúčastnilo 5 paraplegiků s diagnostikovanou chronickou neuropatickou bolestí (≥ 3 roky). K navození iluze chůze použil projektor, promítací plátno a zrcadlo (viz obr. 5).



Obr. 5: Virtuální chůze dle Moseleyho - schéma (Moseley, 2007)

Pomocí projektoru bylo na plátně promítáno video chodící osoby, sledující osoba poté viděla vždy jen její dolní končetiny - horní polovinu promítacího plátna překrývalo zrcadlo tak, aby sledující viděl odraz svého trupu a hlavy. Sledující následně během promítaného videa pohyboval svým trupem tak, aby „následoval“ pohyby dolních končetin promítaných na plátně. Aby sledující osoba neviděla na své dolní končetiny, v úrovni jejího pasu byl umístěn stoleček, na němž byly 2 klávesy sloužící k posunu kurzoru na 100mm vizuální analgetické stupnici. Byla měřena úroveň bolesti před projekcí, ihned po projekci a v případě změny bolestivosti čas potřebný k návratu na původní úroveň bolesti. Aby se minimalizovala pohybová nevolnost způsobená virtuální realitou, po videu si sledující s pomocí psychologa představoval (imaginoval) příjemnou, bezbolestnou a radostnou aktivitu. Na závěr bylo každému sledujícímu puštěno animované zábavné video. Výsledky výzkumu ukazují na významné snížení neuropatické bolesti při použití virtuální chůze s imaginací. V průměru došlo k poklesu VAS o 42 mm (11-73 mm) po virtuální chůzi, 18 mm (4-31 mm) po imaginaci a 4 mm (-3 až 11mm) během pozorování zábavného videa. K návratu k původním hodnotám bolesti došlo průměrně za 34,9 minut. Když však byla terapie virtuální chůzí používána každý den po dobu 15 dní, docházelo po terapii k výraznějšímu snížení bolesti (53 mm; 45-61 mm) a k prodloužení doby jejího efektu (autor neuvádí číselný údaj). Výsledky studie ukazují analgetický efekt virtuální chůze u neuropatických bolestí, zvyšující se s délkou její aplikace.

Soler a kol. (2010) zjišťovali efekt Moseleyovi virtuální chůze (2007) v kombinaci s transkraniální stimulací motorického kortexu. Testovaný soubor tvořilo 39 jedinců s chronickou neuropatickou bolestí, kteří byli rozděleni do 4 skupin dle poskytované terapie: 1. jen VR, 2. jen transkraniální stimulace, 3. kombinovaná terapie, 4. placebo terapie. Ke stimulaci byl využit přístroj NeuroConn, kdy byla anoda umístěna v lokalizaci C3 nebo C4 dle systému 10-20 (viz kapitola 3.1) a katoda na kontralaterální supraorbikulární oblasti. Po dvoutýdenní terapeutické intervenci došlo použitím samotné VR ke snížení intenzity kontinuální NB a použitím samotné transkraniální stimulace ke snížení intenzity paroxysmální (záchvatovité) a kontinuální NB. Nejlepších výsledků však bylo dosaženo u experimentální skupiny kombinující oba druhy léčby, kdy došlo ke statisticky významnému snížení intenzity a klinických symptomů NB v porovnání se samotnou VR ($p = 0,008$), samotnou transkraniální stimulací ($p = 0,05$) a placebo skupinou ($p = 0,009$). Při kontrolním měření 12 týdnů po ukončení terapie byl zjištěn přetrvávající účinek kombinované terapie ($p < 0,04$), zatímco nebyl zjištěn přetrvávající efekt izolované VR ($p > 0,05$) a transkraniální stimulace ($p > 0,05$). Z výsledků dotazníkového šetření vyplývá, že při kombinovaném použití virtuální reality a transkraniální stimulace motorického kortexu lze dosáhnout vyššího a déletrvajícího terapeutického účinku na intenzitu a klinické symptomy neuropatické bolesti než při izolovaném použití těchto terapeutických metod.

Identickou formu VR jako Moseley (2007) použili i Özkul a kol. (2015) k léčbě 24 pacientů s neuropatickou bolestí po míšní lézi a porovnali její účinek s aplikací transkutánní elektrické nervové stimulace (TENS). Testovaní jedinci seděli na invalidním vozíku před promítacím plátnem, na jehož spodní polovinu byly promítány pohybující se dolní končetiny herce, zatímco byla vrchní polovina plátna překryta zrcadlem zobrazujícím horní polovinu těla diváka (viz obr. 6).



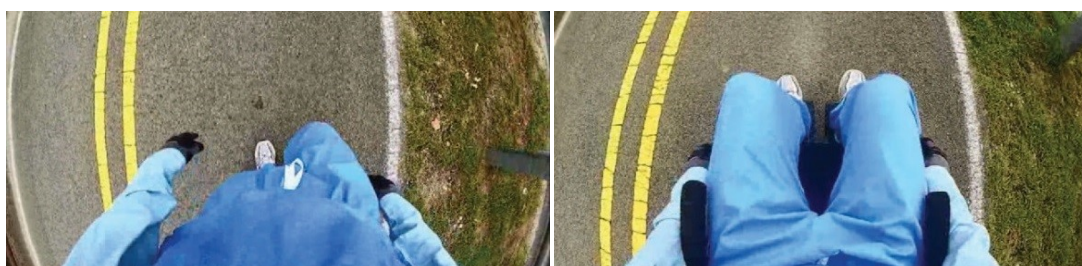
Obr. 6: Virtuální chůze dle Moseleyho - reálná ukázka (Özkul a kol., 2015)

Probandi byli rozděleni do 2 experimentálních skupin, přičemž obě podstoupily během 5 týdnů stejnou terapii, jen v obráceném pořadí (VR – TENS či TENS – VR). TENS byla aplikována paravertebrálně na nejnižší segment se zachovalým senzitivním citím, čtverhranným proudem o frekvenci 80 Hz, dobou trvání pulzu 180 μ s a intenzitou 0-100 mA. Před, v průběhu a po skončení léčby byla NB hodnocena dotazníky Neuropathy Pain Scale a vizuální analogovou škálou, k jejichž zpracování byl použit Wilcoxonův test a Mann-Whitneyův pořadový test. Statistické porovnání potvrdilo pozitivní působení obou intervencí na snížení neuropatické bolesti ($p < 0.05$), přičemž k výraznějšímu snížení intenzity neuropatické bolesti došlo při aplikaci TENS než při terapii VR ($p < 0.05$). Zatímco však TENS nevedla ke snížení nepříjemných sensorických manifestací (tj. klinických symptomů) spojených s NB, absolvováním virtuální chůze došlo k významnému ($p < 0.05$) snížení ostrosti, pálivosti, celkové nepříjemnosti a hloubky bolesti. Odebraná statistická data naznačují menší účinek virtuální chůze na intenzitu neuropatické bolesti než při aplikaci transkutánní elektrické nervové stimulace. Terapie virtuální chůze však měla významný účinek na klinické symptomy doprovázející NB, a tím dle autorů podstatně přispívá ke snížení nepříjemnosti vnímané bolesti.

Pilotní výzkum virtuální chůze na území České republiky uskutečnili Polák a kol. (2017) v Rehabilitačním ústavu Kladruby. Jejich studie se zúčastnilo 10 jedinců s inkompletní míšní lézí, kteří byli náhodně rozděleni do 2 skupin – výzkumná skupina ($n = 5$) absolvovala standardní rehabilitační léčbu dle terapeutického plánu ústavu, experimentální skupina ($n = 5$) obdržela shodnou terapii doplněnou o terapeutické video ve virtuální realitě. Toto přibližně 3 minutové video bylo pro co největší autentičnost natočeno z pohledu první osoby (tzv. First-Person Point of View) a z pohledu kráčející osoby zachycovalo chůzi i běh v interiéru a exteriéru. K dosažení co největší stimulace diváka byl hlavní aktér bosý, musel překonat nízkou překážku nebo schody, zakopl a následně vstal, nebo si sedl na lavičku a rukama stimuloval plosky nohou. Ze svalového testu dolních končetin provedeného před a po skončení terapeutické intervence bylo zjištěno, že výzkumná skupina dosáhla více než trojnásobně většího relativního zlepšení za 1 měsíc než v případě experimentální skupiny. Zlepšení výzkumné skupiny však bylo značně nehomogenní, což si autoři vysvětlují rozdíly v soustředěnosti a motivovanosti probandů a/nebo vlivem realističnosti a technického zpracování videa. I přes menší výzkumný soubor a rozdíly v dosažené úrovni svalové síly naznačují výsledky výzkumu pozitivní vliv

terapie virtuální chůze na motorickou funkci dolních končetin. Virtuální realita se proto jeví jako vhodná doplňková léčba ke konvenčním terapeutickým postupům u pacientů s inkompletní míšní lézí.

Možnosti ovlivnění neuropatické bolesti pomocí virtuální reality zkoumali Richardson a kol. (2019). Jejich studie se účastnili jedinci trpící neuropatickou bolestí s inkompletní ($n = 21$) i kompletní ($n = 38$) míšní lézí, z toho 34 paraplegiků a 25 kvadruplegiků. Testovaní jedinci byli náhodně rozděleni do 2 skupin, kdy první (experimentální) skupina sledovala video zachycující chůzi ($n = 30$), zatímco druhá (kontrolní) skupina ($n = 29$) sledovala video zobrazující jízdu na invalidním vozíku. Obraz ve virtuálních brýlích byl stejně jako v případě výzkumu Poláka a kol. (2017) zobrazen z pohledu první osoby (viz obr. 7).



Obr. 7: Virtuální chůze a jízda na vozíku z pohledu první osoby (Richardson a kol., 2019)

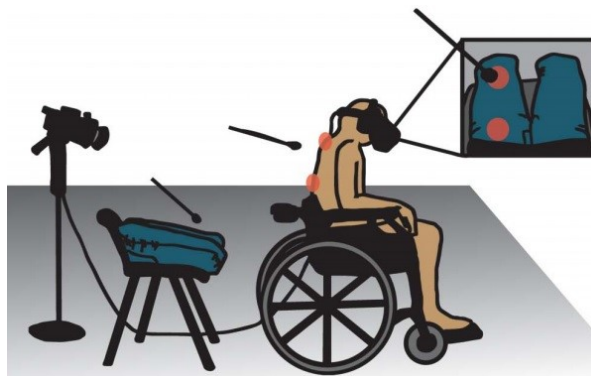
Intenzitu neuropatické bolesti a míru její sensorické manifestace hodnotili testované osoby pomocí standardizovaného dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS) před a po skončení 20 minutového videa. Z dotazníkového šetření vyplývá, že u první skupiny sledujících virtuální chůzi došlo k pozitivnímu ovlivnění neuropatické bolesti, zatímco u druhé skupiny pozorujících jízdu na invalidním vozíku nedošlo ve vnímání bolesti k žádným změnám. U osob pozorujících virtuální chůzi sice nedošlo ke změně ve vnímání intenzity bolesti, ale došlo k pozitivnímu ovlivnění některých sensorických manifestací bolesti. Největší změny se týkaly hodnocení celkové nepříjemnosti bolesti, pocitu chladu, hloubky bolesti a citlivosti kůže. Výsledky studie naznačují, že VR nemá vliv na intenzitu neuropatické bolesti, avšak snižuje její celkovou nepříjemnost ovlivněním sensorických manifestací bolesti.

Doplnit sledování virtuální reality aktivním pohybem účastníka se rozhodli Anam a kol. (2019). Jejich studie zahrnovala 9 paraplegických jedinců s neuropatickou bolestí, kteří po dobu 10 dní absolvovali 2x denně 5-10 minut pobyt v plně imerzivním virtuálním prostředí. Na obou horních končetinách přitom měli upevněné senzory,

jejichž pravidelným rytmickým pohybem došlo k pohybu virtuálních dolních končetin, které sledovali z pohledu první osoby v brýlích pro VR. Intenzita neuropatické bolesti byla hodnocena pomocí dotazníku Neuropathy Pain Scale a vizuální analogové škály před započítím a po skončení terapeutické intervence. Prostřednictvím virtuální chůze došlo ke statisticky významnému ($p = 0,01$) poklesu intenzity bolesti v NPS a statisticky významnému ($p < 0,05$) poklesu bolesti na VAS. Účastníci výzkumu se navíc shodovali, že pro ně byla terapie motivující, lehce uskutečnitelná v domácím prostředí a během terapie měli pocit „jako kdyby opravdu chodili“. Výsledky studie naznačují, že terapie VR vede ke snížení intenzity neuropatické bolesti.

Souvislost mezi lokalizací neuropatické bolesti, charakteristikou její sensorické manifestace a účinkem vlivu terapie virtuální chůzí zkoumali Jordan a Richardson (2016). Studie se účastnilo 35 osob s inkompletní ($n = 18$) a kompletní ($n = 17$) traumatickou míšní lézí, kteří prostřednictvím VR jednorázově sledovali chůzi „svých“ imaginárních nohou. Popis sensorické manifestace bolesti a její intenzity byl zaznamenáván dotazníkem NPS před a po skončení intervence. Byl zjištěn statisticky významný ($p < 0,05$) vliv na snížení intenzity NB, ale nebyl zaznamenán žádný vztah mezi lokalizací bolesti a efektem terapie ($p = 0,69$). Nejnižší až žádný účinek terapeutického videa však udávali testovaní, kteří svou bolest popisovali jako studenou, s kůží velmi citlivou na dotek. To by dle autorů mohlo poukazovat na jinou etiologii takové bolesti a její rezistenci na terapii virtuální chůzí. Výzkum prokazuje pozitivní vliv fiktivní chůze při terapii NB, výhody této intervence však mohou záviset na druhu sensorické manifestace bolesti.

Efekt vizuálně-taktilní stimulace pomocí virtuální reality u 20 pacientů s inkompletní nebo kompletní míšní lézí zkoumali Pozeg a kol. (2017). Autoři studie se rozhodli vytvořit konflikt mezi vizuálním a taktilním smyslovým vjemem, k čemuž použili brýle pro virtuální realitu a kameru snímající „falešné nohy“ (viz obr. 8).



Obr. 8: Konflikt vizuální a taktilní aferentace s pomocí VR (Pozeg a kol., 2017)

Zkoumanými parametry byla míra bolesti hodnocená na stupnici VAS a pocit vnímání vlastního těla. Do virtuálních brýlí byl v reálném čase přenášén pohled z kamery zachycující napodobeninu dolních končetin umístěných na židli za testovanou osobou. Výzkumník poté jednou rukou poklepal na „falešné nohy“, zatímco druhou rukou poklepal na ipsilaterální oblast zad těsně nad místem senzitivní léze. Podařilo se tím docílit iluze, kdy se vizuální informace spojila s taktilní informací. Testovaní jedinci pociťovali dotyk na ventrální straně stehna, ačkoliv se jich výzkumníci dotýkali pouze v oblasti zad. Po této stimulaci došlo ke statisticky významnému zlepšení ve vnímání vlastního těla ($p = 0,028$) a k mírnému snížení intenzity neuropatické bolesti ($p = 0,040$). Výsledky studie naznačují pozitivní vliv multisenzorické stimulace pomocí virtuální reality na zlepšení vnímání vlastního těla (body awareness) a na snížení intenzity neuropatické bolesti.

Spojením VR z pohledu první osoby s cíleně prováděnými pohyby dolních končetin u 9 osob s neuropatickou bolestí se zabývali Villiger a kol. (2013). Podmínkou k zařazení do výzkumu byla inkompletní míšňí léze se zachovalou motorickou funkcí pod místem léze, umožňující pohyb dolních končetin, a tím ovládání imaginárních nohou ve virtuálním prostředí (viz obr. 9).



Obr. 9: Cílené pohyby dolními končetinami ve VR (Villiger a kol., 2013)

K záměrné aktivaci různých svalových skupin byly použity 4 hry: žonglování s míčem (dorzální flexory hlezenního kloubu), dotýkání se nohou vody (extenzory kolenního kloubu), kopání do míče (flexory kolenního kloubu) a dotýkání blížících se předmětů (adduktory a abduktory kyčelního kloubu). K hodnocení čtyřtýdenní

terapie byl použit Neuropathy Pain Scale a dotazníky hodnotící motorické funkce (funkční svalový test, Bergova funkční škála rovnováhy a 10 metrový test chůze). Statisticky významné ($p < 0.05$) snížení neuropatické bolesti nastalo u 6 jedinců, u 3 zbývajících probandů nedošlo ke snížení bolesti. Terapie, shodně popisovaná jako zajímavá a zábavná, vedla zároveň ke zvýšení svalové síly ($p \leq 0,001$), stability ($p \leq 0,001$) a lokomoce ($p \leq 0,001$). Na základě těchto výsledků dospěli autoři k závěru, že cílené pohyby ve virtuální realitě snižují intenzitu neuropatické bolesti a zvyšují funkční motorické schopnosti dolních končetin u pacientů s inkompletní míšní lézí.

Možnosti využití virtuální reality k terapii a diagnostice balančních schopností paraplegiků zkoumali Kizony a kol. (2005) a Khurana a kol. (2017). Jejich výzkumů se zúčastnilo celkem 43 jedinců s traumatickou míšní lézí, kteří používali brýle pro VR k hraní balančních her. Tyto hry byly cíleně vyvinuty pro osoby na invalidním vozíku, kdy přesunem těžiště trupu a pohyby horních končetin dochází k ovládnutí herní postavy. Oba výzkumy použily k hodnocení statických balančních schopností standardizovaný test funkčního rozsahu Modified Functional Reach Test. V případě studie Kizoniho a kol. (2005) došlo ke statisticky méně významnému ($p = 0,07$) zkrácení reakční doby testovaných jedinců. Naproti tomu stejná intervence vedla v případě výzkumu Khuraniho a kol. (2017) ke statisticky významnému ($p = 0,001$) zkrácení reakční doby. U všech probandů došlo k vyššímu zájmu o aktivní pohyb při terapii, kterou shodně popisovali jako zajímavou a pestrou. Při srovnání výsledků balančních schopností dosažených během hry s výsledky dosaženými v testu funkčního rozsahu byl nalezen paradox, kdy testované osoby dosahovaly statisticky významně vyšších rozsahů pohybu při hraní VR než při aplikaci standardizovaného testu v reálném životě (dle použité hry $p = 0,014$ až $p = 0,022$). Tyto výsledky si vědci vysvětlují pohlcením hráčů virtuálním úkolem, což ve výsledku vede k odstranění strachu z rizika destabilizace či pádu. Studie Kizoniho a kol. (2005) a Khuraniho a kol. (2017) se shodují, že je VR vhodným doplňkem ke zlepšení rovnováhy sedu zábavnou formou, její potenciál však spočívá i v diagnostice balančních schopností.

Interaktivní hry ve virtuální realitě použili ve své studii i An a Park (2017). Zkoumaná skupinu 10 pacientů s inkompletní míšní lézí používala po dobu 6 týdnů cvičební rehabilitační program IREX (Gesturetek Health, © 2016), jehož součástí je 20 různých pohybových aktivit a sportů určených k neurorehabilitaci ve VR. Před začátkem a po skončení terapie byly provedeny funkční motorické testy: Bergova funkční škála rovnováhy (Berg Balance Scale, BBS), Limit of Stability (LOS), Timed

Up & Go Test (TUG), Walking Index for Spinal Cord Injury-II (WISCI II) a škála Activities-specific Balance Confidence (ABC). Výsledky studie prokazují jak statisticky významné zvýšení balančních schopností ($p < 0.01$ v BBS, $p < 0.01$ v LOS), tak statisticky významné zlepšení lokomotorických funkcí ($p < 0.05$ v TUG, $p < 0.05$ v ABC, $p < 0.05$ v WISCI II). Na základě těchto výsledků autoři konstatují, že opakovaný trénink ve virtuální realitě formou zábavných a těžko předvídatelných aktivit je kvalitní a plnohodnotnou terapií vedoucí ke zlepšení motorických funkcí osob s inkompletní míšní lézí.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

6 METODIKA PRÁCE

6.1 Cíl práce

Cílem práce je zjištění účinku tříměsíčního sledování 2D videí chůze v prostředí virtuální reality na ovlivnění neuropatických bolestí u pacientů s inkompletní míšní lézí.

6.2 Úkoly práce

- Shromáždění odborné literatury se zaměřením na problematiku míšních lézí.
- Rešeršní zpracování studií zabývajících se využitím virtuální reality k léčbě neuropatických bolestí.
- Domluva organizace výzkumu s Centrem Paraple, o.p.s. a Fakultou tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy.
- Vyřešení technických záležitostí výzkumu, nákup brýlí pro virtuální realitu.
- Realizace výzkumu.
- Analýza získaných dat.
- Vytvoření diskuze nad výsledky studie a konfrontace stanovených hypotéz.

6.3 Výzkumné otázky

1. Ovlivňuje sledování terapeutických videí ve virtuální realitě vnímání neuropatických bolestí?
2. Dochází sledováním virtuální reality k objektivně měřitelným změnám somatosenzorického nebo motorického nervového systému?

6.4 Hypotézy

H1: Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významnému snížení subjektivně prožívaných nepříjemných projevů neuropatických bolestí hodnocených dotazníkovým šetřením ve srovnání s počátečním stavem.

H1.1: Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významnému snížení intenzity neuropatických bolestí ve srovnání s počátečním stavem.

H1.2: Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významnému snížení nepříjemných kvalit pocíťovaných bolestí specifických pro neuropatické bolesti ve srovnání s počátečním stavem.

H1.3: Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významnému zmenšení plochy zasažené neuropatickými bolestmi ve srovnání s počátečním stavem.

H2: Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významným změnám latence a amplitudy centrální odpovědi somatosenzorických evokovaných potenciálů ve srovnání s počátečním stavem.

H3: Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významným změnám latence a amplitudy periferní odpovědi motorických evokovaných potenciálů ve srovnání s počátečním stavem.

6.5 Výzkumný soubor

Výzkumu se zúčastnilo 8 probandů (3 ženy a 5 mužů) ve věku od 30 do 64 let (průměrný věk $49,5 \pm 12,0$ let) z řad klientů Centra Paraple, o.p.s (viz tab. 2). Byli osloveni všichni klienti centra mající diagnostikovanou inkompletní míšňí lézi a neuropatické bolesti. Nebyly určeny žádné bližší podmínky týkající se výšky/etiologie míšňí léze, nebo počtu/rozsahu neuropatických bolestí. Podrobnosti o cílech a průběhu výzkumu byly probandům poskytnuty prostřednictvím zaměstnanců centra. Seznámení s těmito informacemi a anonymním zpracováním výsledků stvrdili účastníci výzkumu svým podpisem Informovaného souhlasu (viz příloha č. 3). Experiment byl schválený Etickou komisí Centra Paraple, o.p.s. (viz příloha č. 1) a Etickou komisí Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy pod jednacím číslem 023/2019 (viz příloha č. 2).

Ke klasifikaci rozsahu míšňí léze byl použit Mezinárodní standard pro neurologickou klasifikaci míšňího poranění ASIA, který dělí míšňí léze na:

- AIS A = kompletní – žádná motorická ani senzitivní funkce v segmentech S4-S5;
- AIS B = senzitivně inkompletní – zachovaná senzitivní, nikoliv však motorická funkce pod úrovní léze;
- AIS C = motoricky inkompletní – zachovaná motorická funkce pod úrovní léze, kdy více než polovina klíčových svalů pod úrovní léze dosahuje svalové síly menší než 3;
- AIS D = motoricky inkompletní - zachovaná motorická funkce pod úrovní léze, kdy nejméně polovina klíčových svalů pod úrovní léze dosahuje svalové síly 3 a více;
- AIS E = normální citlivost a motorická funkce (Kříž a kol., 2014).

Tab. 2: Výzkumný soubor

	Pohlaví	Věk	Výška léze	Klasifikace	Doba od vzniku léze [v letech]
P-1	muž	44	L1	AIS C	19
P-2	muž	30	C5	AIS B	9
P-3	žena	61	Th4	AIS B	9
P-4	muž	32	Th11	AIS D	4
P-5	žena	64	Th11	AIS D	2
P-6	muž	54	C5	AIS B	2
P-7	muž	56	Th4	AIS C	3
P-8	žena	55	L1	AIS B	9

6.6 Použité metody

6.6.1 International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set

Dotazník se skládá z 5 otázek doplněných schématem, ve kterém dotazovaný znázorňuje lokalizaci své bolesti. Ve spolupráci s Centrem Paraple, o.p.s. byl proveden překlad standardizované originální verze dotazníku z angličtiny do češtiny (viz příloha č. 7). V rámci tohoto výzkumu obdrželi respondenti dotazník ISCI-PBDS k hodnocení první největší, druhé největší¹ a třetí největší² neuropatické bolesti. Čas na vyplnění dotazníku nebyl omezen.

Vstupem do dotazníku je odpověď respondenta na otázku, zda cítil jakoukoliv bolest v průběhu posledních 7 dní. Tento časový interval je vybrán záměrně, aby obsáhl akutní, intermitentní i chronické bolesti. Následně respondent zaškrťává, kolik různých bolestivých obtíží pociťuje (0 až ≥ 5). Součástí dotazníku je schéma znázorňující lidské tělo rozdělené na 53 polí (1 pole = 1 bod), přičemž respondent zaškrťává všechny pole, kde pociťuje bolest. Toto schéma umožňuje zaznamenání výšky a lateralizace (pravá/levá/střední) bolesti/í. Pokud některá z možností není anatomicky možná (např. ruka může být buď pravá, nebo levá, nikoliv však střední), je příslušné políčko ztmaveno. Součástí tabulky jsou doplňující dotazy na druh bolesti, kde je na výběr mezi neuropatickou (na úrovni míšního poranění, pod úrovní míšního poranění či jinou neuropatickou), nociceptivní, jinou a neznámou bolestí. Poslední otázky se týkají data počátku bolesti a zodpovězení, zda na tuto bolest užívá dotazovaný analgetika.

6.6.2 Neuropathy Pain Scale

Dotazník se skládá ze tří otázek hodnotících intenzitu bolesti, šesti otázek zjišťujících míru nepříjemných vlastností specifických pro neuropatickou bolest, jedné otázky na dobu jejího trvání a jedné otázky na celkovou nepříjemnost bolesti. Ve spolupráci s Centrem Paraple, o.p.s. byl proveden překlad standardizované originální verze dotazníku z angličtiny do češtiny (viz příloha č. 8). V rámci tohoto výzkumu obdržel každý respondent dotazník NPS k hodnocení první největší, druhé největší¹ a třetí největší² neuropatické bolesti. Čas na vyplnění dotazníku nebyl omezen.

K hodnocení výše popsaných vlastností bolesti slouží 11 bodová škála (0 až 10), kdy 0 znamená „není _“ a 10 znamená „nejvíce _ bolest, jakou si dokážu představit“.

¹ v případě, že dotazovaná osoba pociťovala více než jednu neuropatickou bolest

² v případě, že dotazovaná osoba pociťovala více než dvě neuropatické bolesti

Jedinou výjimku tvoří otázka na dobu trvání bolesti, kde je na výběr ze tří možností (po celý den s průlomovými bolestmi, po celý den, někdy). Respondent zároveň vlastními slovy popisuje charakter své bolesti.

6.6.3 Vyšetření somatosenzorických evokovaných potenciálů

Vyšetření evokovaných potenciálů probíhalo v Kineziologické laboratoři Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy pod odborným vedením MUDr. Davida Pánka, Ph.D. a MUDr. Pavla Čelakovského. Probandi byli nejdříve seznámeni s průběhem vyšetření a instruováni, aby si odložili všechna elektronická zařízení a kovové předměty.

K vyšetření somatosenzorických evokovaných potenciálů bylo použito: 5 registračních povrchových elektrod typu EEG Cup, periferní stimulační sonda Synergy, ovládací panel Synergy CareFusion, zesilovač Synergy, počítač (operační systém Windows 7, procesor Intel Core i5) se softwarem Synergy, benzylalkohol, abrazivní pasta, vodivá pasta, hladká náplast a dělená buničitá vata.

Vyšetřované osoby seděly uvolněně na židli, pod kterou byla umístěna gumová podložka k odizolování rušivých signálů od země. Před připevněním elektrod byla pokožka v dotýčných místech odmaštěna benzylalkoholem a jemně obroušena abrazivní pastou na ploše cca 1x1 cm pro každou elektrodu. S pomocí vodivé pasty byly připevněny dvě registrační elektrody do fossy poplitei LDK, ve vzdálenosti 4 cm od sebe a přelepeny náplastí. Stejným způsobem byla připevněna jedna uzemňovací elektroda na patelu levé dolní končetiny. K měření centrální (korové) odpovědi byly dvě zbývající registrační elektrody připevněny totožnou technikou na vlasovou část hlavy v oblasti vertexu, konkrétně na referenční body Fz a Cz (viz kapitola 3.1). Pro co nejlepší odstínění byly kabely k elektrodám spleteny dohromady. Jejich konec byl poté zastrčen do zesilovače do odpovídajících konektorů. Následně byl stimulační sondou drážděn n. tibialis posterior v oblasti za malleolus medialis LDK (katoda umístěna proximálně). Sonda přitom byla při úvodním měření přilepena náplastí, později držena v ruce testujícího, díky čemuž bylo možné dosáhnout přesnějšího zacílení dráždění nervu. Současně byl spuštěn proces stimulace a registrace odpovědi (viz příloha č. 9, obr. 10-12). Intenzita elektrického proudu byla stanovena buď dosažením právě zjistitelné motorické odpovědi (extenze palce LDK), nebo získáním korové odpovědi. K „očišťení“ somatosenzorických evokovaných potenciálů

od elektrického šumu bylo použito 1 000 odpovědí („přeběhů“). Na monitoru se v případě výbavnosti SEP postupně vykreslovaly dvě křivky – první pro periferní odpověď a druhá pro centrální (kortikální) odpověď. Výsledek měření se uložil na disk počítače. V případě, že při stimulaci elektrickým proudem o intenzitě 30 mA nedošlo k vyvolání centrální odpovědi, byly somatosenzorické evokované potenciály hodnoceny jako nevýbavné. Z důvodu prevence popálení kůže probandů nebyla překračována intenzita proudu 30 mA.

6.6.4 Vyšetření motorických evokovaných potenciálů

Při vyšetření motorických evokovaných potenciálů byly dodržovány stejné principy jako u předchozího vyšetření somatosenzorických evokovaných potenciálů. K provedení vyšetření MEP byla použita kruhová stimulační cívka Magstim 90mm (viz příloha č. 10, obr. 15) se stimátorem Magstim 200. Oproti vyšetření somatosenzorických evokovaných potenciálů (viz kapitola 6.6.3) nebyla zapotřebí stimulační sonda Synergy, ostatní pomůcky a přístrojové vybavení zůstaly neměnné.

Testovaný jedinec zůstal po předchozím vyšetření SEP sedět uvolněně na židli. Uzemňovací elektroda zůstala na česce LDK, zbylé čtyři elektrody bylo zapotřebí přelepit. Dvě z těchto elektrod byly nově připevněny na m. tibialis anterior v jeho proximální části v rozestupu 2 cm, zbývající dvě elektrody byly umístěny na totožná místa kontralaterální dolní končetiny. Konce elektrod byly zastrčeny do odpovídajících konektorů v zesilovači. Následně byla přiložením stimulační cívky k hlavě probanda stimulována kontralaterální mozková hemisféra oproti vyšetřované dolní končetině (viz příloha č. 10, obr. 13-16). Intenzita výboje je výrobcem přístroje určována v procentech pulzní změny elektromagnetického pole na stimátoru (od 1 do 100). V rámci tohoto výzkumu byla intenzita podaného výboje nastavena jako nejnižší intenzita vyvolávající motorickou odpověď dolní končetiny. Byla vyšetřována jak LDK (stimulací pravé mozkové hemisféry), tak PDK (stimulací levé mozkové hemisféry). V případě výbavnosti MEP došlo ke zobrazení křivky na monitoru, která byla uložena na disk do počítače. Pokud stimulace 100% pulzní změnou nevedla k vyvolání periferní odpovědi, byly motorické evokované potenciály hodnoceny jako nevýbavné.

Po skončení vyšetření byly elektrody sejmuty, pokožka očištěna od vodivé pasty a v případě potřeby nabídnuta pomoc s přesunem zpět na invalidní vozík.

6.7 Terapeutická videa

Všichni testovaní jedinci obdrželi během úvodního měření brýle pro virtuální realitu VR BOX VR-X2 a shodné instrukce k jejich používání. Doporučená četnost aplikace byla sledovat dvakrát denně jakékoliv terapeutické video, minimálně však sledovat alespoň jedenkrát denně jedno terapeutické video. Přístrojové vybavení se interindividuálně lišilo pouze použitým mobilním telefonem, kdy každý z probandů používal svůj vlastní.

K umožnění sledování terapeutických videí ve virtuální realitě v domácím prostředí vznikl internetový portál VRehabilitation.com (© VRehabilitation, 2018). Na portálu je k dispozici 8 terapeutických videí v délce od 4 do 12 minut (stav k 1.2.2020). Po spuštění vybraného terapeutického videa v mobilním telefonu se telefon vloží do brýlí pro virtuální realitu. Pro účely tohoto výzkumu byly použity brýle VR BOX VR-X2 (viz příloha č. 11, obr. 17-18).

Terapeutická videa byla natáčena kamerou typu GoPro stejnou formou, jakou použili Polák a kol. (2017) při zjišťování účinku virtuální reality na 10 pacientech s inkompletní míšní lézí. Video byla filmována s důrazem na záběr všech čtyř končetin aktéra snímku pro vytvoření co možná „nejrealističtější iluze“ chůze. Kromě videí natočených v zimním období je herec bos a pohybuje se po rozmanitých površích, jako např. linoleum, dlaždice, asfalt, trávník, volný terén či dřevěné molo (viz příloha č. 12, obr. 19-22). Chůze je spíše pomalá, pravidelně prokládaná rozhlédnutím herce po okolí, aby měl sledující lepší pojem o prostoru, ve kterém se jakožto divák pohybuje.

6.8 Měření a sběr dat

Podstatou výzkumu bylo porovnání výsledků dotazníkových odpovědí a evokovaných potenciálů z úvodního měření s měřením kontrolním, a tím zjištění vlivu sledování „virtuální chůze“ na neuropatické bolesti a funkční stav nervových drah. Výzkum probíhal od února 2019 do ledna 2020, během této doby proběhly celkem 4 měření (02/2019, 05/2019, 09/2019, 01/2020). Probandi mohli do výzkumu vstoupit kdykoliv během jeho průběhu, podmínkou k zařazení do studie bylo absolvování dvou po sobě jdoucích měření.

Výzkum probíhal v prostorách Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy. Dotazníkové šetření probíhalo v tiché místnosti s dobrým osvětlením, po celou dobu byla přítomna osoba proškolená k zodpovězení případných nejasností. Sledovanými parametry dotazníku Neuropathy Pain Scale byly: intenzita, nepříjemnost a míra jednotlivých vlastností neuropatické bolesti. Dotazník byl vytištěn vždy na dvou stranách formátu A4 pro první, druhou¹ a třetí² největší neuropatickou bolest. Výsledky NPS byly poté vloženy do statistického programu R. Z dotazníku International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set byly za sledované parametry určeny: míra ovlivnění každodenních činností neuropatickou bolestí a plocha zasažená bolestí. Dotazník byl vytištěn vždy na jedné straně formátu A4 pro první, druhou¹ a třetí² největší neuropatickou bolest. Výsledky ISCIPBDS byly poté vloženy do statistického programu R.

Vyšetřování somatosenzorických a motorických evokovaných potenciálů probíhalo paralelně v Kineziologické laboratoři FTVS UK. Měření evokovaných potenciálů probíhalo pod vedením neurologa MUDr. Davida Pánka, Ph.D., který prováděl jak samotná vyšetřování, tak následné vyhodnocování výsledků. Technickou podporu výzkumu poskytoval neurolog MUDr. Pavel Čelakovský, jenž se staral o optimální nastavení měřících přístrojů. Zkoumaným parametrem SEP a MEP byla stanovena amplituda a latence obou komponent. Doba vyšetření se individuálně mírně lišila, v průměru trvalo změření jednoho druhu evokovaných potenciálů 15 minut. Mezi vyšetřováním SEP a MEP byla vždy přibližně 10minutová pauza (celková časová náročnost vyšetření obou evokovaných potenciálů byla tedy cca 40 minut).

6.9 Analýza dat

Výsledky dotazníkového šetření z vstupního a výstupního měření byly zpracovány ve statistickém programu R za použití párového t-testu. Mezní hladina statistické významnosti byla stanovena na 0,05. Porovnáním vstupních a výstupních hodnot byla dále vypočtena střední hodnota změny, popisující průměrný rozdíl v hodnocení konkrétního projevu bolesti. Krabicové grafy byly zpracovány v programu Microsoft Office Excel 2007.

¹ v případě, že dotazovaná osoba pociťovala více než jednu neuropatickou bolest

² v případě, že dotazovaná osoba pociťovala více než dvě neuropatické bolesti

V dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS) byly za sledované parametry určeny: intenzita (celková, hluboká, povrchová) a kvalita (ostrá, pálivá, tupá, studená, citlivost kůže, svědivá). Všechny projevy bolesti byly hodnoceny zvláště pro první největší, druhou největší¹ a třetí největší² neuropatickou bolest.

V dotazníku International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set (ISCIPBDS) byla sledována plocha zasažená neuropatickými bolestmi. Zasažená plocha byla hodnocena zvláště pro první největší, druhou největší¹ a třetí největší² neuropatickou bolest.

Druhá část experimentální práce, věnovaná měření somatosenzorických a motorických evokovaných potenciálů, byla zpracována v programu Synergy a uložena na disk počítače. Získané výsledky byly hodnoceny MUDr. Davidem Pánkem, Ph.D.

Za sledované parametry somatosenzorických evokovaných potenciálů byly určeny latence a amplituda periferní odpovědi (fossa poplitea) a centrální odpovědi (primární somatosenzorická area). V případě, že stimulace elektrickým proudem o intenzitě 30 mA nevedla k vyvolání ani jedné z těchto odpovědí, byly somatosenzorické evokované potenciály hodnoceny jako nevýbavné.

Za sledované parametry motorických evokovaných potenciálů byly určeny latence a amplituda periferní odpovědi. Pokud stimulace 100% pulzní změnou nevedla k vyvolání periferní odpovědi, byly motorické evokované potenciály hodnoceny jako nevýbavné.

¹ v případě, že dotazovaná osoba pocítovala více než jednu neuropatickou bolest

² v případě, že dotazovaná osoba pocítovala více než dvě neuropatické bolesti

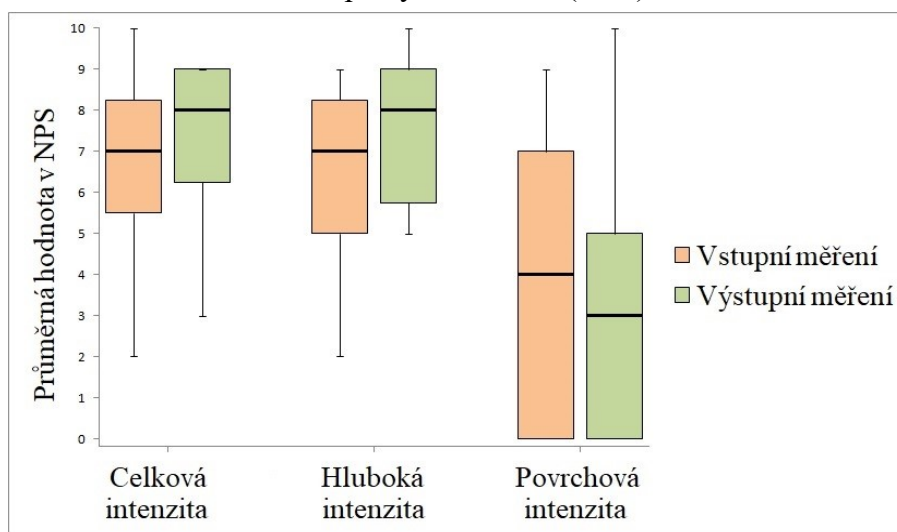
7 VÝSLEDKY

Dotazníkovým šetřením byl sledován rozdíl mezi vstupním a výstupním vnímáním 11 subjektivně prožívaných nepříjemných projevů neuropatických bolestí. Všechny projevy bolesti byly hodnoceny zvlášť pro první největší, druhou největší¹ a třetí největší² neuropatickou bolest.

Tab. 3: Intenzita první největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS)

Intenzita první největší neuropatické bolesti	Hladina statistické významnosti	Střední hodnota změny v dotazníku NPS
Celková intenzita	0,28	+ 0,5
Hluboká intenzita	0,27	+ 1,3
Povrchová intenzita	0,61	- 0,6

Graf 1: Intenzita první největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS)



Tab. 3 a krabicový graf číslo 1 (Graf 1) ukazují změnu intenzity první největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS) pro celkovou, hlubokou a povrchovou intenzitu bolesti. Nízké hladiny statistické významnosti ($p \geq 0,27$) znamenají, že nedošlo ke statisticky významným změnám intenzity první největší neuropatické bolesti.

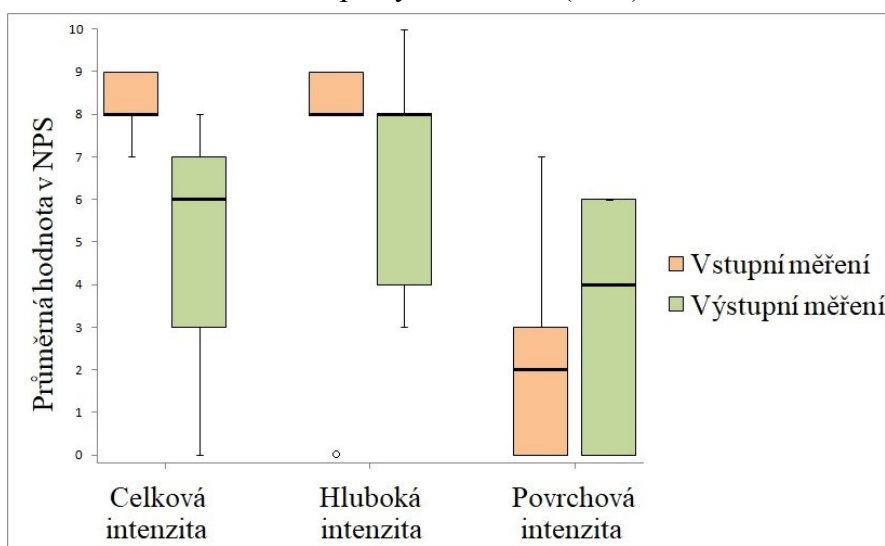
¹ v případě, že dotazovaná osoba pociťovala více než jednu neuropatickou bolest

² v případě, že dotazovaná osoba pociťovala více než dvě neuropatické bolesti

Tab. 4: Intenzita druhé největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS)

Intenzita druhé největší neuropatické bolesti	Hladina statistické významnosti	Střední hodnota změny v dotazníku NPS
Celková intenzita	0,10	- 3,4
Hluboká intenzita	0,94	- 0,2
Povrchová intenzita	0,40	+ 0,8

Graf 2: Intenzita druhé největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS)

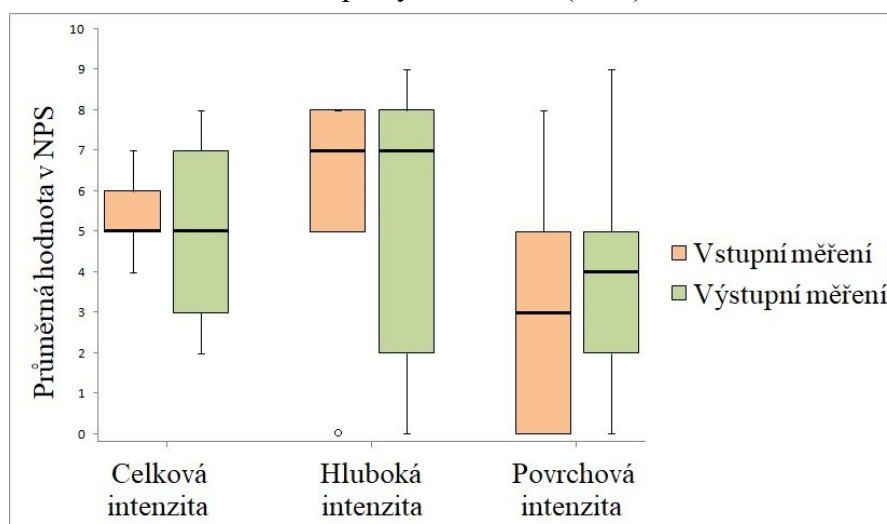


Tab. 4 a krabicový graf číslo 2 (Graf 2) ukazují změnu intenzity druhé největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS) pro celkovou, hlubokou a povrchovou intenzitu bolesti. Nízké hladiny statistické významnosti ($p \geq 0,10$) znamenají, že nedošlo ke statisticky významným změnám intenzity druhé největší neuropatické bolesti.

Tab. 5: Intenzita třetí největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS)

Intenzita třetí největší neuropatické bolesti	Hladina statistické významnosti	Střední hodnota změny v dotazníku NPS
Celková intenzita	0,76	- 0,4
Hluboká intenzita	0,88	- 0,4
Povrchová intenzita	0,24	+ 0,8

Graf 3: Intenzita třetí největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS)

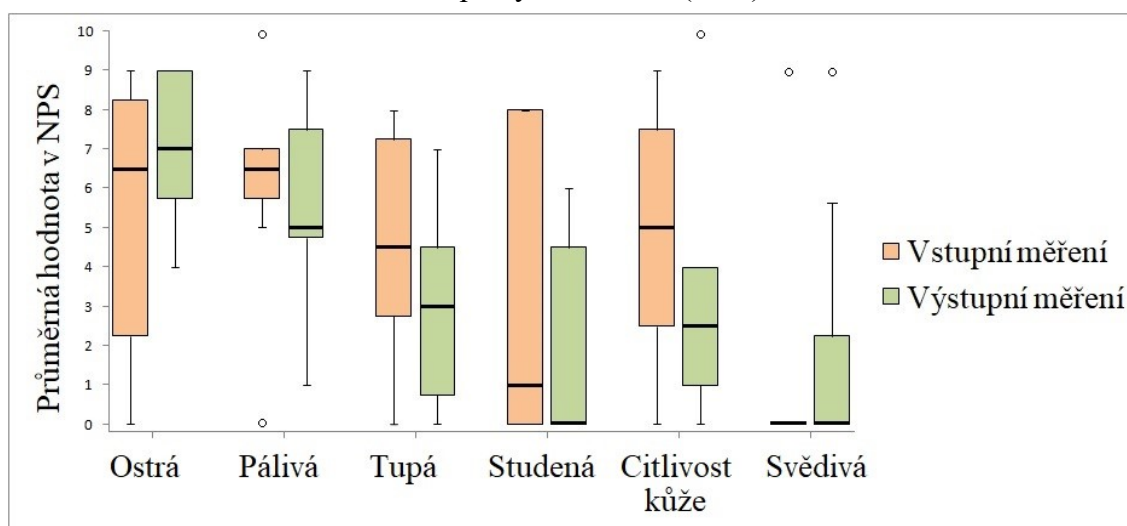


Tab. 5 a krabicový graf číslo 3 (Graf 3) ukazují změnu intenzity třetí největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS) pro celkovou, hlubokou a povrchovou intenzitu bolesti. Nízké hladiny statistické významnosti ($p \geq 0,24$) znamenají, že nedošlo ke statisticky významným změnám intenzity třetí největší neuropatické bolesti.

Tab. 6: Kvalita první největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS)

Kvalita první největší neuropatické bolesti	Hladina statistické významnosti	Střední hodnota změny v dotazníku NPS
Ostrá	0,058	+ 1,8
Pálivá	0,69	- 0,4
Tupá	0,27	- 1,6
Studená	0,40	- 1,3
Citlivost kůže	0,23	- 1,8
Svědivá	0,65	+ 0,9

Graf 4: Kvalita první největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS)

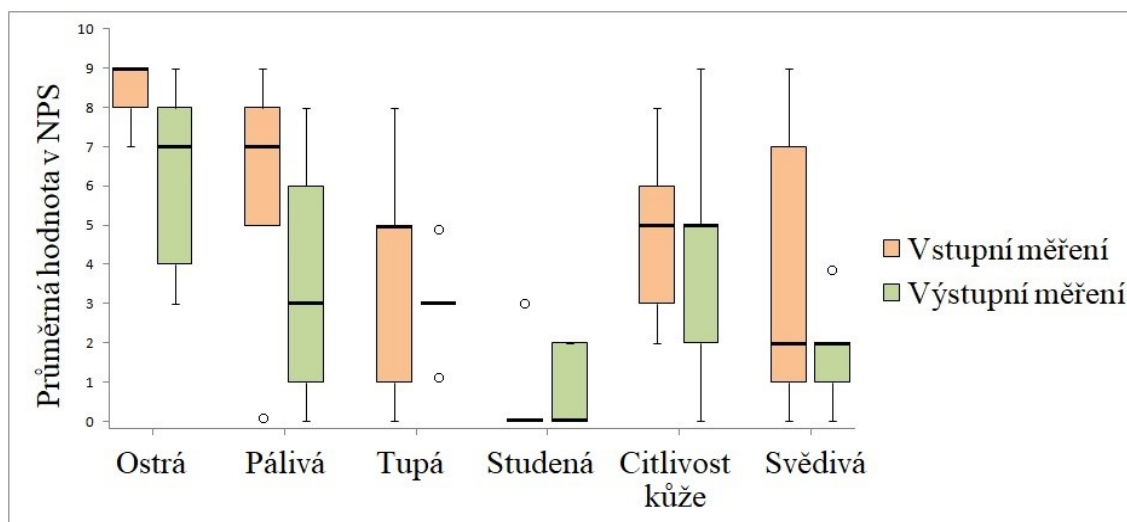


Tab. 6 a krabicový graf číslo 4 (Graf 4) ukazují změnu kvalit první největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS). Hraniční úroveň statistické významnosti ($p = 0.058$) byla zaznamenána v případě ostrosti první největší neuropatické bolesti, kdy došlo ke zvýšení ostrosti bolesti v průměru o 1,8 bodu v dotazníku NPS. Nízké hladiny statistické významnosti ($p \geq 0,23$) u ostatních sledovaných kvalit znamenají, že nedošlo ke statisticky významným změnám pálivosti, tuposti, studenosti, citlivosti kůže a svědivosti první největší neuropatické bolesti.

Tab. 7: Kvalita druhé největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS)

Kvalita druhé největší neuropatické bolesti	Hladina statistické významnosti	Střední hodnota změny v dotazníku NPS
Ostrá	0,13	- 2,2
Pálivá	0,44	- 2,2
Tupá	0,58	- 0,8
Studená	0,70	+ 0,2
Citlivost kůže	0,71	- 0,6
Svědivá	0,22	- 2,0

Graf 5: Kvalita druhé největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS)

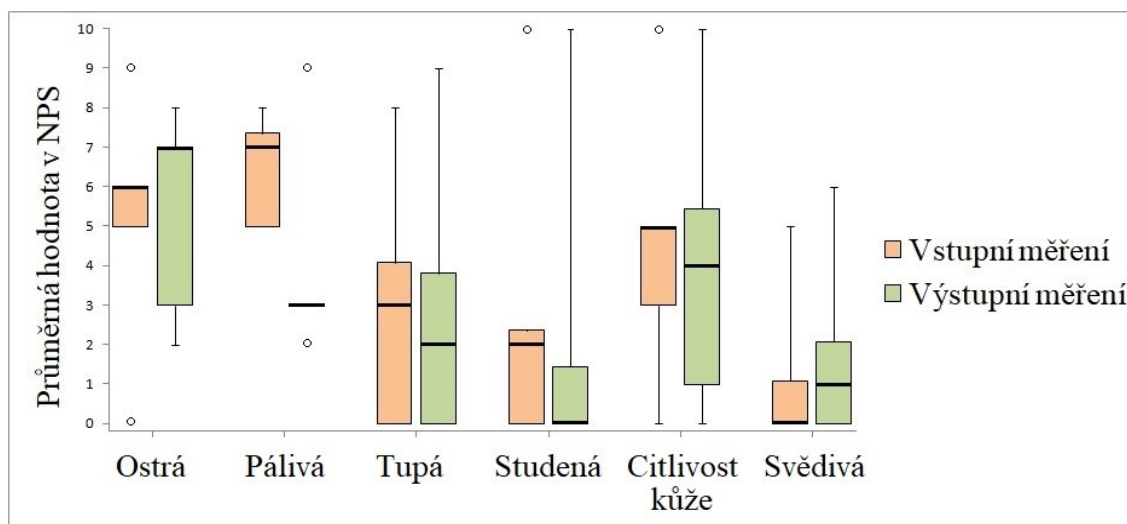


Tab. 7 a krabicový graf číslo 5 (Graf 5) ukazují změnu kvalit druhé největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS). Nízké hladiny statistické významnosti ($p \geq 0,13$) znamenají, že nedošlo ke statisticky významným změnám kvalit druhé největší neuropatické bolesti.

Tab. 8: Kvalita třetí největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS)

Kvalita třetí největší neuropatické bolesti	Hladina statistické významnosti	Střední hodnota změny v dotazníku NPS
Ostrá	0,92	+ 0,2
Pálivá	0,08	- 2,6
Tupá	0,92	+ 0,2
Studená	0,70	- 0,2
Citlivost kůže	1,00	0
Svědivá	0,57	+ 0,6

Graf 6: Kvalita třetí největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS)

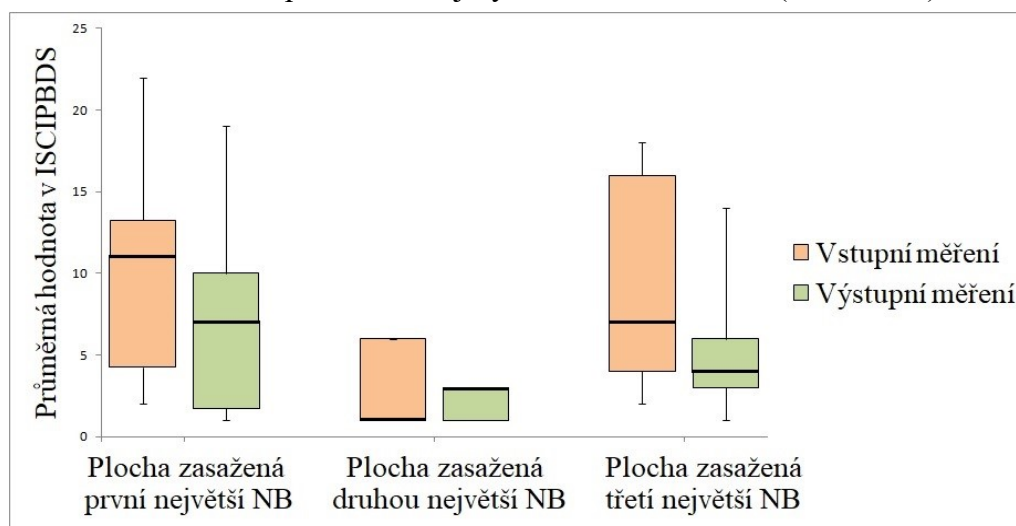


Tab. 8 a krabicový graf číslo 6 (Graf 6) ukazují změnu kvalit třetí největší neuropatické bolesti podle dotazníku Neuropathy Pain Scale (NPS). Nízké hladiny statistické významnosti ($p \geq 0,08$) znamenají, že nedošlo ke statisticky významným změnám kvalit třetí největší neuropatické bolesti.

Tab. 9: Plocha zasažená neuropatickými bolestmi podle dotazníku International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set (ISCIPBDS)

Plocha zasažená	Hladina statistické významnosti	Střední hodnota změny v dotazníku ISCIPBDS
První největší neuropatickou bolestí	0,008	- 3,1
Druhou největší neuropatickou bolestí	0,46	- 0,8
Třetí největší neuropatickou bolestí	0,30	- 3,8

Graf 7: Plocha zasažená neuropatickými bolestmi (NB) podle dotazníku International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set (ISCIPBDS)



Tab. 9 a krabicový graf číslo 7 (Graf 7) ukazují změnu plochy zasažené neuropatickými bolestmi podle dotazníku International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set (ISCIPBDS). Je přítomna vysoká hladina statistické významnosti ($p = 0,008$) prokazující snížení plochy zasažené první největší neuropatickou bolestí v průměru o 3,1 bodu podle dotazníku ISCIPBDS. V případě druhé a třetí největší neuropatické bolesti došlo ke zmenšení plochy zasažené neuropatickými bolestmi s nízkou hladinou statistické významnosti ($p \geq 0,30$).

Druhá část experimentální práce byla věnována výzkumu objektivně měřitelných změn somatosenzorického a motorického nervového systému pomocí vyšetření evokovaných potenciálů.

Tab. 10: Změny latence a amplitudy periferní a centrální odpovědi somatosenzorických evokovaných potenciálů

	Vstupní měření (periferní/centrální)	Výstupní měření (periferní/centrální)
P-1	-/-	-/-
P-2	-/-	-/-
P-3	-/-	-/-
P-4	-/-	-/-
P-5	-/-	-/-
P-6	-/-	-/-
P-7	-/-	-/-
P-8	-/-	-/-

Tab. 10 ukazuje, že se nepodařilo zjistit změny latence a amplitudy periferní (fossa poplitea) ani centrální (primární somatosenzorická area) odpovědi somatosenzorických evokovaných potenciálů. Stimulace n. tibialis posterior, prováděná u všech probandů unilaterálně na levé dolní končetině, nevedla ke změně periferní ani centrální odpovědi.

Tab. 11: Změny latence a amplitudy periferní odpovědi motorických evokovaných potenciálů

	Vstupní měření (PDK/LDK)	Výstupní měření (PDK/LDK)
P-1	-/-	-/-
P-2	-/-	-/-
P-3	-/-	-/-
P-4	-/-	-/-
P-5	+/ PDK: lat. 38 ms, ampl. 0,3 mV LDK: lat. 32,5 ms, ampl. 0,3 mV	-/-
P-6	-/-	-/-
P-7	-/-	-/-
P-8	-/-	-/-

Tab. 11 ukazuje, že se nepodařilo zjistit pozitivní změny latence a amplitudy periferní odpovědi motorických evokovaných potenciálů. Periferní odpověď se podařilo registrovat pouze u jednoho probanda ve vstupním měření s prodlouženými latencemi a sníženými amplitudami. Transkraniální magnetická stimulace, prováděná u všech probandů jak pro pravou dolní končetinu (stimulací levé hemisféry), tak pro levou dolní končetinu (stimulací pravé hemisféry), nevedla ke zvýšení výbavnosti periferní odpovědi motorických evokovaných potenciálů.

8 DISKUZE

8.1 Hypotéza č. 1

H1: Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významnému snížení subjektivně prožívaných nepříjemných projevů neuropatických bolestí hodnocených dotazníkovým šetřením ve srovnání s počátečním stavem.

Platnost tohoto tvrzení jsem ověřoval stanovením následujících podhypotéz:

8.1.1 Podhypotéza H1.1

Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významnému snížení intenzity neuropatických bolestí ve srovnání s počátečním stavem.

Statistickým vyhodnocením dotazníku Neuropathy Pain Scale nebyla zjištěna statisticky významná změna intenzity tří největších neuropatických bolestí mezi vstupním a výstupním měřením. Nízká hladina statistické významnosti ($p \geq 0,10$) byla způsobena různorodým až náhodným rozložením hodnot kolem střední hodnoty změny. Podhypotéza H1.1 proto byla vyvrácena, neboť nedošlo ke statisticky významnému snížení celkové intenzity, hluboké intenzity nebo povrchové intenzity ani u jedné ze tří největších neuropatických bolestí ve srovnání s počátečním stavem.

Tyto výsledky odpovídají pracím Özkula a kol. (2015) a Richardsona a kol. (2019), kteří zkoumali efekt virtuální reality celkem na 54 jedincích s inkompletní nebo kompletní míšní lézí. Zatímco Özkul a kol. (2015) použili k navození iluze chůze projektor s promítacím plátnem a zrcadlem, Richardson a kol. pouštěli testovaným osobám terapeutická videa zachycující „virtuální chůzi“ z pohledu první osoby. U probandů došlo k ovlivnění dílčích nepříjemných projevů specifických pro neuropatické bolesti, ale nedošlo k ovlivnění celkové, hluboké nebo povrchové intenzity neuropatické bolesti. Autoři obou studií se zároveň domnívají, že virtuální realita může mít interindividuálně různý vliv na klinický stav pacientů s míšní lézí v závislosti na přidružených onemocněních a osobnostních rysech jedince.

Pozitivní výsledky terapie virtuální realitou na intenzitu neuropatických bolestí naopak udávají Moseley (2007), Soler (2010) a Anam a kol. (2019).

K navození iluze chůze u pěti paraplegiků použil Moseley (2007) projektor s promítacím plátnem a zrcadlem, přičemž po zhlédnutí terapeutického videa si probandí imaginovali příjemnou a radostnou aktivitu. Intenzita neuropatické bolesti před a ihned po projekci byla sledována pomocí vizuální analogové škály (VAS). V průměru došlo k poklesu VAS o 42 mm (11-73 mm), pokles VAS se navíc zvýšil na 53 mm (45-61 mm) při pravidelném sledování videí po dobu 15 dní.

Stejnou aplikaci virtuální reality použili i Soler a kol. (2010), kteří navíc u části probandů doplnili terapii o transkraniální magnetickou stimulaci motorického kortexu. Při samostatném sledování VR došlo ke snížení kontinuální neuropatické bolesti (NB) průměrně o 3,5 bodu a ke snížení paroxysmální NB o 2,3 bodu na VAS. Ještě lepších výsledků dosáhli probandi, kteří souběžně s aplikací VR podstupovali i transkraniální magnetickou stimulaci. U těchto osob došlo ke snížení kontinuální NB o 2,4 bodu a ke snížení paroxysmální NB o 5,2 bodu na vizuální analogové škále.

Snížení intenzity NB pomocí virtuální reality se podařilo dosáhnout také Anamovi a kol. (2019), kteří ve své práci použili plně imerzivní virtuální prostředí s aktivním pohybem testovaných jedinců. Probandi měli na nohou připevněné senzory, pomocí kterých ovládali své imaginární nohy ve VR. U testovaného vzorku 9 paraplegiků došlo k průměrnému poklesu celkové intenzity NB o 1,9 bodu ($p = 0,01$) v dotazníku Neuropathy Pain Scale.

8.1.2 Podhypotéza H1.2

H1.2: Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významnému snížení nepříjemných kvalit pocíťovaných bolesti specifických pro neuropatické bolesti ve srovnání s počátečním stavem.

Statistickým vyhodnocením dotazníku Neuropathy Pain Scale byla zjištěna změna ostrosti první největší neuropatické bolesti na hraniční úrovni statistické významnosti ($p = 0,058$), kdy došlo ke zvýšení ostrosti bolesti v průměru o 1,8 bodu v dotazníku NPS. U ostatních sledovaných kvalit bolesti byla zaznamenána nízká hladina statistické významnosti ($p \geq 0,23$), způsobená různorodým až náhodným rozložením hodnot kolem střední hodnoty změny. Podhypotéza H1.2 proto byla

vyvrácena, neboť nedošlo ke statisticky významnému snížení ostrosti, pálivosti, tuposti, studenosti, citlivosti kůže a svědivosti neuropatických bolestí ve srovnání s počátečním stavem.

Příčina zvýšení ostrosti první největší neuropatické bolesti, i když s nízkou hladinou statistické významnosti, je nejasná. Možný důvod zhoršení subjektivně prožívaných nepříjemných projevů neuropatických bolestí v průběhu terapeutické intervence popisuje Ambler (2009). Ten uvádí, že v důsledku regenerace synaptických spojů a zapojování do té doby němých neurálních spojení může dojít ke vzniku ektopických impulzů v novotvořených výběžcích vzniklých po přerušení axonu. Vzniklá neuronální hyperexcitabilita může vysvětlovat přechodné zhoršení klinického stavu pacientů při využití terapeutických technik na neurofyziologickém podkladu.

Naší prací se nepodařilo prokázat pozitivní vliv virtuální reality na kvalitu pocíťovaných bolestí specifických pro neuropatické bolesti, jak popisují Anam a kol. (2019) a Richardson a kol. (2019).

Snížení subjektivně pocíťovaných nepříjemných projevů neuropatických bolestí se podařilo Anamovi a kol. (2019) dosáhnout pomocí plně imerzivní virtuální reality s aktivním pohybem 9 zkoumaných paraplegiků. Po 10 dnech pravidelného používání VR v domácím prostředí došlo ke snížení nepříjemných projevů neuropatických bolestí v průměru o 1,9 bodu ($p < 0,01$) v dotazníku NPS. Imerzivní VR s aktivním pohybem účastníků je dle autorů práce vhodnou technikou snižující nepříjemné projevy NB.

Pozitivní účinek virtuální reality na nepříjemné kvality neuropatických bolestí zjistili i Richardson a kol. (2019). Ti zkoumali účinek virtuální chůze na 30 osobách s inkompletní nebo kompletní míšní lézí, kteří ve virtuálních brýlích sledovali lidskou chůzi z pohledu první osoby. Největšího snížení v dotazníku Neuropathy Pain Scale bylo přitom dosaženo v hodnocení míry studenosti ($p < 0,05$) a citlivosti kůže ($p < 0,05$). Výsledky studie tak naznačují, že sledování virtuální chůze snižuje celkovou nepříjemnost vnímané neuropatické bolesti ovlivněním sensorických manifestací bolesti.

8.1.3 Podhypotéza H1.3

H1.3: Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významnému zmenšení plochy zasažené neuropatickými bolestmi ve srovnání s počátečním stavem.

Statistickým vyhodnocením dotazníku International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set (ISCIPBDS) bylo zjištěno statisticky významné ($p = 0,008$) zmenšení plochy zasažené první největší neuropatickou bolestí (vstup $10,2 \pm 6,6$; výstup $7,1 \pm 5,7$). Rovněž došlo ke zmenšení plochy druhé největší (vstup $3,0 \pm 2,4$; výstup $2,2 \pm 1,0$) a třetí největší (vstup $9,4 \pm 6,4$; výstup $5,6 \pm 4,4$) neuropatické bolesti, ovšem jen s nízkou hladinou statistické významnosti ($p \geq 0,30$). Nízká statistická významnost u druhé a třetí největší bolesti je dána jednak vysokým rozptylem hodnot, jednak nízkým počtem získaných údajů, kdy jen 5 z 8 probandů udávalo více než 1 neuropatickou bolest. Podhypotéza H1.3 proto byla potvrzena pro první největší neuropatickou bolest, ale byla vyvrácena pro druhou a třetí největší neuropatickou bolest.

Prozatím žádná jiná studie nesledovala vliv virtuální reality na plochu zasaženou neuropatickou bolestí. K tomuto účelu byl v tomto výzkumu použit dotazník ISICIPBDS obsahující hodnotící schéma, ve kterém dotazovaný zaškrťává výšku a lateralizaci bolesti. Pokud některá z možností není anatomicky možná (např. ruka může být buď pravá, nebo levá, nikoliv však střední), je příslušné políčko ztmaveno. Dotazník ISICIPBDS je přesným nástrojem k hodnocení bolesti (Jensen a kol., 2009; Widerström-Noga a kol., 2014; Stampacchia a kol., 2018) a podle výsledků naší studie je vhodnou diagnostickou metodou k hodnocení plochy zasažené neuropatickými bolestmi u inkompletních míšních lézí.

Na základě získaných výsledků předpokládám, že existuje vztah mezi sledováním virtuální reality a plochou zasaženou neuropatickými bolestmi. Ověření tohoto tvrzení by mělo být předmětem dalšího zkoumání.

8.2 Diskuze k hypotéze č. 1

H1: Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významnému snížení subjektivně prožívaných nepříjemných projevů neuropatických bolestí hodnocených dotazníkovým šetřením ve srovnání s počátečním stavem.

Hypotéza č. 1 byla potvrzena první největší neuropatickou bolest, kdy došlo ke statisticky významnému ($p = 0,008$) snížení plochy zasažené první největší neuropatickou bolestí v průměru o 3,1 bodu podle dotazníku ISCI-PBDS. Hypotéza č. 1 byla vyvrácena pro druhou největší a třetí největší neuropatickou bolest, kdy nedošlo ke statisticky významným změnám ($p \geq 0,058$) intenzity, kvality nebo plochy zasažené neuropatickými bolestmi.

Velikost terapeutického účinku při sledování virtuální reality je ovlivněna několika faktory. V případě tohoto výzkumu byla aplikace terapeutických videí záměrně prováděna v domácím prostředí, což sice snižuje časovou náročnost terapie pro pacienta, avšak klade zvýšené nároky na jeho aktivní spolupráci. Frekvence a počet zhlédnutých videí ve VR je jedním z hlavních faktorů mající vliv na celkový terapeutický efekt terapie (Moseley, 2007; Soler a kol., 2010; Anam a kol., 2019). Z toho důvodu je terapie v domácím prostředí vhodná jen pro motivované, aktivně spolupracující jedince. Tento proměnný činitel nebyl v rámci tohoto výzkumu zohledňován. Vhodnou formou ke zjištění míry motivace a osobnostních rysů je např. existencionální škála (Längle a kol., 2001). Užití tohoto testu ke zjištění na jedné straně osob způsobilých k domácí léčbě, na druhé straně jedinců vyžadujících ambulantní léčbu, by mohlo být vysokou přidanou hodnotou všech výzkumů sledujících vliv terapeutické intervence v domácím prostředí.

Dalším faktorem ovlivňujícím terapeutický efekt virtuální reality je realističnost a technické zpracování videa (Mlíka a kol., 2005). Za účelem minimalizace požadavků na technické vybavení byly v našem výzkumu použity brýle pro VR, umožňující sledování VR prostřednictvím mobilního telefonu. Výsledná kvalita obrazu, a tím i jeho věrohodnost, je tak především dána rozlišením displeje telefonu. Vzhledem ke skutečnosti, že každý proband k tomuto účelu používal vlastní mobilní telefon, realističnost obrazu se interindividuálně mírně lišila, což mohlo mít vliv na rozdílný léčebný účinek sledování VR. Počet aktivovaných zrcadlových neuronů by se pravděpodobně zvýšil, pokud by probandi měli možnost aktivního pohybu

ve virtuálním světě. Aktivní či interaktivní VR, jak toto uživatelské prostředí nazýváme, však prozatím klade vysoké nároky na vybavení i technickou zdatnost uživatele.

Vysoká variabilita výsledků může být dále způsobena jednak rozdílnou koncentrací při sledování terapeutických videí, jednak odlišnou schopností imaginace pohybu. Imaginace, tedy představení si pohybu bez jeho realizace, pravděpodobně ovlivňuje nejen rozsah aktivace zrcadlových neuronů, ale i míru vtažení do děje, a tím stupeň aktivace limbického systému. Schopnost představivosti pohybu zjišťují např. dotazníky Motor Imagery Questionnaire, Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire, The Vividness of Visual Imagery Questionnaire (Malouin a kol., 2007). Zjištění případné korelace mezi schopností imaginace a změnou klinického stavu při sledování virtuální reality by mělo být předmětem dalšího experimentu.

Účinek léčby VR by mohl dále souviset s pohlavím, výškou léze či jejím rozsahem. Ke zjištění případných korelací je však zapotřebí početnějšího výzkumného souboru, než tomu bylo v případě této studie.

8.3 Diskuze k hypotéze č. 2

H2: Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významným změnám latence a amplitudy korové odpovědi somatosenzorických evokovaných potenciálů ve srovnání s počátečním stavem.

Během tříměsíčního sledování terapeutických videí ve virtuální realitě nedošlo k měřitelným změnám latence a amplitudy korové odpovědi somatosenzorických evokovaných potenciálů, hypotéza č. 2 proto byla vyvrácena. Zároveň se ani v jednom případě nepodařilo registrovat periferní odpověď ve fossa poplitea, což svědčí pro poruchu vedení impulzů periferního nervového systému pod místem míšní léze.

Tento nálezní potvrzuje tvrzení Lina a kol. (2007), Meenta a kol. (2010) a Navarra a kol. (2013), kteří shodně hovoří o degeneraci periferních vláken pod místem míšní léze. Změny somatosenzorického nervového systému tak u míšních lézí nejsou pravděpodobně způsobeny jen přímým poškozením lemniskálního a anterolaterálního systému v úrovni míšního traumatu, ale i změnou vodivosti periferního nervového systému pod místem míšního poranění.

Berger a Blum (2007) rovněž popisují nevytěžnost vyšetření somatosenzorických evokovaných potenciálů a jejich nízkou reliabilitu pro hodnocení

vodivosti somatosenzorického nervového systému u inkompletních míšních lézí. Amplitudu SEP hodnotí jako vysoce interindividuálně variabilní, což podle nich může maskovat neurologické postižení, nebo naopak falešně prokazovat neexistující neurologickou lézi. Tuto vysokou variabilitu somatosenzorických evokovaných potenciálů u míšních lézí si Katz a kol. (1991) vysvětlují velkým počtem inhibičních a facilitačních vlivů, které mění hodnoty amplitudy a latence SEP. K vyšetření vodivosti periferního nervového systému u míšních lézí proto autoři upřednostňují vyšetření EMG a nervové kondukční studie.

8.4 Diskuze k hypotéze č. 3

H3: Předpokládám, že vlivem sledování terapeutických videí ve virtuální realitě dojde ke statisticky významným změnám latence a amplitudy periferní odpovědi motorických evokovaných potenciálů ve srovnání s počátečním stavem.

Sledováním terapeutických videí ve virtuální realitě nedošlo k měřitelným změnám latence a amplitudy periferní odpovědi motorických evokovaných potenciálů, hypotéza č. 3 proto byla vyvrácena. Periferní odpověď se podařilo registrovat pouze u jednoho probanda v úvodním měření s prodlouženými latencemi a sníženými amplitudami. Transkraniální magnetická stimulace, prováděná u všech probandů jak pro pravou dolní končetinu (stimulací levé hemisféry), tak pro levou dolní končetinu (stimulací pravé hemisféry), nevedla ke zvýšení výbavnosti periferní odpovědi motorických evokovaných potenciálů.

Nevýbavnost motorických EP, stejně jako v případě somatosenzorických EP, je dle Lina a kol. (2007), Meenta a kol. (2010) a Navarra a kol. (2013) způsobena degenerací periferních vláken pod místem míšní léze. Změny motorického nervového systému tak u míšních lézí nejsou pravděpodobně zapříčiněny jen přímým poškozením kortikospinální dráhy v úrovni míšního traumatu, ale i změnou vodivosti periferního nervového systému pod místem míšního poranění.

Výbavnost MEP při vstupním měření s jeho následnou absencí při výstupním měření u probanda č. 5 lze vysvětlit přítomností inhibičních a facilitačních vlivů (viz kapitola 3.2), jak popisují Katz a kol. (1991), Fadiga a kol. (1995) a Diehl a kol. (2006). Pokud tedy např. při vstupním měření nedokázal proband plně relaxovat m. tibialis anterior a při výstupním měření naopak ano, mohla být

výbavnost při vstupním měření způsobena užitím tohoto facilitačního mechanismu. Nelze vyloučit ani chybu v měření, mající za následek falešně nevýbavný MEP při výstupním měření, tato varianta však byla minimalizována pravidelným pokusným měřením na zdravých jedincích, kdy ve všech případech došlo k registraci fyziologického MEP a SEP (viz kapitola 3.1 a 3.2, obr. 3 a 4).

Nízkou hladinu výbavnosti MEP u míšních poranění popisují i Curt a kol. (1998), kterým se podařilo vybavit latenci a amplitudu na dolních končetinách jen u 10 % chronických inkompletních míšních lézí. Tato výbavnost však znamenala důležitý pozitivní prognostický faktor, kdy u všech svalů s počátečním výbavným MEP došlo v průběhu šestiměsíční terapie ke zvýšení svalové síly hodnocené svalovým testem. Vyšetření MEP proto může být dle autorů použito ke stanovení prognózy osob s inkompletní míšní lézí.

Vyšetření SEP a MEP není z důvodu jeho nízké výtěžnosti standardním vyšetřením u pacientů s inkompletní míšní lézí. Měření evokovaných potenciálů může mít dle Curta a kol. (1998) diagnostický prognostický potenciál, ten však v případě naší studie nebyl prokázán. Výsledky této práce nasvědčují skutečnosti, že v případě míšní léze nedochází pouze k poškození nervových drah v úrovni míšního traumatu, ale zároveň dochází k degeneraci periferních nervových vláken pod místem míšní léze. Patologická vodivost periferního nervového systému byla prokázána jednak absencí periferní odpovědi somatosenzorických evokovaných potenciálů ve fossa poplitea, jednak minimální reakcí m. tibialis anterior při vyšetření motorických evokovaných potenciálů.

9 ZÁVĚR

Komplexní fyzioterapeutická léčba má zásadní význam pro dlouhodobou kvalitu života pacientů s poškozením míchy. Kvalitní fyzioterapeutická intervence umožňuje obnovu poškozených funkcí, využití zbylého svalového potenciálu a vytvoření kompenzačních mechanismů k dosažení nejvyššího možného stupně sebeobsluhy a lokomoce. Terapie míšních lézí je dlouhodobá, často celoživotní a vyžaduje nejen vhodný výběr terapeutických metod, ale i trpělivý a motivovaný přístup nemocného.

Mezi časté přidružené komplikace míšních lézí patří vznik a rozvoj neuropatických bolestí. Jedná se o dlouhotrvající bolesti, které jen v malé míře reagují na analgoterapii. Jednou z nově zkoumaných možností k ovlivnění neuropatických bolestí je stimulace zrcadlových neuronů prostřednictvím virtuální reality. Při její aplikaci je využíváno skutečnosti, že určité oblasti mozkové kůry zodpovědné za pohyb je možné aktivovat již pouhým pozorováním pohybu samotného.

Cílem této práce bylo zjistit účinky tříměsíčního sledování virtuální reality na ovlivnění neuropatických bolestí u pacientů s inkompletní míšní lézí. Za tímto účelem byl zkoumán účinek 2D videí „virtuální chůze“ pozorované pomocí brýlí pro virtuální realitu, umožňujících sledování terapeutických videí v domácím prostředí. Ke zjištění změn klinického stavu testovaných osob bylo použito jednak dotazníkové šetření pomocí dotazníků Neuropathy Pain Scale (NPS) a International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set (ISCIPBDS), jednak vyšetření somatosenzorických a motorických evokovaných potenciálů.

Sledováním terapeutických videí došlo ke statisticky významnému ($p = 0,008$) zmenšení plochy zasažené první největší neuropatickou bolestí v průměru o 3,1 bodu dle dotazníku ISCIPBDS. Zmenšená plocha zasažená neuropatickou bolestí byla registrována i v případě druhé největší a třetí největší neuropatické bolesti, avšak jen s velmi nízkou hladinou statistické významnosti ($p \geq 0,30$). Dále nebyly zaznamenány statisticky významné změny intenzity ($p \geq 0,10$) a kvality ($p \geq 0,058$) neuropatických bolestí.

Vyšetřením evokovaných potenciálů nebyly zjištěny pozitivní změny latence a amplitudy somatosenzorických a motorických evokovaných potenciálů. Nepodařilo se tak prokázat objektivně měřitelné změny somatosenzorického nebo motorického nervového systému.

Z výsledků experimentu vyplývá, že sledováním virtuální reality došlo k pozitivnímu ovlivnění první největší neuropatické bolesti, čímž se pro testované osoby stala snesitelnější. Podařilo se tak prokázat pozitivní vliv sledování „virtuální chůze“ na vnímání neuropatických bolestí. Míra ovlivnění bolestí se v rámci výzkumné skupiny lišila a dá se předpokládat, že souvisí s interindividuálními rozdíly mezi zkoumanými osobami. Účinnost použití virtuální reality v závislosti na výšce a etiologie míšní léze, době od vzniku poranění, osobnostních rysech nebo schopnosti imaginace pohybu by měla být předmětem dalších výzkumů.

POUŽITÁ LITERATURA

1. ADAMČOVÁ, H. A KOLEKTIV AUTORŮ. *Neurologie*. 1. vyd. Praha: Triton, 2005. ISBN 978-80-7254-613-8
2. AMBLER, Z. Akutní míšní léze. *Zdravotnictví a medicína* [online]. Duben 2005, [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/akutni-misni-leze-165982>
3. AMBLER, Z. *Základy neurologie*. 6. vyd. Praha: Karolinum, 2006. ISBN 80-246-1258-5
4. AMBLER, Z. Neuropatická bolest – mechanismus, příčiny a možnosti farmakoterapie. *Via Practica*. Červen 2009, č. 6 (3). ISSN 1336-4790
5. AMBLER, Z. Neuropatická bolest – hlavní příčiny a terapie. *Zdravotnictví a medicína* [online]. Červen 2011, [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/neuropaticka-bolest-hlavni-priciny-a-terapie-460128>
6. AMERICAN CLINICAL NEUROLOGY SOCIETY. Guideline 9A: Guidelines on Evoked Potentials. *Journal of Clinical Neurophysiology*. April 2006; vol. 23 (2). ISSN 0736-0258
7. AN, C. M. PARK, Y. H. The Effects of Semi-Immersive Virtual Reality Therapy on Standing Balance and Upright Mobility Function in Individuals with Chronic Incomplete Spinal Cord Injury: A Preliminary Study. *The Journal of Spinal Cord Medicine* [online]. September 2017, vol. 41 (2), [cit. 2019-11-17]. DOI: 10.1080/10790268.2017.1369217
8. ANAM, M., SIZEMORE, K., MANSOUR, H., SEWARD, J., MITCHELL, L., SHUM, C., RICHARDSON, B., RICHARDS, J., GUSTIN, S., TROST, Z. Virtual Reality Walking for Neuropathic Pain in Spinal Cord Injury: Preliminary Efficacy Findings. *The Journal of Pain* [online]. April 2019 20 (4), [cit. 2019-11-22]. DOI:10.1016/j.jpain.2019.01.466
9. BAREŠ, M. Evokované potenciály v diagnostice roztroušené sklerózy mozkomíšní. *Neurologie pro praxi*. Praha: Solen, 2002, roč. 5. ISSN 1213-1814
10. BEDNAŘÍK, J. Škály a dotazníky u bolestivé neuropatie. *I. CS neuromuskulární kongres Brno* [online]. Květen 2008, [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <https://www.neuromuskularni-sekce.cz/res/file/archiv/ns2008/c23/SKALY-A-DOTAZNIKY-U-BOLESTIVE-NEUROPATIE.pdf>

11. BENZON, H. T. The Neuropathic Pain Scales. *Regional Anesthesia and Pain Medicine* [online]. July 2005, 30 (5), [cit. 2020-01-19]. DOI: 10.1016/j.rapm.2005.07.185
12. BERGER, J. R., BLUM, A. S. Somatosensory Evoked Potentials. *The Clinical Neurophysiology Primer* [online]. January 2007, [cit. 2020-02-16]. DOI: 10.1007/978-1-59745-271-7_27
13. CELIK, E. C., ERHAN, B., LAKSE, E. The Clinical Characteristics of Neuropathic Pain in Patients with Spinal Cord Injury. *Spinal Cord*. March 2012, vol. 50 (3). ISSN 1362-4393
14. CURT, A., KECK, M. E., DIETZ, V. Functional Outcome Following Spinal Cord Injury: Significance of Motor-Evoked Potentials and ASIA Scores. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. January 1998, vol. 79, [cit. 2020-02-16]. DOI: 10.1016/s0003-9993(98)90213-1
15. D'ANGELO, R., MORREALE, A., DONADIO, V., BORIANI, S., MARALDI, N., PLAZZI, G., LIGUORI, R. Neuropathic Pain Following Spinal Cord Injury: What We Know about Mechanisms, Assessment and Management. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. December 2013, vol. 17. ISSN 1128-3602
16. DIEHL, P., KLIESCH, U., DIETZ, V., CURT, A. Impaired Facilitation of Motor Evoked Potentials in Incomplete Spinal Cord Injury. *Journal of Neurology* [online]. January 2006, vol. 253 (1), [cit. 2019-10-27]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00415-005-0921-x>
17. DIETZ, V., HARKEMA, S. J. Locomotor Activity in Spinal Cord-Injured Persons. *Journal of Applied Physiology*. May 2004, vol. 96 (5). ISSN 8750-7587
18. DIMITRIJEVIC, M., GERASIMENKO Y., PINTER M. 1998. Evidence for Spinal Central Pattern Generator in Humans. *Annals of the New York Academy of Sciences*. November 1998; vol. 860. ISSN 1749-6632
19. DI PELLEGRINO, G., FADIGA, L., FOGASSI, L., GALLESE, V., RIZZOLATTI, G. Understanding Motor Events: A Neurophysiological Study. *Experimental Brain Research* [online]. July 1992, vol. 91, [cit. 2019-27-10]. DOI: 10.1007/bf00230027
20. EHLER, E., ŠTĚTKÁŘOVÁ, I. Diferenciální diagnostika míšních poruch. *Neurologie pro praxi*. Červen 2017, č. 18 (6). ISSN 1213-1814

21. EICK, J., RICHARDSON, E. J. Cortical Activation during Visual Illusory Walking in Persons with Spinal Cord Injury: A Pilot Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. November 2014, vol. 96 (4), [cit. 2019-12-1]. DOI: 10.1016/j.apmr.2014.10.020
22. FABBRI-DESTRO, M., RIZZOLATTI, G. Mirror Neurons and Mirror Systems in Monkeys and Humans. *Physiology* [online]. June 2008, vol. 23 (3), [cit. 2019-10-26]. DOI: <https://doi.org/10.1152/physiol.00004.2008>
23. FADIGA, L., FOGASSI, L., PAVESI, G., RIZZOLATTI G. Motor Facilitation During Action Observation: A Magnetic Stimulation Study. *Journal of Neurophysiology*. June 1995, vol. 73 (6). ISSN 0022-3077
24. FALTÝNKOVÁ, Z., KŘÍŽ, J. Léčba a rehabilitace pacientů s míšní lézí. *Česká asociace paraplegiků* [online]. Říjen 2013, [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: https://www.spinalcord.cz/_userfiles/dokumenty/publikace/lecba-a-rehabilitace-pacientu-s-misni-lezi.pdf
25. FINNERUP, N. B., NORRBRING, C., TROK, K., PIEHL, F., JOHANNESSEN, I. L., SORENSEN, J. C. A KOL. Phenotypes and Predictors of Pain Following Traumatic Spinal Cord Injury: A Prospective Study. *The Journal of Pain* [online]. January 2014, vol. 15 (1), [cit. 2019-10-12]. DOI: 10.1016/j.jpain.2013.09.008
26. GALER, B., JENSEN, M. P. Development and Preliminary Validation of a Pain Measure Specific to Neuropathic Pain. The Neuropathic Pain Scale. *Neurology* [online]. February 1997, vol. 48 (2), [cit. 2020-01-19]. DOI: 10.1212/wnl.48.2.332
27. GALLESE, V., FADIGA, L., FOGASSI, L., RIZZOLATTI, G. Action Recognition in the Premotor Cortex. *Brain* [online]. April 1996, vol. 119 (2), [cit. 2019-10-25]. DOI: 10.1093/brain/119.2.593
28. GALLESE, V., FREEDBERG, D. Mirror and Canonical Neurons are Crucial Elements in Esthetic Response. *Trends in Cognitive Sciences* [online]. October 2007, vol. 11 (10), [cit. 2019-11-2]. DOI: 10.1016/j.tics.2007.07.007
29. HAKL, M. Léčba neuropatické bolesti. *Neurologie pro praxi*. Březen 2016, č. 17 (2). ISSN 1213-1814
30. HÁKOVÁ, R., KŘÍŽ, J. Míšní šok – od patofyziologie ke klinickým projevům. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie* [online]. Duben 2015, č. 78/111 (3), [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.csmn.eu/pdf?id=52139>

31. HOLLY, L. T., DONG, Y., ALBISTEGUI-DUBOIS, R., MAREHBIAN, J., DOBKIN, B. Cortical Reorganization in Patients with Cervical Spondylotic Myelopathy. *Journal of Neurosurgery: Spine* [online]. June 2007, vol. 6 (6), [cit. 2019-11-3]. DOI: 10.3171/spi.2007.6.6.5
32. HOMAN, R. W., HERMAN, J., PURDY, P. Cerebral Location of International 10-20 System Electrode Placement. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* [online]. April 1987, vol. 66 (4), [cit. 2019-10-26]. DOI: [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(87\)90206-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(87)90206-9)
33. HYŠPERSKÁ, V. Bolesti po poranění míchy. *Magazín Paraple* [online]. Duben 2018, [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <https://www.paraple.cz/zkusenosti/telo/bolest/bolesti-po-poraneni-michy/>
34. JENSEN, M. P., FRIEDMAN, M., BONZO, D., RICHARDS, P. The Validity of the Neuropathic Pain Scale for Assessing Diabetic Neuropathic Pain in a Clinical Trial. *The Clinical Journal of Pain* [online]. January 2006, vol. 22(1), [cit. 2020-01-19]. DOI: 10.1097/01.ajp.0000173018.64741.62
35. JENSEN, M. P., WIDERSTRÖM-NOGA, E., RICHARDS, J. S., FINNERUP, N. B., BIERING-SØRENSEN, F., CARDENAS, D. D. Reliability and Validity of the International Spinal Cord Injury Basic Pain Data Set Items as Self-Report Measures. *Spinal Cord* [online]. July 2009, vol. 48 (3), [cit. 2020-01-09]. DOI: 10.1038/sc.2009.112
36. JORDAN, M., RICHARDSON, E. J. Effects of Virtual Walking Treatment on Spinal Cord Injury–Related Neuropathic Pain. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* [online]. May 2016, vol. 95 (5), [cit. 2019-11-22]. DOI:10.1097/phm.0000000000000417
37. KAISER, R. A KOL. *Chirurgie hlavových a periferních nervů s atlasem přístupů*. 3. vyd. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5808-4
38. KAŇOVSKÝ, P. Patofyziologie spasticity. *Neurologie pro praxi*. Leden 2015, č. 16 (1). ISSN 1213-1814
39. KATZ, R. T., TOLEIKIS, R. J., KNUTH, A. E. Somatosensory-Evoked and Dermatomal-Evoked Potentials Are Not Clinically Useful in the Prognostication of Acute Spinal Cord Injury. *Spine* [online]. July 1991, vol. 16 (7), [cit. 2020-02-16]. DOI: 10.1097/00007632-199107000-00007
40. KIZONY, R., RAZ, L., KATZ, N., WEINGARDEN, H., TAMAR WEISS, P. L. Video-Capture Virtual Reality System for Patients with Paraplegic Spinal

- Cord Injury. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. October 2005, vol. 42 (5). ISSN 1938-1352
41. KHURANA, M., WALIA, S., NOOHU, M. M. Study on the Effectiveness of Virtual Reality Game-Based Training on Balance and Functional Performance in Individuals with Paraplegia. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation* [online]. May 2017, vol. 23(3), [cit. 2019-11-19]. DOI: 10.1310/sci16-00003
 42. KOLÁŘ, P. A KOL. *Rehabilitace v klinické praxi*. 1. vyd. Praha: Galén, 2009. ISBN 978-80-7262-657-1
 43. KRŮŽ, J. A KOL. *Poranění míchy*. Příčiny, důsledky, organizace péče. 1. vyd. Praha: Galén, 2019. ISBN 978-80-7492-424-8
 44. KRŮŽ, J., CHVOSTOVÁ Š. Vyšetřovací a rehabilitační postupy u pacientů po míšni lézi. *Neurologie pro praxi*. Březen 2009, č. 10 (3). ISSN 1213-1814
 45. KRŮŽ, J., REICHT, M. Autonomní dysreflexie – závažná komplikace u pacientů po poranění míchy. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie* [online]. Listopad 2013, č. 77/110 (2), [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.csmn.eu/pdf?id=48186>
 46. KRŮŽ, J., HÁKOVÁ, R., HYŠPERSKÁ, V., HLINKOVÁ, Z., LUKÁŠ, R., ANDĚL, R. Mezinárodní standardy pro neurologickou klasifikaci míšního poranění – revize 2013. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie* [online]. Leden 2014, [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.csmn.eu/casopisy/ceska-slovenska-neurologie/2014-1-7/mezinarodni-standardy-pro-neurologickou-klasifikaci-misniho-poraneni-revize-2013-47214>
 47. LÄNGLE, A., ORGLER, CH., KUNDI, M. *ESK - Existenciální škála*. 1. vyd. Praha: Testcentrum, 2001.
 48. LIN, C. S., MACEFIELD, V. G., ELAM, M. A KOL. Axonal Changes in Spinal Cord Injured Patients Distal to the Site of Injury. *Brain* [online]. April 2007, vol. 4, [cit. 2020-02-22]. DOI: 10.1093/brain/awl339
 49. MALMIVUO, J., PLONSEY, R. *Bioelectromagnetism. Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields* [online]. 1. edit. Oxford: Oxford University Press, 1995, [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: www.researchgate.net/publication/321094865_Bioelectromagnetism_13_Electroencephalography
 50. MALOUIN, F., RICHARDS, C. L., DURAND, A., DOYON, J. Clinical Assessment of Motor Imagery After Stroke. *Neurorehabilitation and*

- Neural Repair* [online]. December 2007, vol. 22 (4), [cit. 2020-02-25]. DOI: 10.1177/1545968307313499
51. MEENT, H., HOSMAN, J. F., HENDRIKS, M. D. Severe Degeneration of Peripheral Motor Axons After Spinal Cord Injury: A European Multicenter Study in 345 Patients. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. May 2010, vol. 3, [cit. 2020-02-22]. DOI: 0.1177/1545968310368534
52. MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY. Věstník 06/2002 [online]. Červen 2002, [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: https://www.mzcr.cz/Legislativa/dokumenty/vestnik_3589_1777_11.html
53. MLÍKA, R., JANURA, M., MAYER, M. Virtuální realita a rehabilitace. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. Březen 2005, č. 12. ISSN 1211-2658
54. MOSELEY, L. G. Using Visual Illusion to Reduce At-Level Neuropathic Pain in Paraplegia. *Pain* [online]. January 2007, vol. 130 (3), [cit. 2019-11-17]. DOI: 10.1016/j.pain.2007.01.007
55. MURATA, Y., HIGO, N., HAYASHI, T., NISHIMURA, Y., SUGIYAMA, Y., OISHI, T., TSUKADA, H., ISA, T., ONOE, H. 2015. Temporal Plasticity Involved in Recovery from Manual Dexterity Deficit after Motor Cortex Lesion in Macaque Monkeys. *Journal of Neuroscience* [online]. January 2015, vol. 35 (1), [cit. 2019-11-3]. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1737-14.2015
56. NAVARRO, X., CASTRO, E. R. Peripheral Nerve Alterations After Spinal Cord Injury in the Adult Rat. *Spinal Cord* [online]. June 2013, vol. 51 (8), [cit. 2020-02-22]. DOI: 10.1038/sc.2013.57
57. NAVRÁTILOVÁ, L., HAVELKOVÁ, J., KATOLICKÁ, T., TEČOVÁ, D., BASTLOVÁ, P. Objektivizace efektu fyzioterapie s využitím virtuální reality na horní končetině u pacientů po cévní mozkové příhodě [online]. *Profese*. Říjen 2017, roč. 10 (2), [cit. 2019-11-4]. DOI: 10.5507/pol.2017.008
58. NEUMAN, E., SOVA, M., DUBA, M., VYBÍHAL, V., SANDECKÝ, M., FADRUS, P., SMRČKA, M. Zobrazovací metody a elektrofyziologie při chirurgické léčbě nádorů mozku. *Onkologie*. Praha: Solen, 2015, roč. 9 (5). ISSN 1802-4475
59. NUWER, M. R. Somatosensory Evoked Potentials. *Pediatric Neurology* [online]. February 1998, vol. 4 (2). DOI: 10.1016/0887-8994(88)90060-4

60. ORITA, S., YAMASHITA, T., OHTORI, S. A KOL. Prevalence and Location of Neuropathic Pain in Lumbar Spinal Disorders Analysis of 1804 Consecutive Patients With Primary Lower Back Pain. *Spine* [online]. August 2016, vol. 41 (15), [cit. 2019-11-13]. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001553
61. ÖZKUL, Ç., KILINC, M., YILDIRIM, S. A., TOPCUOGLU, E. Y., AKYÜZ, M. Effects of Visual Illusion and Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation on Neuropathic Pain in Patients with Spinal Cord Injury: A Randomised Controlled Cross-over Trial. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation* [online]. April 2015, vol. 28(4), [cit. 2019-11-13]. DOI:10.3233/bmr-140573
62. PÁNEK, D., NOVÁKOVÁ, T., BRUNOVSKÝ, M., KOŠŤÁLOVÁ, J., PAVLŮ, D. Vliv aktivního pohybu a pasivního sledování stejného pohybu na elektrickou mozkovou aktivitu. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. Praha: Česká lékařská společnost J. E. Purkyně, 2018, 25(4). ISSN 1211-2658
63. PAZOUR, J. *Doporučené postupy pro diagnostiku a léčbu neurogeních heterotopických osifikací u pacientů po poškození míchy* [online]. Praha: Svaz paraplegiků, 2005, [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: https://www.spinalcord.cz/_userfiles/dokumenty/doporucene-postupy/osifikace.pdf
64. PLECHATÁ, A. SAHULA, V., FAYETTE, D., FAJNEROVÁ, I. Age-Related Differences With Immersive and Non-immersive Virtual Reality in Memory Assessment. *Frontiers in Psychology* [online]. June 2019, vol. 10, [cit. 2019-11-13]. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.01330
65. POLÁK, A., PÁNEK, D., PAVLŮ, D. První zkušenosti s virtuální realitou v terapii míšních lézí. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. Duben 2017, roč. 24 (2). ISSN 1211-2658
66. POLLARD, C., KENNEDY, P. A Longitudinal Analysis of Emotional Impact, Coping Strategies and Post-Traumatic Psychological Growth Following Spinal Cord Injury: A 10-Year Review. *British Journal of Health Psychology* [online]. December 2010, vol. 12 (3), [cit. 2019-01-08]. DOI: 10.1348/135910707X197046
67. POSTON, B., KUKKE, S. N., PAINE, R. W., FRANCIS, S., HALLETT, M. Cortical Silent Period Duration and its Implications for Surround Inhibition of

- a Hand Muscle. *European Journal of Neuroscience* [online]. July 2012, vol. 36 (7), [cit. 2019-10-28]. DOI: www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3463678/
68. POZEG, P., PALLUEL, E., RONCHI, R. A KOL. Virtual Reality Improves Embodiment and Neuropathic Pain Caused by Spinal Cord Injury. *Neurology*. October 2017, vol. 89 (18). ISSN 0028-3878
69. RAMACHANDRAN, V. S. A. ALTSCHULER, E. L. The Use of Visual Feedback, in Particular Mirror Visual Feedback, in Restoring Brain Function. *Brain* [online]. April 2009, vol. 132 (7), [cit. 2019-12-1]. DOI:10.1093/brain/awp135
70. RICHARDSON, E. J., MCKINLEY, E. C., RAHMAN, A. K. M. F., KLEBINE, P., REDDEN, D. T., RICHARDS, J. S. Effects of Virtual Walking on Spinal Cord Injury-Related Neuropathic Pain: A Randomized, Controlled Trial. *Rehabilitation Psychology* [online]. February 2019, vol. 64 (1), [cit. 2019-11-13]. DOI: 10.1037/rep0000246
71. RIZZOLATTI, G. The Mirror Neuron System and its Function in Humans. *Anatomy and Embryology*. December 2005, vol. 210 (5). ISSN 0340-2061
72. ROG, D. J., NURMIKKO, T. J., YOUNG, C. A. Oromucosal Tetrahydrocannabinol/ Cannabidiol for Neuropathic Pain Associated with Multiple Sclerosis: An Uncontrolled, Open-Label, 2-Year Extension Trial. *Clinical Therapeutics* [online]. September 2007, vol. 29 (9), [cit. 2020-01-19]. DOI: 10.1016/j.clinthera.2007.09.013
73. RUTAR, P. Současné možnosti v léčbě neuropatické bolesti. *Praktické lékařství*. Říjen 2018, č. 14 (3). ISSN 1801-2434
74. SAK, P. *Člověk a vzdělání v informační společnosti*. 1. vyd. Praha: Portál, 2007. ISBN 978-80-7367-230-0
75. SEIDL, Z. *Neurologie pro studium i praxi*. 2. vyd. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5247-1
76. SERRADJ, N., AGGER, S. F., HOLLIS, E. R. Corticospinal Circuit Plasticity in Motor Rehabilitation from Spinal Cord Injury. *Neuroscience Letters*. June 2017, vol. 652. ISSN 1872-7972
77. SIDDALL, P. J., MCCLELLAND, J. M., RUTKOWSKI, S. B., COUSINS, M. J. A Longitudinal Study of the Prevalence and Characteristics of Pain in the First 5 Years Following Spinal Cord Injury. *Pain* [online]. November 2002, vol. 103 (3), [cit. 2019-11-15]. DOI: 10.1016/s0304-3959(02)00452-9

78. SLEZÁKOVÁ, Z. *Ošetřovatelství v neurologii*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4868-9
79. SOLER, M. D., KUMRU, H., PELAYO, R., VIDAL, J., TORMOS, J. M., FREGNI, F., NAVARRO, X., PASCUAL-LEONE, A. Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation and Visual Illusion on Neuropathic Pain in Spinal Cord Injury. *Brain* [online]. August 2010, vol. 133 (9), [cit. 2019-11-23]. DOI:10.1093/brain/awq184
80. STAMPACCHIA, G., MASSONE, A., GERINI, A., BATTINI, E., MAZZOLENI, S. Reliability of the Italian version of the International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set. *Spinal Cord* [online]. August 2018, vol. 57, [cit. 2020-01-09]. DOI: 10.1038/s41393-018-0171-2
81. STIRLING, A. M., MCBRIDE, J. M., MERRITT, R. K., NEEDLE, A. R. Nervous System Excitability and Joint Stiffness Following Short-Term Dynamic Ankle Immobilization. *Gait & Posture* [online]. February 2018, vol. 59, [cit. 2020-02-23]. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.09.028
82. ŠÁMAL, F., OUZKÝ, M., HANINEC, P. Míšní léze z pohledu neurochirurga. *Neurologie pro praxi*. Červen 2017, roč. 18 (6). ISSN 1213-1814
83. ŠTĚTKÁŘOVÁ, I. Neurofyziologické metody v diagnostice míšních lézí. *Neurologie pro praxi*. Červen 2017, roč. 18 (6). ISSN 1213-1814
84. TEIXEIRA, M. J., PAIVA, W. S., ASSIS, M. S. A KOL. Neuropathic Pain in Patients with Spinal Cord Injury: Report of 213 Patients. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* [online]. April 2013, [cit. 2019-11-13]. DOI: doi.org/10.1590/0004-282X20130103
85. THOMAS, S. L., GORASSINI, M. A. Increases in Corticospinal Tract Function by Treadmill Training after Incomplete Spinal Cord Injury. *Journal of Neurophysiology* [online]. October 2005, vol. 94 (4), [cit. 2019-11-3]. DOI: <https://doi.org/10.1152/jn.00532.2005>
86. TREEDE, R. D., JENSEN, T. S., CAMPBELL, J. N., CRUCCU, G., DOSTROVKY, J. O., GRIFFIN, J. W., HANSSON, P., HUGHES, R., NURMIKKO, T., SERRA, J. Neuropathic Pain Redefinition and a Grading System for Clinical and Research Purposes. *Neurology* [online]. April 2008, vol. 70 (18), [cit. 2019-11-8]. DOI:10.1212/01.wnl.0000282763.29778.59

87. VIERCK, CH. Mechanisms of Below-Level Pain Following Spinal Cord Injury (SCI). *Journal of Pain* [online]. August 2019, [cit. 2019-11-13]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2019.08.007>
88. VILLIGER, M., BOHLI, D., KIPER, D., PYK, P., SPILL, J., MEILICK, B., ENG, K. Virtual Reality–Augmented Neurorehabilitation Improves Motor Function and Reduces Neuropathic Pain in Patients With Incomplete Spinal Cord Injury. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. August 2013, vol. 27(8), [cit. 2019-11-13]. DOI:10.1177/1545968313490999
89. VREHABILITATION. Zážitková 2D videa virtuální reality. ©2018 [online]. [cit. 2019-11-4]. Dostupné z: <https://www.vrehabilitation.com/>
90. WEISS, P., KIZONY, R., FEINTUCH, U., KATZ, N. Virtual Reality in Neurorehabilitation. *Cambridge University Press* [online]. January 2006, vol. 13 (2), [cit. 2019-11-4]. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511545078.015>
91. WENDSCHE, P., KŘÍŽ, J. *Doporučené postupy - péče v akutní fázi po poškození míchy* [online]. © 2005 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: http://www.spinalcord.cz/_userfiles/dokumenty/doporucene-postupy/akutni_pece.pdf
92. WENDSCHE, P., a kol. *Poranění míchy - ucelená ošetrovatelsko-rehabilitační péče*. 2.vyd. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2009. ISBN 987-80-7013-504-4
93. WIDERSTRÖM-NOGA, E., BIERING-SORENSEN, F., BRYCE, T. N., CARDENAS, D. D., FINNERUP, N. B., JENSEN, M. P., RICHARDS, J. S., SIDDALL, P. J. The International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set. *Spinal Cord* [online]. June 2008, vol. 46, [cit. 2020-01-09]. DOI: 10.1038/sc.2008.64
94. WIDERSTRÖM-NOGA, E., BIERING-SORENSEN, F., BRYCE, T. N., CARDENAS, D. D., FINNERUP, N. B., JENSEN, M. P., RICHARDS, J. S., SIDDALL, P. J. The International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set (Version 2.0). *Spinal Cord* [online]. January 2014, vol. 52, [cit. 2020-01-09]. DOI: 10.1038/sc.2014.4
95. WILSON, S. A., LOCKWOOD, R. J., THICKBROOM, G. W., MASTAGLIA, F. L. The Muscle Silent Period Following Transcranial Magnetic Cortical Stimulation. *Journal of Neurological Sciences* [online]. February 1993, vol. 114 (2), [cit. 2019-10-28]. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-510X\(93\)90301-E](https://doi.org/10.1016/0022-510X(93)90301-E)

PŘÍLOHY

Seznam příloh

Příloha č. 1: Vyjádření Etické komise Centra Paraple, o.p.s

Příloha č. 2: Vyjádření Etické komise FTVS UK

Příloha č. 3: Vzor informovaného souhlasu

Příloha č. 4: Seznam obrázků

Příloha č. 5: Seznam tabulek

Příloha č. 6: Seznam grafů

Příloha č. 7: International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set

Příloha č. 8: Neuropathy Pain Scale

Příloha č. 9: Fotodokumentace z vyšetření somatosenzorických evokovaných potenciálů

Příloha č. 10: Fotodokumentace z vyšetření motorických evokovaných potenciálů

Příloha č. 11: Brýle pro virtuální realitu VR BOX VR-X2

Příloha č. 12: Ukázkové snímky z terapeutických videí

Příloha č. 1: Vyjádření Etické komise Centra Paraple, o.p.s.

Žádost o vyjádření Etické komise Centra Paraple, o.p.s.

k projektu vědecké, výzkumné či obdobné práce zahrnující lidské účastníky

Název projektu: Vliv sledování chůze ve virtuální realitě na klinický stav u míšních lézí

Forma projektu: výzkumný projekt

Období realizace: únor 2019 až červen 2021

Předkladatel: Mgr. Hana Melicharová, MUDr. David Pánek, Ph.D.

Odpovědný pracovník: Mgr. Lenka Honzátková

Místo výzkumu (pracoviště): Centrum Paraple, o.p.s., katedra fyzioterapie FTVS UK

Popis projektu: Experimentální výzkum s názvem „Vliv sledování chůze ve virtuální realitě na klinický stav u míšních lézí“ je snaha o navázání na předchozí práce jiných autorů z oblasti zrcadlových neuronů a především také pokus o aplikaci teoretických poznatků v podobě rehabilitační metody. Pomocí působení krátkého videa natočeného z pohledu první osoby aplikovaného na pacienty prostřednictvím headsetu pro virtuální realitu ve spojení se standardní rehabilitační péčí se pokusíme facilitovat regenerační a reinervační procesy u pacientů s motorickým nebo senzitivním deficitem na dolních končetinách. Výzkum bude probíhat ve spolupráci s Centrem Paraple, o.p.s. na jejich klientech s danou diagnózou v období od února 2019 do června 2021, kdy bude klientům 2 – 5 krát denně po dobu jednoho roku terapeutické video přehráváno, přičemž tento výzkum nijak nenaruší standardní rehabilitační program. Klienti budou poučeni o všech souvislostech a rizicích s výzkumem spojených a podepíší informovaný souhlas. Z klientů bude utvořena výzkumná skupina o alespoň 15 probandech. Jako měřicí nástroj bude použito měření EEG (nativní, při sledování videa a při imaginaci chůze), magnetické evokované potenciály (MEP), somatosenzorické evokované potenciály (SEP), modifikované ASIA skóre, modifikovaný dotazník kvality života, dotazník neuropatické bolesti, existenciální dotazník a Lüscherův test. Všechna vyšetření budou provedena před začátkem výzkumu, po 3, 6 a 12 měsících sledování videí.

Charakteristika účastníků výzkumu: Předpokládaný počet účastníků je alespoň 15 v jedné výzkumné skupině. Věk účastníků není relevantní kritérium pro zařazení do výzkumu. Účastníci by měli spadat do kategorie AIS A až AIS D dle hodnotící škály ASIA v chronickém stádiu (alespoň 2 roky od vzniku léze). Mezi kontraindikace výzkumu můžeme počítat epilepsii, závažná onemocnění vestibulárního aparátu, migrenózní vertigo, tranzientní ischemické ataky apod. Účastníci budou do výzkumu zařazení po schválení lékaře a vedoucího fyzioterapeuta Centra Paraple, o.p.s.

Zajištění bezpečnosti: Jedná se o výzkum neinvazivními metodami a bezpečnost osob v průběhu výzkumu bude zajišťovat odborný personál daného pracoviště a hlavní řešitel práce. Rizika prováděného testování nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u tohoto typu testování.

Etické aspekty výzkumu: Výzkum bude probíhat pouze ve spolupráci se zletilými jedinci nepatřícími do skupin vulnerabilních jedinců, dětí, těhotných a kojících žen, duševně nemocných, vězňů a jedinců z málo rozvinutých komunit. Naměřená data budou anonymizována. (pacienti budou v práci označeni číslem) a výsledky práce budou zveřejněny pouze pro studijní účely v rámci disertační práce, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS. Po anonymizaci budou osobní data smazána. Během výzkumu nebudou pořizovány žádné fotografie ani videozáznam. V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

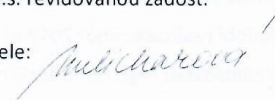
Text informovaného souhlasu: příložen

Povinnosti všech účastníků výzkumu na straně řešitele je chránit život, zdraví, důstojnost, integritu, právo na sebeurčení, soukromí a osobní data zkoumaných subjektů, a podniknout k tomu veškerá preventivní opatření. Odpovědnost za ochranu zkoumaných subjektů leží vždy na účastnících výzkumu na straně řešitele, nikdy na zkoumaných, byť dali svůj souhlas k účasti na výzkumu. Všichni účastníci výzkumu na straně řešitele musí brát v potaz etické, právní a regulační normy a standardy výzkumu na lidských subjektech, které platí v České republice, stejně jako ty, jež platí mezinárodně.

Potvrzuji, že tento popis projektu odpovídá návrhu realizace projektu a že při jakékoli změně projektu, zejména použitých metod, zašlu Etické komisi Centra Paraple, o.p.s. revidovanou žádost.

V Praze dne: 21. 7. 2019

Podpis předkladatele:





Zápis z jednání Etické komise Centra Paraple, o.p.s.

- datum jednání:

23. 1. 2019

- místo jednání:

Centrum Paraple, Ovčáráská 471/1b, 108 00 Praha

- seznam přítomných členů:

Mgr. Lenka Honzátková, DiS., Bc. Iva Hradilová, Mgr. Tomáš Drábek, Mgr. et Bc. Hana Melicharová, Bc. Ivana Kučerová, Bc. Tereza Vybíralová

- název projektu a jméno předkladatele:

Vliv sledování chůze ve virtuální realitě na klinický stav u míšních lézí – Mgr. et Bc. Hana Melicharová

- záznam stanoviska včetně způsobu, jakým bylo stanovisko přijato:

jednomyslný souhlas

- záznam o oznámení možnosti střetu zájmů:

Mgr. et Bc. Hana Melicharová se zdržela hlasování – členka komise a zároveň předkladatelka projektu

podpis předsedy komise:

Centrum Paraple, o.p.s.
Ovčáráská 471/1b
108 00 Praha 108
tel.: 274 771 478, fax: 274 001 313
IČ: 24727211, DIČ: CZ24727211

Mgr. Lenka Honzátková, DiS.



Stanovisko Etické komise Centra Paraple, o.p.s.

- datum jednání komise:

23. 1. 2019

- účast členů komise na jednání:

Mgr. Lenka Honzátková, DiS., Bc. Iva Hradilová, Mgr. Tomáš Drábek, Mgr. et Bc. Hana Melicharová, Bc. Ivana Kučerová, Bc. Tereza Vybíralová

- identifikační údaje:

Vliv sledování chůze ve virtuální realitě na klinický stav u míšních lézí – Mgr. et Bc. Hana Melicharová, Ovčáarská 471/1b, 108 00 Praha

- vyjádření komise a stanovisko:

jednomyslný souhlas

Etická komise Centra Paraple, o.p.s., zhodnotila předložený projekt a neshledala žádné rozpory s platnými zásadami, předpisy a mezinárodní směrnice pro provádění výzkumu zahrnujícího lidské účastníky. Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu Etické komise Centra Paraple, o.p.s.

Předkládaný projekt byl schválen Etickou komisí Centra Paraple, o.p.s.

V Praze dne 23. 1. 2019

Centrum Paraple, o.p.s.

Ovčáarská 471/1b

108 00 Praha 108

tel.: 274 771 478, fax: 274 001 313

IČ: 24727211, DIČ: CZ24727211

podpis předsedkyně EK CP

Příloha č. 2: Vyjádření Etické komise FTVS UK

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

Dokument č. 1 k žádosti o vyjádření Etické komise UK FTVS:

Potvrzení pracoviště o možnosti realizace výzkumného projektu z hlediska bezpečnosti účastníků projektu a o možnosti publikace názvu pracoviště

Dokument pro Etickou komisi UK FTVS

Název pracoviště/obchodní firma: Centrum Paraple, o.p.s.,

Odpovědná osoba na pracovišti/statutární zástupce: ...*Mgr. David Lukeš*.....

Funkce odpovědné osoby: ...*ředitel*.....

Svým níže uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že na výše uvedeném pracovišti lze realizovat projekt s názvem „*Vliv sledování chůze ve virtuální realitě na klinický stav u míšních lézí*“, jemuž bylo Etickou komisí UK FTVS přiděleno j. č. 023/2019 a jehož hlavním řešitelem je *Mgr. Alois Polák*, přičemž tento projekt lze na výše uvedeném pracovišti provést s adekvátním zajištěním bezpečnosti pro všechny účastníky projektu, neboť dané pracoviště bude v průběhu realizace projektu adekvátně vybaveno jak po materiální, tak po odborné stránce, a dále zajistí, aby byly dodrženy etické aspekty výzkumu během realizace výzkumu. Dále potvrzuji, že **souhlasím/nesouhlasím** (*nehodící se škrtněte*) s tím, aby byl název pracoviště/obchodní firmy zveřejněn v rámci publikování výsledků tohoto výzkumu a to i v případě, pokud by měl výsledek výzkumu negativní dopad na pověst pracoviště/obchodní firmy.

V *Praze*..., dne...*30.1.2019*.....

Podpis odpovědné osoby/statutárního orgánu na pracovišti:.....*[Podpis]*.....

Razítko:

INFORMOVANÝ SOUHLAS

Vážený pane, vážená paní,

v souladu se Všeobecnou deklarací lidských práv, zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů a dalšími obecně závaznými právními předpisy (*jakož jsou zejména Helsinská deklarace, přijatá 18. Světovým zdravotnickým shromážděním v roce 1964 ve znění pozdějších změn (Fortaleza, Brazílie, 2013); Zákon o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zejména ustanovení § 28 odst. 1 zákona č. 372/2011 Sb.) a Úmluva o lidských právech a biomedicíně č. 96/2001, jsou-li aplikovatelné*), Vás žádám o souhlas s Vaší účastí ve výzkumném projektu s názvem „Vliv sledování chůze ve virtuální realitě na klinický stav u míšních lézí“ prováděné v Centru Paraple, o.p.s. a na katedře fyzioterapie FTVS UK.

1. Cílem výzkumného projektu je zjistit možnosti facilitace neuroregeneračních a reinervačních procesů u pacientů s míšní lézí pomocí působení terapeutického videa na zrcadlové neurony v pacientově CNS při sledování videí po dobu 3, 6 a 12 měsíců.
2. Terapeutické video bude krátké, asi 5-10 minutové zaznamenání základních pohybů končetin, vertikalizace, chůze, běhu a překonávání běžných překážek z pohledu první osoby (v pravidelném, předem stanoveném rytmu). K aplikaci terapeutického videa bude využito systému pro virtuální realitu (head mounted display) skládajícího se z boxu pro uchycení mobilního telefonu před obličej člověka, mobilního telefonu a sluchátek. Jako měřicí nástroj ke zjištění změny klinického stavu bude použito měření EEG (nativní, při sledování videa a při imaginaci chůze), magnetické evokované potenciály (MEP), somatosenzorické evokované potenciály (SEP), modifikované ASIA skóre, modifikovaný dotazník kvality života, dotazník neuropatické bolesti, existenciální dotazník a Lüscherův test
3. Jedná se o plně neinvazivní metodu v podobě čistě pasivního sledování videonahrávky ve vertikalizované poloze (vsedě nebo ve stoji).
4. V rámci běžného života budete sledovat terapeutické video denně 2 – 5 krát po dobu cca. 1 roku. Každé měření klinického stavu bude v rozsahu asi 2 hodin a bude prováděno v Centru Paraple, o.p.s. a v kineziologické laboratoři FTVS UK.
5. Mezi kontraindikace výzkumu můžeme počítat epilepsii, závažná onemocnění vestibulárního aparátu, migrenózní vertigo, tranzientní ischemické ataky apod.
6. Při aplikaci videa může ojediněle docházet k bolestem očí, případně nepříjemným pocitům, včetně nevolnosti, motání hlavy a podobně. Na bezpečnost pacienta během prvních aplikací videa bude dohlížet hlavní řešitel výzkumu. Rizika prováděného testování nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u tohoto typu testování.
7. Primární přínos výzkumného projektu je zjištění možností využití moderních technologií v podpůrné léčbě míšních lézí.
8. Vaše účast v projektu je dobrovolná a nebude finančně ohodnocená.
9. Výsledky práce budou statisticky zpracovány a získaná data budou využita, uchována a publikována v anonymní podobě pro účely obhajoby disertační práce na UK FTVS, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS či v Centru Paraple, o.p.s.

10. S celkovými výsledky a závěry výzkumného projektu se můžete seznámit prostřednictvím odborného personálu Centra Paraple, o.p.s.
11. V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Jméno a příjmení předkladatele a hlavního řešitele projektu:

Mgr. Hana Melicharová Podpis:

MUDr. David Pánek, Ph.D. Podpis:

Jméno a příjmení osoby, která provedla poučení:

..... Podpis:.....

Prohlašuji a svým níže uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že dobrovolně souhlasím s účastí ve výše uvedeném projektu a že jsem měl(a) možnost si řádně a v dostatečném čase zvážit všechny relevantní informace o výzkumu, zeptat se na vše podstatné týkající se účasti ve výzkumu a že jsem dostal(a) jasné a srozumitelné odpovědi na své dotazy. Byl(a) jsem poučen(a) o právu odmítnout účast ve výzkumném projektu nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi Centra Paraple, o.p.s., která bude následně informovat předkladatele projektu. Předem děkuji za Vaši ochotu a spolupráci.

Místo: Centrum Paraple, o.p.s, datum:

Jméno a příjmení účastníka Podpis:

Příloha č. 4: Seznam obrázků

Obr. 1: Přehled senzitivní kořenové inervace (Ambler, 2005)	16
Obr. 2: Rozmístění povrchových elektrod v systému 10-20 (Malmivuo a Plonsey, 1995)....	28
Obr. 3: Somatosenzorický evokovaný potenciál (autorské foto).....	29
Obr. 4: Motorický evokovaný potenciál (autorské foto)	30
Obr. 5: Virtuální chůze dle Moseleyho - schéma (Moseley, 2007)	41
Obr. 6: Virtuální chůze dle Moseleyho - reálná ukázka (Özkul a kol., 2015).....	42
Obr. 7: Virtuální chůze a jízda na vozíku z pohledu první osoby (Richardson a kol., 2019)..	44
Obr. 8: Konflikt vizuální a taktilní aferentace s pomocí VR (Pozeg a kol., 2017)	45
Obr. 9: Cílené pohyby dolními končetinami ve VR (Villiger a kol., 2013).....	46
Obr. 10: Zapojení snímacích elektrod při vyšetření SEP (autorské foto).....	106
Obr. 11: Umístění stimulační elektrody při vyšetření SEP (autorské foto).....	106
Obr. 12: Celkový pohled na testovanou osobu při vyšetření SEP (autorské foto).....	107
Obr. 13: Zapojení snímacích elektrod při vyšetření MEP (autorské foto)	108
Obr. 14: Umístění snímacích elektrod při vyšetření MEP (autorské foto).....	108
Obr. 15: Kruhová stimulační cívka Magstim 90mm (autorské foto)	109
Obr. 16: Pohled na testovanou osobu při vyšetření MEP (autorské foto)	109
Obr. 17: Brýle pro virtuální realitu VR BOX VR-X2 (autorské foto)	110
Obr. 18: Pohled na osobu sledující virtuální realitu (autorské foto).....	110
Obr. 19: Terapeutické video „V lese“ (VRehabilitation, ©2018).....	111
Obr. 20: Terapeutické video „Video 3“ (VRehabilitation, ©2018)	111
Obr. 21: Terapeutické video „Sníh 1“ (VRehabilitation, ©2018)	112
Obr. 22: Terapeutické video „Kladruby“ (VRehabilitation, ©2018).....	112

Příloha č. 5: Seznam tabulek

Tab. 1: Klíčové svaly jednotlivých míšních segmentů (Ambler, 2005).....	16
Tab. 2: Výzkumný soubor	51
Tab. 3: Intenzita první největší neuropatické bolesti podle dotazníku NPS.....	58
Tab. 4: Intenzita druhé největší neuropatické bolesti podle dotazníku NPS	59
Tab. 5: Intenzita třetí největší neuropatické bolesti podle dotazníku NPS.....	60
Tab. 6: Kvalita první největší neuropatické bolesti podle dotazníku NPS.....	61
Tab. 7: Kvalita druhé největší neuropatické bolesti podle dotazníku NPS	62
Tab. 8: Kvalita třetí největší neuropatické bolesti podle dotazníku NPS.....	63
Tab. 9: Plocha zasažená neuropatickými bolestmi podle dotazníku ISCI-PBDS	64
Tab. 10: Změny latence a amplitudy centrální odpovědi somatosenzorických EP	65
Tab. 11: Změny latence a amplitudy periferní odpovědi motorických EP.....	66

Příloha č. 6: Seznam grafů

Graf 1: Intenzita první největší neuropatické bolesti podle dotazníku NPS.....	58
Graf 2: Intenzita druhé největší neuropatické bolesti podle dotazníku NPS	59
Graf 3: Intenzita třetí největší neuropatické bolesti podle dotazníku NPS.....	60
Graf 4: Kvalita první největší neuropatické bolesti podle dotazníku NPS.....	61
Graf 5: Kvalita druhé největší neuropatické bolesti podle dotazníku NPS	62
Graf 6: Kvalita třetí největší neuropatické bolesti podle dotazníku NPS.....	63
Graf 7: Plocha zasažená neuropatickými bolestmi podle dotazníku ISCIPBDS.....	64

Příloha č. 7: International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set

INTERNATIONAL SPINAL CORD INJURY PAIN BASIC DATA SET

DATA COLLECTION FORM – Version 2.0

Date of data collection: YYYY/MM/DD

Have you had any pain during the last seven days including today?

No Yes

If yes:

Please note that the time period during the last week applies to all pain interference questions.

In general, how much has pain interfered with your day-to-day activities in the last week?

No interference 0- 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9- 10 Extreme interference

In general, how much has pain interfered with your overall mood in the last week?

No interference 0- 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9- 10 Extreme interference

In general, how much has pain interfered with your ability to get a good night's sleep?

No interference 0- 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9- 10 Extreme interference

How many different pain problems do you have?

1; 2; 3; 4; ≥5

Please describe your three worst pain problems:

Worst pain problem:

Pain locations /sites (can be more than one, check all that apply): right (R), midline (M), or left (L)	R	M	L	Type of pain Intensity and duration of pain Treatment of pain	
Head				Type of pain (check one): Nociceptive Musculoskeletal Visceral Other Neuropathic At-level SCI Below-level SCI Other Other Unknown	
Neck/shoulders throat neck shoulder					
Arms/hands upper arm elbow forearm wrist hand/fingers					
Frontal torso/genitals chest abdomen pelvis/genitalia					
Back upper back lower back					
Buttocks/hips buttocks hip anus					
Upper leg/thigh					
Lower legs/feet knee shin calf ankle foot/toes					
					Intensity and duration of pain: Average pain intensity in the last week: 0 = no pain; 10 = pain as bad as you can imagine 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10
					Date of onset: YYYY/MM/DD
				Are you using or receiving any treatment for your pain problem? No Yes	

Zdroj: Widerström-Noga a kol., 2014

Second worst pain problem:

Pain locations /sites (can be more than one, check all that apply): right (R), midline (M), or left (L)	R	M	L	Type of pain Intensity and duration of pain Treatment of pain
Head				Type of pain (check one):
Neck/shoulders throat neck shoulder				Nociceptive Musculoskeletal Visceral Other
Arms/hands upper arm elbow forearm wrist hand/fingers				Neuropathic At-level SCI Below-level SCI Other
Frontal torso/genitals chest abdomen pelvis/genitalia				Other Unknown
Back upper back lower back				Intensity and duration of pain: Average pain intensity in the last week: 0 = no pain; 10 = pain as bad as you can imagine 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10
Buttocks/hips buttocks hip anus				
Upper leg/thigh				Date of onset: YYYY/MM/DD
Lower legs/feet knee shin calf ankle foot/toes				Are you using or receiving any treatment for your pain problem? No Yes

Third worst pain problem:

Pain locations /sites (can be more than one, check all that apply): right (R), midline (M), or left (L)	R	M	L	Type of pain Intensity and duration of pain Treatment of pain
Head				Type of pain (check one):
Neck/shoulders throat neck shoulder				Nociceptive Musculoskeletal Visceral Other
Arms/hands upper arm elbow forearm wrist hand/fingers				Neuropathic At-level SCI Below-level SCI Other
Frontal torso/genitals chest abdomen pelvis/genitalia				Other Unknown
Back upper back lower back				Intensity and duration of pain: Average pain intensity in the last week: 0 = no pain; 10 = pain as bad as you can imagine 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10
Buttocks/hips buttocks hip anus				
Upper leg/thigh				Date of onset: YYYY/MM/DD
Lower legs/feet knee shin calf ankle foot/toes				Are you using or receiving any treatment for your pain problem? No Yes

Zdroj: Widerström-Noga a kol., 2014

International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set

Cítil jste jakoukoliv bolest během posledních 7 dní včetně dnešního dne? NE ANO

Pokud ano, kolik celkem pociťujete různých bolestivých obtíží?

0; 1; 2; 3; 4; ≥5

Popište svou **největší** bolestivou obtíž:

V následujících otázkách zakroužkujte číslo na stupnici, které nejlépe popisuje Vaší **největší** bolestivou obtíž, kterou jste měl/máte během posledních 7 dní:

Jak moc tato bolest během posledního týdne ovlivnila provádění Vašich každodenních činností?

Neovlivnila 0- 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9- 10- Velmi ovlivnila

Jak moc tato bolest během posledního týdne celkově ovlivnila Vaše rozpoložení a náladu?

Neovlivnila 0- 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9- 10- Velmi ovlivnila

Jak moc tato bolest během posledního týdne ovlivnila kvalitu Vašeho spánku?

Neovlivnila 0- 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9- 10- Velmi ovlivnila

Popište svou **největší** bolestivou obtíž:

Místo / Strana bolesti (může být více než jedno/a, zakřížkujte ty oblasti, kterých se daná bolest týká): pravá (P), střed (S), levá (L)	P	S	L	Typ bolesti Intenzita a doba trvání bolesti Léčba bolesti	
Hlava				Druh bolesti (označte pouze jednu z možností)	
Krk / Ramena					Nociceptivní Muskuloskeletální Viscerální Jiná
Hrdlo					
Krk					
Rameno					
Paže / Ruce				Neuropatická Na úrovni míšního poranění Pod úrovní míšního poranění Jiná	
Nadloktí					
Loket					
Předloktí					
Zápěstí					
Ruka, prsty					
Přední trup				Jiná Neznámá	
Hrudník					
Břicho					
Pánevní / Genitálie					
Záda				Intenzita a doba trvání bolesti: Průměrná intenzita bolesti během posledního týdne: 0 - žádná bolest; 10 - nejsilnější bolest, jakou si dokážete představit 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	
Horní záda					
Dolní záda					
Hýždě / Kyčel				Datum začátku bolesti:	
Hýždě					
Kyčel					
Řitní otvor					
Vrchní část nohy / Stehno				Užíváte nebo dostáváte léčbu k tlumení Vaší bolesti? NE ANO	
Spodní část nohy					
Koleno					
Holeň					
Lýtka					
Kotník					
Noha / Prsty					

Zdroj: vlastní překlad

International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set

Popište svou druhou největší bolestivou obtíž:

V následujících otázkách zakroužkujte číslo na stupnici, které nejlépe popisuje Vaší druhou největší bolestivou obtíž, kterou jste měl/máte během posledních 7 dní:

Jak moc tato bolest během posledního týdne ovlivnila provádění Vašich každodenních činností?
Neovlivnila 0- 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9- 10- Velmi ovlivnila

Jak moc tato bolest během posledního týdne celkově ovlivnila Vaše rozpoložení a náladu?
Neovlivnila 0- 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9- 10- Velmi ovlivnila

Jak moc tato bolest během posledního týdne ovlivnila kvalitu Vašeho spánku?
Neovlivnila 0- 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9- 10- Velmi ovlivnila

Popište svou druhou největší bolestivou obtíž:

Místo / Strana bolesti (může být více než jedno/a, zakřížkujte ty oblasti, kterých se daná bolest týká): pravá (P), střed (S), levá (L)	P	S	L	Typ bolesti Intenzita a doba trvání bolesti Léčba bolesti	
Hlava				Druh bolesti (označte pouze jednu z možností)	
Krk / Ramena					Nociceptivní
Hrdlo				Muskuloskeletální	
Krk				Viscerální	
Rameno				Jiná	
Paže / Ruce				Neuropatická	
Nadloktí					Na úrovni míšního poranění
Loket					Pod úroveň míšního poranění
Předloktí					Jiná
Zápěstí					
Ruka, prsty					
Přední trup				Jiná	
Hrudník				Neznámá	
Břicho					
Pánev / Genitálie					
Záda				Intenzita a doba trvání bolesti:	
Horní záda					Průměrná intenzita bolesti během posledního týdne:
Dolní záda				0 - žádná bolest; 10 - nejsilnější bolest, jakou si dokážete představit	
Hýždě / Kyčel				0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	
Hýždě				Datum začátku bolesti:	
Kyčel					
Řitní otvor				Užíváte nebo dostáváte léčbu k tlumení Vaší bolesti? NE ANO	
Vrchní část nohy / Stehno					
Spodní část nohy					
Koleno					
Holeň					
Lýtka					
Kotník					
Noha / Prsty					

Zdroj: vlastní překlad

International Spinal Cord Injury Pain Basic Data Set

Popište svou třetí největší bolestivou obtíž:

V následujících otázkách zakroužkujte číslo na stupnici, které nejlépe popisuje Vaší třetí největší bolestivou obtíž, kterou jste měl/máte během posledních 7 dní:

Jak moc tato bolest během posledního týdne ovlivnila provádění Vašich každodenních činností?

Neovlivnila 0- 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9- 10- Velmi ovlivnila

Jak moc tato bolest během posledního týdne celkově ovlivnila Vaše rozpoložení a náladu?

Neovlivnila 0- 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9- 10- Velmi ovlivnila

Jak moc tato bolest během posledního týdne ovlivnila kvalitu Vašeho spánku?

Neovlivnila 0- 1- 2- 3- 4- 5- 6- 7- 8- 9- 10- Velmi ovlivnila

Popište svou třetí největší bolestivou obtíž:

Místo / Strana bolesti (může být více než jedno/a, zakřížkujte ty oblasti, kterých se daná bolest týká): pravá (P), střed (S), levá (L)	P	S	L	Typ bolesti Intenzita a doba trvání bolesti Léčba bolesti
Hlava				Druh bolesti (označte pouze jednu z možností)
Krk / Ramena				Nociceptivní
Hrdlo				Muskuloskeletální
Krk				Viscerální
Rameno				Jiná
Paže / Ruce				Neuropatická
Nadloktí				Na úrovni míšního poranění
Loket				Pod úrovní míšního poranění
Předloktí				Jiná
Zápěstí				
Ruka, prsty				
Přední trup				Jiná
Hrudník				
Břicho				Neznámá
Pánev / Genitálie				
Záda				Intenzita a doba trvání bolesti:
Horní záda				Průměrná intenzita bolesti během posledního týdne:
Dolní záda				0 – žádná bolest; 10 – nejsilnější bolest, jakou si dokážete představit
Hýždě / Kyčel				0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10
Hýždě				
Kyčel				
Řitní otvor				
Vrchní část nohy / Stehno				Datum začátku bolesti:
Spodní část nohy				Užíváte nebo dostáváte léčbu k tlumení Vaší bolesti?
Koleno				NE ANO
Holeň				
Lýtka				
Kotník				
Noha / Prsty				

Zdroj: vlastní překlad

Příloha č. 8: Neuropathy Pain Scale

NEUROPATHY PAIN SCALE

Instructions: There are several different aspects of pain which we are interested in measuring: pain **sharpness**, **heat/cold**, **dullness**, **intensity**, overall **unpleasantness**, and **surface vs. deep** pain.

The distinction between these aspects of pain might be clearer if you think of taste. For example, people might agree on how *sweet* a piece of pie might be (the *intensity* of the sweetness), but some might enjoy it more if it were sweeter while others might prefer it to be less sweet. Similarly, people can judge the loudness of music and agree on what is more quiet and what is louder, but disagree on how it makes them feel. Some prefer quiet music and some prefer it more loud. In short, the *intensity* of a sensation is not the same as how it makes you feel. A sound might be unpleasant and still be quiet (think of someone grating their fingernails along a chalkboard). A sound can be quiet and "dull" or loud and "dull."

Pain is the same. Many people are able to tell the difference between many aspects of their pain: for example, *how much* it hurts and *how unpleasant* or annoying it is. Although often the intensity of pain has a strong influence on how unpleasant the experience of pain is, some people are able to experience more pain than others before they feel very bad about it.

There are scales for measuring different aspects of pain. For one patient, a pain might feel extremely hot, but not at all dull, while another patient may not experience any heat, but feel like their pain is very dull. We expect you to rate very high on some of the scales below and very low on others. We want you to use the measures that follow to tell us exactly what you experience.

1. Please use the scale below to tell us how intense your pain is. Place an "X" through the number that best describes the intensity of your pain.		
No pain	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	The most intense pain sensation imaginable
2. Please use the scale below to tell us how sharp your pain feels. Words used to describe "sharp" feelings include "like a knife," "like a spike," "jabbing" or "like jolts."		
Not sharp	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	The most sharp sensation imaginable ("like a knife")
3. Please use the scale below to tell us how hot your pain feels. Words used to describe very hot pain include "burning" and "on fire."		
Not hot	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	The most hot sensation imaginable ("on fire")
4. Please use the scale below to tell us how dull your pain feels. Words used to describe very dull pain include "like a dull toothache," "dull pain," "aching" and "like a bruise."		
Not dull	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	The most dull sensation imaginable
5. Please use the scale below to tell us how cold your pain feels. Words used to describe very cold pain include "like ice" and "freezing."		
Not cold	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	The most cold sensation imaginable ("freezing")

Zdroj: Galler a Jensen, 1997

6. Please use the scale below to tell us how **sensitive** your skin is to light touch or clothing. Words used to describe sensitive skin include "like sunburned skin" and "raw skin."

Not
sen-
sitive

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

The most **sensitive**
sensation imaginable
("raw skin")

7. Please use the scale below to tell us how **itchy** your pain feels. Words used to describe itchy pain include "like poison oak" and "like a mosquito bite."

Not
itchy

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

The most **itchy**
sensation imaginable
("like poison oak")

8. Which of the following best describes the **time** quality of your pain? Please check only one answer.

() I feel a background pain all of the time and occasional flare-ups (break-through pain) some of the time.

Describe the background pain: _____

Describe the flare-up (break-through) pain: _____

() I feel a single type of pain all the time. Describe this pain: _____

() I feel a single type of pain only sometimes. Other times, I am pain free.

Describe this occasional pain: _____

9. Now that you have told us the different physical aspects of your pain, the different types of sensations, we want you to tell us overall how **unpleasant** your pain is to you. Words used to describe very unpleasant pain include "miserable" and "intolerable." Remember, pain can have a low intensity, but still feel extremely unpleasant, and some kinds of pain can have a high intensity but be very tolerable. With this scale, please tell us how **unpleasant** your pain feels.

Not
unpleas-
ant

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

The most **unpleasant**
sensation imaginable
("intolerable")

10. Lastly, we want you to give us an estimate of the severity of your **deep** versus **surface** pain. We want you to rate each location of pain separately. We realize that it can be difficult to make these estimates, and most likely it will be a "best guess," but please give us your best estimate.

HOW INTENSE IS YOUR DEEP PAIN?

No
deep
pain

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

The most **intense deep**
pain sensation
imaginable

HOW INTENSE IS YOUR SURFACE PAIN?

No
surface
pain

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

The most **intense surface**
pain sensation
imaginable

Zdroj: Galler a Jensen, 1997

Prosím, popište svou největší bolestivou obtíž:

Instrukce: Bolest může mít mnoho podob, a proto tento dotazník hodnotí několik různých aspektů bolesti: horko/chlad, tupost/ostrost, intenzitu, celkovou nepříjemnost a úroveň povrchové či naopak hluboké bolesti.

Rozlišení různých aspektů bolesti můžeme srovnat s vnímáním chuti - lidé se dokážou shodnout na tom, jak sladký je koláč („intenzita sladkosti“), ale někteří ocení koláč raději sladší, další naopak méně sladký. Stejně tak lidé dokážou rozlišit hlasitost hudby, a jestli je hudba tišší nebo hlasitější, ale neshodnou se v pocitech, které v nich různá hlasitost hudby vyvolává (někteří preferují poslech tišší hudby, jiní naopak hlasitější). Stručně řečeno, *intenzita* vjemu nemusí souhlasit s tím, jaký pocit v nás daný vjem vyvolává. Zvuk může být nepříjemný, přitom zároveň tichý (např. škrabot nehtů po tabuli). Zvuk může být tichý a tlumený, ale i hlasitý a tlumený.

Vnímání bolesti je velmi podobné. Jsme schopni rozlišit mnoho různých aspektů bolesti – např. *jak moc* nás něco zrovna bolí, nebo jak moc je pro nás bolest *nepříjemná* či *obtěžující*. Ačkoliv má často intenzita bolesti velký vliv na subjektivní vnímání úrovně nepříjemnosti dané bolesti, někteří jsou schopni snést vyšší intenzitu bolesti než jiní, aniž by ji popisovali jako obtěžující.

V následujícím dotazníku jsou stupnice k ohodnocení různých aspektů bolesti. Někdo může vnímat bolest jako pálivou, ale nikoliv tupou, jiný nemusí pociťovat žádné pocity tepla, ale vnímá bolest jako velmi tupou. Je běžné, že některé stupnice ohodnotíte velmi vysoko, jiné naopak velmi nízko. Prosíme, vyplňte dotazník tak, aby co nejvíce odpovídal Vámi vnímaným bolestivým pocitům.

1) Na stupnici níže, prosím, ohodnoťte intenzitu Vaší bolesti. Zakřížkujte hodnotu, která nejvíce odpovídá intenzitě Vámi pociťované bolesti.

Bez bolesti

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

 Nejvíce intenzivní bolest, jakou si dokážu představit

2) Na stupnici níže, prosím, ohodnoťte, jak ostrá je Vaše bolest. Slovní spojení, která jsou nejčastěji používána pro vyjádření „ostré“ bolesti jsou např. „jako nůž“, „jako jehla“, „jako bodnutí“, nebo „jako elektrický šok“.

Není ostrá

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

 Nejvíce ostrá bolest, jakou si dokážu představit („jako nůž“)

3) Na stupnici níže, prosím, ohodnoťte, jak pálivá je Vaše bolest. Slovní spojení, která jsou nejčastěji používána pro vyjádření velmi „pálivé“ bolesti jsou např. „hořící“, nebo „v jednom ohni“.

Není pálivá

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

 Nejvíce pálivý pocit, jaký si dokážu představit („jako v ohni“)

4) Na stupnici níže, prosím, ohodnoťte, jak tupá je Vaše bolest. Slovní spojení, která jsou nejčastěji používána pro vyjádření „tupé“ bolesti jsou např. „jako tupá bolest zubu“, nebo „jako otačenina“.

Není tupá

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

 Nejvíce tupá bolest, jakou si dokážu představit

5) Na stupnici níže, prosím, ohodnoťte, jak studená je Vaše bolest. Slovní spojení, která jsou nejčastěji používána pro vyjádření „studené“ bolesti jsou např. „jako led“, nebo „mrazivý pocit“.

Není studená

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

 Nejvíce studený pocit, jaký si dokážu představit („jako led“)

Zdroj: vlastní překlad

6) Na stupnici níže, prosím, ohodnoťte, jak citlivá je Vaše kůže na dotyk. Slovní spojení, která jsou nejčastěji používána pro vyjádření zvýšené citlivosti kůže, jsou např. „jako spálená kůže“, nebo „jako odřená kůže“.

Není citlivá

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Nejvíce na dotyk
citlivá kůže, jak si
dokážu představit

7) Na stupnici níže, prosím, ohodnoťte, jak svědivá je Vaše bolest. Slovní spojení, které je nejčastěji používáno pro vyjádření „svědivé“ bolesti je „jako kousnutí od komára“.

Není svědivá

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Nejvíce svědivý pocit, jaký si
dokážu představit („jako
kousnutí od komára“)

8) Které z následujících tvrzení nejlépe popisuje dobu trvání Vaší bolesti? Prosím, zaškrtněte pouze jednu z nabízených možností:

Cítím chronickou bolest přetrvávající po celý den s občasným zhoršením této bolesti (tzv. průlomová bolest, tj. přechodné vzplanutí bolesti silné intenzity při základní bolesti).

Popište charakter chronické bolesti přetrvávající po celý den: _____

Popište charakter zhoršení bolesti (průlomové bolesti): _____

Cítím jediný typ bolesti přetrvávající po celý den.

Popište tuto bolest: _____

Cítím jediný typ bolesti pouze někdy. Jindy nepocítuji žádnou bolest.

Popište tuto občasnou bolest: _____

9) Již jste popsal/a různé vlastnosti Vaší bolesti. Nyní, prosím, uveďte, jak moc je pro vás Vaše bolest nepříjemná. Slovní spojení, která jsou nejčastěji používána pro vyjádření vysoké úrovně nepříjemnosti bolesti, jsou např. „skličující“, nebo „netolerovatelná“. Mějte na paměti, že bolest může být sice slabé intenzity, ale i přesto velmi nepříjemná, naopak může být bolest vysoké intenzity, přesto tolerovatelná. Na stupnici níže ohodnoťte, jak nepříjemná je Vaše bolest.

Není nepříjemná

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Nejvíce nepříjemná bolest,
jakou si dokážu představit
(„netolerovatelná“)

10) Na závěr ohodnoťte intenzitu Vaší hluboké bolesti oproti povrchové bolesti. Ohodnoťte zvlášť hlubokou bolest (vnitřní, hůře lokalizovatelnou) a povrchovou bolest (na povrchu, lépe lokalizovatelnou). Toto hodnocení je poměrně složité, ale prosím o „nejlepší odhad“. Zakřížkujte hodnotu, která nejvíce odpovídá intenzitě Vámi pocíťované hluboké a povrchové bolesti.

Není hluboká
bolest

Jak intenzivní je Vaše hluboká bolest?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Nejvíce intenzivní hluboká bolest,
jakou si dokážu představit

Není povrchová
bolest

Jak intenzivní je Vaše povrchová bolest?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

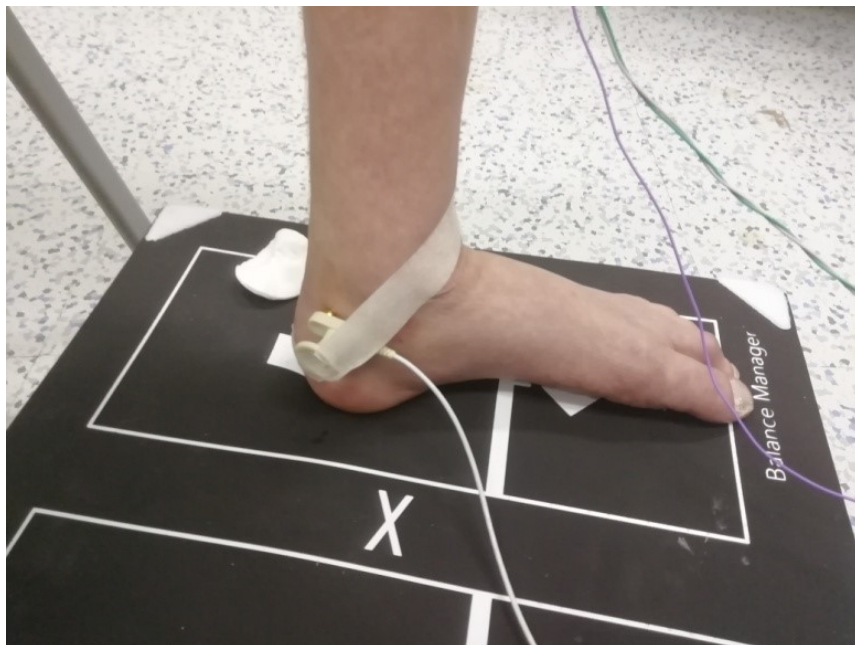
Nejvíce intenzivní povrchová
bolest, jakou si dokážu představit

Zdroj: vlastní překlad

Příloha č. 9: Fotodokumentace z vyšetření somatosenzorických evokovaných potenciálů



Obr. 10: Zapojení snímacích elektrod při vyšetření SEP (autorské foto)



Obr. 11: Umístění stimulační elektrody při vyšetření SEP (autorské foto)



Obr. 12: Celkový pohled na testovanou osobu při vyšetření SEP (autorské foto)

Příloha č. 10: Fotodokumentace z vyšetření motorických evokovaných potenciálů



Obr. 13: Zapojení snímacích elektrod při vyšetření MEP (autorské foto)



Obr. 14: Umístění snímacích elektrod při vyšetření MEP (autorské foto)



Obr. 15: Kruhová stimulační cívka Magstim 90mm (autorské foto)



Obr. 16: Pohled na testovanou osobu při vyšetření MEP (autorské foto)

Příloha č. 11: Brýle pro virtuální realitu VR BOX VR-X2



Obr. 17: Brýle pro virtuální realitu VR BOX VR-X2 (autorské foto)

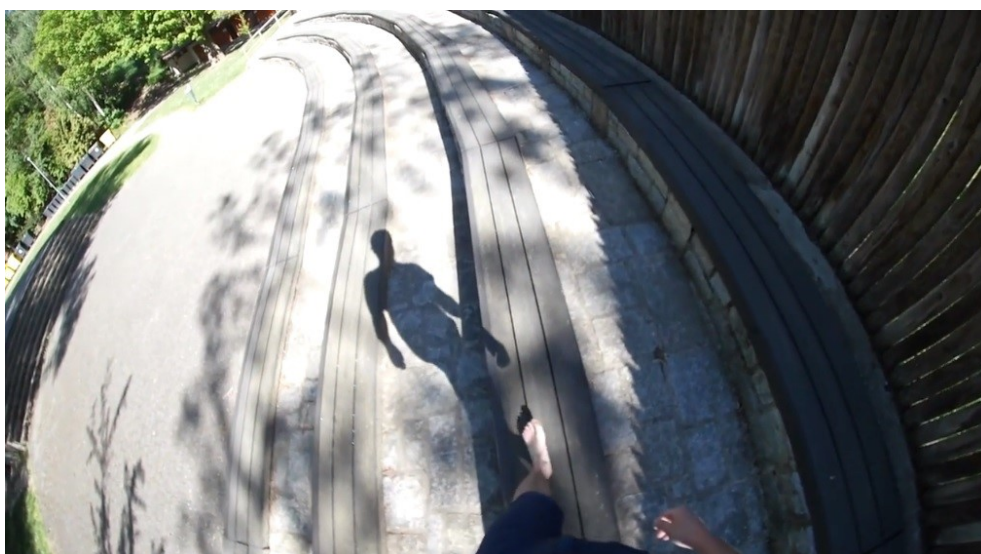


Obr. 18: Pohled na osobu sledující virtuální realitu (autorské foto)

Příloha č. 12: Ukázkové snímky z terapeutických videí



Obr. 19: Terapeutické video „V lese“ (VRehabilitation, ©2018)



Obr. 20: Terapeutické video „Video 3“ (VRehabilitation, ©2018)



Obr. 21: Terapeutické video „Sníh 1“ (VRehabilitation, ©2018)



Obr. 22: Terapeutické video „Kladruby“ (VRehabilitation, ©2018)