

České Vysoké Učení Technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra Teórie obvodov



**Zpracovanie signálov z  
akcelerometrických senzorov za  
účelom stanovenia miery tremoru  
u pacientov s roztrúsenou  
sklerózou**

**Analysis of signals from  
accelerometers and objective  
examination of the tremor for  
patients with multiple sclerosis**

BAKALÁRSKA PRÁCA

Vypracoval: Martin Bučko  
Vedúci práce: Ing. Ján Havlík, PH.D.  
Rok: 2022



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bučko** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **495654**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra teorie obvodů**  
Studijní program: **Lékařská elektronika a bioinformatika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Zpracování signálů z akcelerometrických sensorů za účelem stanovení míry tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou**

Název bakalářské práce anglicky:

**Analysis of signals from accelerometers and objective examination of the tremor for patients with multiple sclerosis**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou klasifikace třesu (tremoru) a možnostmi vyšetření tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou. Seznamte se s možnostmi využití akcelerometrických a gyroskopických sensorů pro diagnostiku této nemoci.
2. Navrhněte a implementujte algoritmy signálového zpracování umožňující stanovení míry tremoru ze signálů pořízených akcelerometrem/gyroskopem.
3. Ověřte použitelnost navržených algoritmů na reálných datech.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Marcus Koch, Jop Mostert, Dorothea Heersema, and Jacques De Keyser, "Tremor in multiple sclerosis," Journal of Neurology, vol. 254, no. 2, pp. 133–145, 2007.
- [2] S. H. Alusi, S. Glickman, T. Z. Aziz, and P. G. Bain, "Tremor in multiple sclerosis," Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry, vol. 66, no. 2, pp. 131–134, February 1999.
- [3] Paula Pascoal-Faria, Miguel Patrcio, Adriana Leal, Francisco Caramelo, Antnio Freire, Cristina Janurio, and Miguel Castelo-Branco, "Understanding tremor in rapid upper limb movements using 3D accelerometers data," Neuroscience and Medicine, vol. 5, no. 5, pp. 205–213, 2014.
- [4] Brain Barkley Graham, "Using an accelerometer sensor to measure human hand motion," Master Theses, Massachusetts Institute of Technology, May 11 2000.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jan Havlík, Ph.D. katedra teorie obvodů FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **02.02.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2023**

Ing. Jan Havlík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Radoslav Bortel, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta



### **Prehlásenie**

Prehlašujem, že som svoju bakalársku prácu vypracoval samostatne a použil som iba podklady (literatúru, projekty, SW atd.) uvedené v príloženom zozname.

V Praze dne .....

.....  
Martin Bučko

## **Podakovanie**

Ďakujem Ing. Jánovi Havlíkovej, Ph.D. za vedenie mojej bakalárskej práce a za podnetné návrhy, ktoré ju obohatily.

Martin Bučko

*Název práce:*

**Zpracovanie signálov z akcelerometrických senzorov za účelom stanovenia miery tremoru u pacientov s roztrúsenou sklerózou**

*Autor:* Martin Bučko

*Studijní program:* Lékařská elektronika a bioinformatika

*Druh práce:* Bakalárska práca

*Vedoucí práce:* Ing Ján Havlík, PH.D.

Katedra Teórie obvodov, FEL ČVUT v Praze

*Abstrakt:* Cieľom práce je spracovanie signálov z gyroskopického senzoru za účelom stanovenia miery tremoru z výsledkov klinických meraní. Merania boli vykonané u zdravých ľudí a pacientov trpiacich sklerózou multiplex. Navrhnutím vhodnej parametrizácie pre spracovanie signálov v programe MATLAB sa vo výsledkoch určuje PSD (Power Spectral Density). Vstupnými parametrami sú záznamy tremoru z merania gyroskopom na ľavej a pravej hornej končatine. Zámerom je navrhnúť klasifikátor, ktorý klasifikuje osoby medzi zdravé a trpiace sklerózou multiplex. Na klasifikáciu sú použité algoritmy K-means a bayesovské rozhodovanie. Klasifikátor bol testovaný na kontrolnej skupine 34 osôb. Skupina sa skladala z 18 osôb, u ktorých nebola a 16 osôb, u ktorých bola diagnostikovaná skleróza multiplex. Pomocou K-Means algoritmu na konkrétnej trojici parametrov (kumulatívna hodnota PSD, vyšetrenie tremoru gyroskopom vo fixnom pásme od 0 do 4, PSD v pásme 7 Hz pre ľavú aj pravú hornú končatinu) sa dosiahla klasifikačná presnosť až 82.35%. Aj napriek malej vzorke dát je z výsledkov zrejmé, že obidva algoritmy dosiahli uspokojujúce hodnoty v presnosti klasifikácie.

*Klíčová slova:* Skleróza multiplex, tremor, gyroskop, K-means, Bayes

*Title:*

**Analysis of signals from accelerometers and objective examination of the tremor for patients with multiple sclerosis**

*Author:* Martin Bučko

*Abstract:* Thesis focuses on the processing of signals from a gyroscopic sensor for the purpose of determining tremor rates from the results of clinical measurements. Measurements were performed on healthy people and patients suffering from multiple sclerosis. By designing a suitable parameterization for processing the signals in the MATLAB program, that determine the results by the PSD (Power Spectral Density). The input parameters are tremor records from gyroscope measurements on the upper left and upper right limbs. The intention is to design a classifier that classifies people as healthy and suffering multiple sclerosis. K-means and Bayesian algorithms are used for classification decision making. The classifier was evaluated on a control group of thirty-four subjects. The group consists of 18 people who were healthy and 16 people who were diagnosed with multiple sclerosis. Using the K-Means algorithm on a specific three parameters (cumulative PSD value, examination of tremor with gyroscope in fixed band from 0 to 4, PSD in 7 Hz band for left and right upper limb. We achieved classification accuracy of up to 82.35%. Despite the small sample of data, it is clear from the results that both algorithms reached satisfactory values in accuracy of classification.

*Key words:* Multiple sclerosis, tremor, gyroscope, K-means, Bayes



# Obsah

Seznam použitých zkratok	xi
Zoznam obrázkov	xii
Úvod	1
<b>1 Teoretická časť</b>	<b>3</b>
1.1 Skleróza multiplex (Roztrúsená skleróza)	3
1.1.1 Priebeh	3
1.1.2 Etiopatogenéza	4
1.2 Tremor	6
1.2.1 Delenie tremoru	7
1.2.2 Lokalizácia, veľkosť frekvencie a amplitúdy tremor	8
1.2.3 Klinické formy	9
1.2.4 Patofyziológia tremoru	9
1.2.5 Tremor u pacientov s RS	10
1.2.6 Vyšetrenie tremoru gyroskopom	10
<b>2 Použité metódy</b>	<b>13</b>
2.1 Metodika	13
2.1.1 Dizajn štúdie a výber probandov	13
2.1.2 Priebeh vyšetrenia	14
2.1.3 Anamnéza	14
2.1.4 Klinické testy funkcií hornej končatiny	15
2.1.5 Vyšetrenie tremoru pomocou gyroskopu	15
2.2 Klasifikátory	17
2.2.1 K-means algoritmus	17
2.2.2 Vzdialenosť	19
2.2.3 Bayesovská klasifikácia	20
<b>3 Klasifikácia tremoru</b>	<b>21</b>
3.1 Parametre použité pri klasifikácii	21
3.1.1 Štandardizácia dát	21
3.2 Význam špecifickosti a senzitivity testu	22
3.2.1 Špecifickosť	22
3.2.2 Senzitivita	23
3.3 Výsledky klasifikácie	23
3.3.1 K-means algoritmus	23
3.3.2 Bayesov naivný klasifikátor	29
3.4 Diskusia	33
3.4.1 K-means klasifikácia	33
3.4.2 Bayesova naivna klasifikácia	34

---

<b>Závěr</b>	<b>35</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>37</b>
<b>Přílohy</b>	<b>42</b>
A Súlhas Etickej komisie Fakultnej nemocnice Královské Vinohrady . . . . .	42
B Informovaný súhlas účastníka štúdie . . . . .	44
C Tabuľka klasifikačnej úspešnosti algoritmu K-means pre samostatné parametre s 2 vzdialenosti . . . . .	46
D Tabuľka klasifikačnej úspešnosti algoritmu K-means pre dvojice parametrov s nej- lepšou úspešnosťou klasifikácie pre dve vzdialenosti . . . . .	46
E Tabuľka klasifikačnej úspešnosti algoritmu Bayes pre dvojice parametrov s prie- mernou úspešnosťou klasifikácie zpriemerovanej na 10 pokusoch . . . . .	47

# Zoznam použitých skratiek

**SM/RS** Skleróza multiplex/ Roztrúsená skleróza

**CNS** Centrálna nervová sústava

**CRN** Test rotácie mince (rotation task)

**EBV** Epstein-Barrovej vírus

**fmax** Frekvencia maximálnej hodnoty PSD

**HK** Horná končatina

**PSD** Výkonová spektrálna hustota (Power spectral density)

**PSDkum** Kumulatívna hodnota PSD pre frekvenčné pásmo 0–4 Hz

**PSD7** Hodnota PSD pre frekvenciu 7 Hz

**PSDmax** Maximálna hodnota PSD

**VAS** Vizuální analogová škála (-Analogue Scale)

**Cityblock** Manhattenská vzdialenosť

**LO** Ľavá, otvorené oči

**RC** Pravá zatvorené oči

# Zoznam obrázkov

1.1	Zastúpenie sklerózy multiplex na svete [9] . . . . .	5
1.2	Priebeh sklerózy multiplex [12] . . . . .	6
1.3	Typy tremoru, rozdelenie . . . . .	8
2.1	Vizuálna analógová škála použitá pri vyšetrení [26] . . . . .	15
2.2	Meracie zariadenie (gyroskop/akcelerometer) použité pri meraní [27] .	15
2.3	Nefiltrovaný signál u pacienta so sklerózou multiplex . . . . .	16
2.4	Výsledok spracovania spektrogramom . . . . .	16
2.5	Výsledok PSD spektra po vyhladení . . . . .	17
3.1	Výsledky klasifikácie pre K-means dvojparametrové kombinácie samostatného parametru PSDmax Euklidova vzdialenosť . . . . .	24
3.2	Výsledky klasifikácie pre K-means dvojparametrové kombinácie samostatného parametru PSD7 Euklidova vzdialenosť . . . . .	24
3.3	Výsledky klasifikácie pre K-means dvojparametrové kombinácie samostatného parametru PSDkum Euklidova vzdialenosť . . . . .	24
3.4	Výsledky klasifikácie pre K-means dvojparametrové kombinácie samostatného parametru PSDmax Cityblock vzdialenosť . . . . .	25
3.5	Výsledky klasifikácie pre K-means dvojparametrové kombinácie samostatného parametru PSD7 cityblock vzdialenosť . . . . .	25
3.6	Výsledky klasifikácie pre K-means dvojparametrové kombinácie samostatného parametru PSDkum cityblock vzdialenosť . . . . .	25
3.7	Dáta pred klasifikáciou. Najlepšia klasifikácia cityblock . . . . .	26
3.8	Dáta po klasifikácii. Najlepšia klasifikácia cityblock . . . . .	27
3.9	Dáta pred klasifikáciou. Najlepšia klasifikácia cityblock . . . . .	27
3.10	Dáta po klasifikácii. Najlepšia klasifikácia cityblock . . . . .	28
3.11	Bayesov naivný klasifikátor priemerné hodnoty úspešnosti z 10 prebehnutí algoritmu . . . . .	34

# Úvod

Skleróza multiplex je v moderných krajinách jednou z najčastejších príčin progresívnej neurologickej invalidity. Táto choroba postihuje ako mladých mužov tak aj mladé ženy v pomere 1:3.[1] V dnešnej dobe nie je táto choroba liečiteľná. Avšak sme schopný ju pomocou správnej liečby v rannom štádiu potlačiť.

Jeden z prejavov RS sú trasúce ataky horných končatín, ktoré výrazne ovplyvňujú život pacientov. Skorá diagnostika v ranných štádiách choroby minimálneho trasu končatín umožňuje včasné nasadenie liečby. Pre meranie trasu používame akcelerometrické (merajúce zrýchlenie) alebo gyroskopické (sledovanie zmeny uhlov x, y, z) zariadenia. Existujú aj iné spôsoby vyšetrenia trasu hornej končatiny, ako napríklad deväťkolíkový test alebo test rotácie mince.

Cielom tejto práce je pomocou nameraných dát z vyšetrení trasu gyroskopom a výsledkov klinických testov navrhnúť klasifikátor, ktorý bude triedi5 pacientov do dvoch tried (zdravý, chorý). Pri dostatočných výsledkoch by náš klasifikátor mohol pomôcť pri skorej detekcii RS, ktorá je pre liečbu zásadná.



# Kapitola 1

## Teoretická časť

V nadchádzajúcej kapitole sa budeme venovať najprv opisu roztrúsenej sklerózy, naznačíme v skratke jej priebeh, etiopatogenézu a klinické príznaky. V ďalšej časti opíšeme tremor, jeho delenie, patofyziológiu, a charakteristicky tremor pacientov trpiacich roztrúsenou sklerózou. Taktiež si priblížime využitie gyroskopu pri meraní tremoru.

### 1.1 Skleróza multiplex (Roztrúsená skleróza)

RS je autoimunitné ochorenie, pri ktorom ľudský imunitný systém napadá myelín obalujúci nervové vlákna mozgu a miechy čím spôsobuje demyelinizáciu, zároveň napadá aj samotné nervové vlákna. Demyelinizácia negatívne ovplyvňuje prenos nervových vzruchov, spôsobuje spomalenie prenosu informácií a nesprávne fungovanie centrálného nervového systému (CNS) s príznakmi typickými pre RS. Dôvodom trvalej invalidity u RS je predovšetkým strata nervových vlákien.[2] Podľa štúdie vykonanej v roku 2020 sa v ČR nachádza 17485 pacientov, ktorí touto chorobou trpia.[3]

Jedným z dôvodom RS sú zápalové infiltráty obsahujúce T-lymfocyty, v ktorých dominujú CD8+ T-bunky obmedzené na MHC I. triedu. Prítomné sú aj B-lymfocyty a plazmatické bunky, aj keď v oveľa menšom počte.[4] V dôsledku zápalu dochádza k poškodeniu oligodendrocytov a demyelinizácii. Axóny sú v počiatkových štádiách ochorenia relatívne zachované. S progresiou ochorenia sa vyvíja ireverzibilné poškodenie axónov. [5] RS je v súčasnosti neliečiteľná. V rannom štádiu choroby dokážeme pomocou liečby zmierniť jej prejavy a skvalitniť pacientom život.

#### 1.1.1 Priebeh

Priebeh ochorenia je často individuálny. Väčšina pacientov (90%) má na začiatku relaps-remitentné ochorenie, po ktorom zvyčajne nasleduje sekundárne progresívny priebeh. Zvyšných 10% pacientov má od začiatku primárny progresívny priebeh. Relaps-remitujúca SM (RRMS) je charakterizovaná častou tvorbou zápalových lézií v mozgu a mieche, čo spôsobuje ataky (relapsy), ktoré môžu pretrvávajú niekoľko týždňov až mesiacov[6]. Polovica chorých pacientov má na začiatku ochorenia minimálne problémy. Vyhľadajú lekára až v okamžiku, keď nastane ťažší atak. Po

atakoch nasleduje čiastočné či úplné uzdravenie (remisie), akonáhle dôjde k obnoveniu poškodeného myelinu. Zatiaľ iba primárne štádium RS je dobre ovplyvniteľné liekmi.[2] V kludnom období, pacient nepocituje ataky a miera poškodenia sa nezhoršuje.

Druhým typom SM je už spomenutá primárne progresívna SM, pri ktorej sa pacientov stav už od prvého nálezu choroby zhoršuje aj bez prítomnosti atakov. Existuje aj tretí stav SM, ktorý je spojením prvých dvoch typov SM, takzvaný progresívne relabujúci, avšak tento typ je vzácny. V tomto prípade sa pacientov stav iba zhoršuje a zároveň zažíva aj ataky. Po atakoch sa pacientov stav dočasne zlepšuje, ale postupom ochorenia sa kvalita života len zhoršuje.[2]

### 1.1.2 Etiopatogenéza

Do dnešného dňa nie je známe, čo spôsobuje sklerózu multiplex. Všeobecne je prijatá teória o autoimunitnom zápale CNS. Ten je spúšťaný rôznymi faktormi vonkajšieho prostredia u geneticky disponovaného jedinca.

Medzi hlavné spúšťače RS patrí: Imunitný systém, Genetika, Hormonálna rovnováha a Faktory vonkajšieho prostredia (vírusy, fajčenie, vitamín D, stres, strava).

Imunitný systém: RS je považovaná za autoimunitné ochorenie, ktoré spôsobuje autoimunitný zápal. Imunitný systém útočí na molekuly vlastného tkaniva ako aj na cudzie molekuly. Dochádza k chybám imunitného systému v rozpoznávaní buniek, či už vlastného alebo cudzorodého pôvodu a abnormálnej imunitnej reakcii voči štruktúram CNS. Zatiaľ nie je objasnený presný cieľ tejto prehnanej reakcie imunitného systému. Prevláda názor, že cieľom sú práve štruktúry nazývané antigény.

Genetika: RS nie je výhradne genetickou chorobou. Toto ochorenie je polygénne. To znamená, že RS je podmienená génmi, ako aj faktormi, ktoré na tieto gény môžu pôsobiť. Ukázalo sa, že existuje viacero génov, ktoré môžu prispieť ku rozvoju RS. Gény lokalizované na 6. chromozóme a kódujúce HLA systém sa ukazujú, ako významne ovplyvňujúce predispozíciu pre RS. Avšak gény sú iba jednou časťou zložitejšieho problému.

Vírusy: Pred niekoľkými desiatkami rokov bola vyslovená myšlienka, že RS je veľmi pravdepodobne podmienená bežnou infekciou. Na základe epidemiologických a sérologických dát z infekčných pôvodcov sa ukázala silná spojitosť vírusu Epstein-Barrové (EBV) s RS, ako aj s inými autoimunitnými ochoreniami. EBV je B-lymfotropný herpetický neurotropný vírus, ktorým je nakazených 90 - 95% celej ľudskej populácie. Reaktivuje sa so zvýšeným stresom. Vírus EBV spôsobuje medzi inými aj infekčnú mononukleózu. Stále nie je známy dokázaný, ako vírus EBV napomáha vzniku RS.

Fajčenie: Je významným faktorom pre vznik choroby, ako aj pre jej rýchlejší priebeh. Podľa dnešných štúdií existujú dva dôvody, prečo fajčenie cigariet negatívne ovplyvňuje priebeh RS. Už od začiatku je RS agresívnejšia a progresuje do chronického štádia rýchlejšie. Prvý dôvod je ovplyvnenie imunitného systému. Výskum jasne poukázal na súvislosť medzi fajčením a rozvojom viacerých autoimunitných ochorení. Sekundárny predpoklad sa opiera o priamy neurotoxický efekt nikotínu,



kyanidu a ďalších toxických látok nachádzajúcich sa v tabaku. Pasívny fajčiari tiež pociťujú zhoršenie zdravotného stavu. [7]

Vitamín D: Ďalším dôležitým vonkajším rizikovým faktorom je nedostatok vitamínu D3, ktorý se spolupodieľa v imunitných reguláciách. Hypotéza o súvislosti nedostatku vitamínu D3 s rizikom rozvoja RS v určitej geografickej oblasti je podložená zvyšujúcou sa prevalenciou RS so vzdialenosťou od rovníku. Vďaka nízkej intenzite slnečného žiarenia dochádza k zníženej produkcii vitamínu D3.[8]

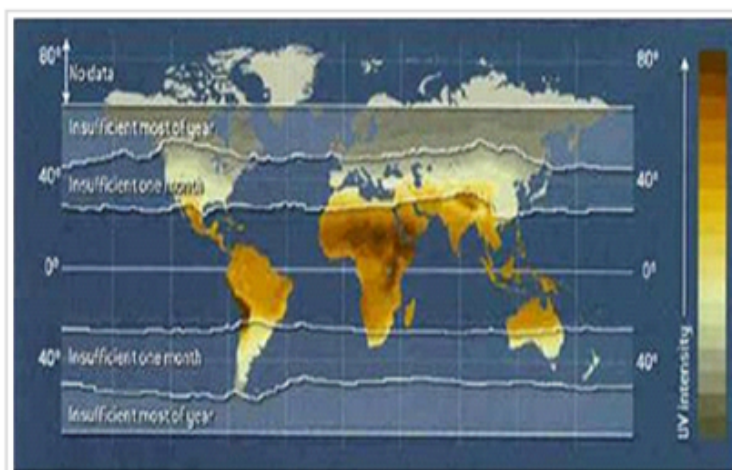
Nedostatek vit. D > 6  
měsíců/rok

Nedostatek vit. D 1-6  
měsíců/rok

Dostatek vit. D celý rok

Nedostatek vit. D 1-6  
měsíců/rok

Nedostatek vit. D > 6  
měsíců/rok



**Obř. 1.1:** Zastúpenie sklerózy multiplex na svete [9]

Najväčší výskyt RS je u indoeurópskej rasy v miernom pásme severnej pologuli, tzn. V ČR je prevalencia 80–130 osôb na 100 000 obyvateľov.[10]

Etiopatogenéza RS je v dnešnej dobe nejednoznačná. Podľa štúdií je príčina RS kombináciou genetickej predispozície a viacerých vonkajších vplyvov. Ak by sa pacient s geneticou predispozíciou vyskytoval v prostredí s viacerými vonkajšími faktormi, je vyššia pravdepodobnosť vypuknutia RS, prípadne ťažší priebeh ochorenia. Takýmto prípadom by sa dalo predísť pri skoršej diagnostike. [2, 3]

### Klinické príznaky

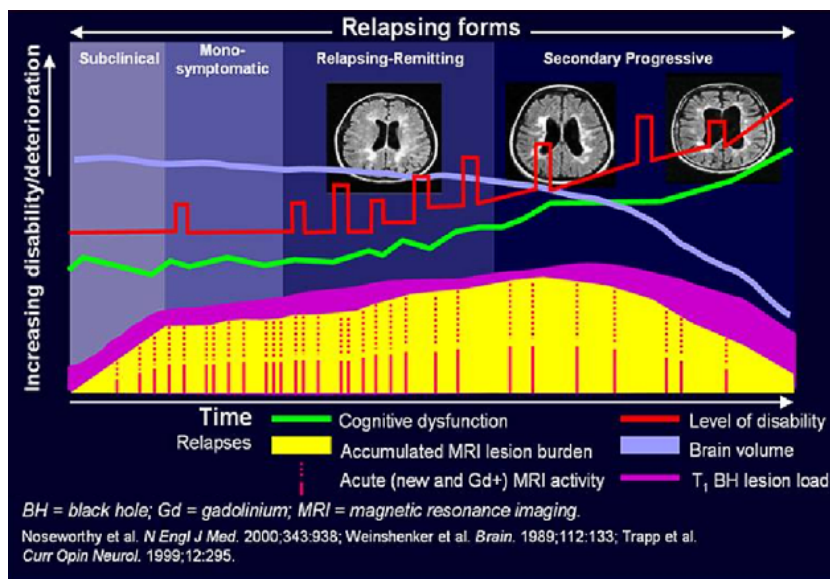
Termín skleróza multiplex pochádza z gréckeho slova skleros. Znamená to zjazvené tuhé tkanivo, ktoré sa objaví na mieste zápalu. Skleróza multiplex prechádza od ohrozenia cez asymptomatickú a symptomatickú fázu ochorenia. U osôb s podozrením na RS môžeme pozorovať buď mono- alebo poly-symptomatické príznaky v závislosti od lokalizácie lézie respektíve lézií. Medzi najčastejšie pozorovanými prejavmi sú zápal monokulárne postihnutie zraku, brnenie, pálenie, porucha citlivosti, syndrómy mozgového kmeňa a miechy, poruchy močenia, únava, depresia; existuje však množstvo iných menej bežných prejavov.

Recidívy RS sa zvyčajne vyvíjajú v priebehu hodín až dní, dosiahnu maximum trvajúce niekoľko týždňov a potom sa postupne zotavujú. V skorých štádiách RS sa

zotaví takmer do pôvodného stavu pred atakom, ale väčšina recidív za sebou zanecháva škody, ktoré sú zo začiatku nepatrné. Napríklad po akútnej optickej neuritíde sa hrubá zraková ostrosť môže obnoviť, ale zhoršenie farebného videnia, kontrastnej citlivosti a hĺbkového vnímania pretrvávajú. Ak sa kognitívna-neuronálna rezerva nervov zmenší až zmizne, zotavenie z relapsov je neúplné a dochádza k trvalej invalidity.

„Pri každom klinickom záchvate sa pri zobrazení magnetickou rezonanciou (MRI) zaznamená približne 10 „asymptomatických“ lézií. Symptomatológia vyplýva z kombinácie umiestnenia a veľkosti – malá lézia v oblasti reči spôsobí príznaky, ktoré vieme spozorovať. Makroskopické alebo MRI viditeľné lézie sú špičkou ľadovca; oveľa viac lézií je možné vidieť na mikroskopickej úrovni a ešte viac v hlbokaj a kortikálnej šedej hmote.“ [11]

Sekundárne progresívna RS sa typicky vyvinie 10–15 rokov po nástupe RRRS, s postupným vývojom nekompletného uzdravenia po každom relapse. Narastá klinické postihnutie až do invalidity. Medzi týmito dvomi štádiami neregistrujeme zreteľný prechod. Dochádza k recidívam na pozadí. „Kognitívna porucha a progresívna MRI atrofia pozorovaná v skorej SM naznačuje na, neuro-degeneráciu.“ [9, 11]



Obr. 1.2: Priebeh sklerózy multiplex [12]

## 1.2 Tremor

“Tremor je rytmické chvenie v jednej alebo viacerých častiach tela spôsobený sťahovaným svalov na danom mieste. Tremor je nedobrovoľný, čo znamená, že ho nemôžeme ovládať.“ [13] Kvôli svalovým kontrakciám dochádza k trasu tela.

Trasenie sa vyskytuje najčastejšie na rukách, ale postihuje hlavu, hlasivky, trup ako aj nohy. Môže nastať kedykoľvek, tremor môže byť konštantný alebo diskretný. Vyskytnúť sa môže samostatne alebo môže byť spôsobený inou poruchou. Tremor

sa vyskytuje aj u zdravých jedincov. Je to takzvaný fyziologický tremor.[13]

Liečba je individuálna, pričom sa berie do úvahy objektívne merateľná závažnosť tremoru, stupeň postihnutia alebo oslabenia, ktoré pacient zažíva, vrátane nepríjemností v sociálnych situáciách, ako aj preferencie pacienta medzi rôznymi možnosťami liečby.

Patologický tremor môže byť spôsobený viacerými faktormi ako sú neurologické ochorenia, toxikologický či metabolický chorobný stav alebo inou poruchou.[14]

### 1.2.1 Delenie tremoru

Vyšetrenie pacienta s tremorom začína charakterizáciou typu tremoru, ktorá zužuje diferenciálnu diagnózu a často môže stanoviť diagnózu. Tremor možno klasifikovať podľa rôznych parametrov. Najdôležitejším parametrom pre hodnotenie tremoru je , vzťah k pohybu alebo polohe postihnutej časti tela, pričom sa rozlišuje medzi tremorom v pokoji a akčným tremorom.

Parametre pre klinickú charakteristiku tremoru:

- Tremor v pokoji — akčný tremor
- Miesto (postihnutá časť tela)
- Frekvencia
- Rytmicnosť
- Amplitúda
- Zhoršujúce alebo zmierňujúce faktory
- Iné neurologické príznaky alebo symptómy

#### **Pokojový tremor (tremor v pokoji)**

Tremor v pokoji označuje chvenie v časti tela, ktorá je nedobrovoľne posunutá pri snahe udržať končatinu v určitej polohe. Je to nevedomý pohyb časti tela, ktorá je podopretá voči gravitácii. Napríklad ruka položená na stole.

-Tremor časti tela, ktorá nie je aktivovaná vôľou a je úplne podporovaná gravitáciou

#### **Akčný tremor**

Zahrňa všetky prejavy tremoru v častiach tela, ktoré nie sú v pokoji. Patrí sem posturálny tremor (napríklad predpažená ruka) a kinetický tremor. Vo väčšine prípadov sa akčný tremor dá ľahko rozlíšiť od tremoru v pokoji.

-Akýkoľvek tremor, ktorý vzniká dobrovoľnou kontrakciou svalu

#### **Posturálny tremor**

-Tremor, ktorý je prítomný pri dobrovoľnom udržiavaní polohy proti gravitácii.  
-Zriedkavo sa tremor môže špecificky vyskytnúť v určitých polohách, ale nie v iných (tremor špecifický pre danú polohu).

**Kinetický tremor**

-Tremor, ktorý sa vyskytuje počas akéhokoľvek dobrovoľného pohybu

**Nešpecifikovaný kinetický tremor**

-Pri pohyboch bez cieľa

**Intenčný tremor**

-Pri pohyboch zameraných na cieľ  
-ku koncu pohybu sa zvyšuje

**Tremor viazaný na špecifickú činnosť**

-špecifický pre danú úlohu (pokús o dotknutie sa nosu)  
-Objavuje sa alebo sa výrazne zhoršuje počas špecifických činností

**Izometrický tremor**

-Vyskytuje sa v dôsledku kontrakcie svalov proti tuhému stacionárnemu objektu (tlak voči prekážke) [15]

Pre prehľadnosť uvádzam tabuľku 1.3

<b>Kľudný tremor</b>		
<b>Akčný tremor</b>	<b>Posturálny</b>	
	<b>Kinetický</b>	<b>Jednoduchý kinetický</b>
		<b>Intenčný</b>
		<b>Viazaný na špecifickú činnosť</b>
		<b>Izometrický</b>

**Obr. 1.3:** Typy tremoru, rozdelenie

**1.2.2 Lokalizácia, veľkosť frekvencie a amplitúdy tremor**

Tremor postihuje všetky časti tela – hornú končatinu a jej časti ( zápästie, rameno, prsty), dolnú končatinu (koleno, prsty, členok), hlavu a jej časti (čelusť, mäkké podnebie, tvár), hlasivky.

Najčastejšie sa vyskytujúci tremor má frekvenciu medzi 4 až 12 Hz. Zosilnený fyziologický tremor je v rozsahu od 5 do 10 Hz. Aj keď môžu existovať všeobecné rozdiely v priemernej frekvencii tremorov medzi rôznymi typmi tremorov, frekvencie

sa medzi rôznymi poruchami značne prekrývajú. Je možné aj delenie podľa amplitúdy výchylky pri chvení na jemný (do 1 cm), strední (od 1 do 2 cm) a hrubý (nad 2 cm) alebo podľa výskytu na tele. U tremoru pozorujeme symetriu a asymetriu. [16]

	<b>Delenie tremoru podľa frekvencie</b>
<i>Nízky</i>	do 4 Hz
<b>Stredný</b>	medzi 4 až 7 Hz
<b>Vysoký</b>	nad 7 Hz

### 1.2.3 Klinické formy

Tremor v pokoji u pacientov zistíme pozorovaním postihnutej časti tela. Táto časť sa nedobrovoľne pohybuje aj pri zamedzení vplyvu gravitácie. Tremor v pokoji sa môže zvýšiť, keď sa pacient sústreďí na iné úlohy, napríklad pri chôdzi alebo počas rozhovoru. Posturálny tremor, ktorý sme nespozorovali počas vyšetrenia, môžeme rozpoznať, keď pacient drží horné končatiny vo vystretej polohe s rukami na chrbte, na bruchu a v polohe krídel (tj. s ukazovákmi smerujúcimi na seba v prednej časti hrudníka, ale nedotýka sa). Nepravidelné pohyby ruky alebo prstov v týchto polohách nie sú považované za tremor. Za tremor pokladáme náhlu stratu svalového tonusu prsta alebo ruky, nasledovanú korekčným pohybom, indikuje negatívny tras. [14]

Zámerný tremor je charakterizovaný prestrelenými pohybmi so zvyšujúcou sa amplitúdou pri približovaní sa k cieľu. Môže byť vyvolaný pri činnostiach zameraných na cieľ, ako sú pohyby z prsta na nos. Pozorovanie pacienta počas kreslenia (napr. Archimedovej špirály) alebo písania je často prínosné pre správnu diagnózu: akčný tremor sa zvyšuje počas písania alebo kreslenia a môže sa prejavovať tremor špecifický pre danú úlohu. Prelievanie vody z jedného pohára do druhého ukazuje stupeň postihnutia podľa kinetického tremoru v praktickej situácii.[14]

Parkinsonova choroba sa prejavuje kľudným nedobrovoľným asymetrickým tremorom strednej frekvencie hlavne na končatinách pacienta. Tento typ tremoru je zvyčajne pri pohybe znížený. Tremor sa zhoršuje pri únave či rozrušení.[17] Tak ako pri iných symptómoch pohybovej poruchy, závažnosť tremoru pacienta môže časom narastať a výrazne ustupovať. Je ovplyvnená emocionálnym stavom pacienta. Hoci opak môže byť pravdou, všeobecne akčné chvenie bude silnejšie počas návštevy lekára.

### 1.2.4 Patofyziológia tremoru

Za vznik tremoru všeobecne považujeme výskyt oscilátoru na úrovni CNS či periférneho nervového systému. Oscilátor je zdrojom rytmickej aktivity. Počas života môže za daných podmienok dôjsť k de liberácii fyziologicky existujúcich alebo ku vzniku patologických oscilátorov, ktoré pomocou nervových vlákien vynucujú rytmickú aktivitu príslušných svalov. Niektoré typy tremoru vznikajú na základe reflexnej činnosti. Predpokladá sa, že za rôzne druhy tremoru odpovedajú izolované alebo kombinované oscilátory, ktoré môžu mať rôzne umiestnenie v mozgu.[18]

### 1.2.5 Tremor u pacientov s RS

Tremor pri SM môže zahŕňať hlavu, krk, hlasivky, trup a končatiny, zatiaľ čo postihnutie jazyka, čeluste alebo podnebia nebolo hlásené.[19] RS charakteristicky spôsobuje veľkú amplitúdu 2,5 až 7 Hz, prevažne posturálny alebo intencný tremor [20], pričom oae sú klasifikované pod termínom akčný tremor. Hoci by sme očakávali, že intencný tremor bude prevalentným podtypom tremoru pri RS na základe konceptu lézií choroby, dostupné údaje to nepodporujú. Alusi zistil, že posturálny tremor bol výrazne častejší ako intencný (44 % oproti 6 %).[19] Podľa Alusiho štúdie [21] bol vo vzorke 100 pacientov s RS najčastejšie zistený tremor jednej alebo oboch končatín, taktiež bol zaznamenaný tremor dolných končatín. Najmenej zasiahnuté oblasti boli jazyk, tvár a čelusti.

Pri SM sa vyskytuje aj kinetický tremor (tremor vyskytujúci sa počas cieľového pohybu, kde sa amplitúda tremoru zvyšuje počas vizuálne vedených pohybov smerom k cieľu). Hoci pri SM bol hlásený parkinsonizmus [22], pokojový tremor pri RS je vzácny[19]. Vo väčšine prípadov pacienti s RS je pozorovaná skôr pseudorytmická aktivita než skutočný tremor [19]. Pseudorytmickú aktivitu, pravdepodobne vzniká vďaka stálemu prispôbovaniu – prestavovaniu pohybov v dôsledku cerebelárnej dysfunkcie; Táto aktivita klinicky napodobňuje tremor a mohli by sme ju označiť ako „pseudotremor“.[19]

Odhaduje sa, že u pacientov s RS sa tremor vyskytuje od 25 do 60 % prípadov. Tremor sa u pacientov s RS ťažko odlišuje od dysmetrie, preto je ťažké stanoviť tento odhad presne.[23, 19]

Oscilátory, ktoré spôsobujú tremor, sa u RS náročne lokalizujú vzhľadom k viacerým léziám v rôznych častiach CNS. Výskyt tremoru preto nemôže byť spojovaný iba s jednou léziou. [24]

### 1.2.6 Vyšetrenie tremoru gyroskopom

Pri vyšetrení tremoru je dôležité určiť jeho polohu, vyvolávajúce okolnosti, frekvenciu a amplitúdu trasu. Na určenie frekvencie a amplitúdy tremoru obvykle používame akcelerometer alebo gyroskop. Ťažkosti pri hodnotení tremoru SM spočívajú vo variabilite typov tremorov, s ktorými sa lekár stretáva. [19]

Každý tremor má svoje vlastné frekvenčné pásmo. Ani zistením frekvenčného spektra rôznych typov trasu nie je možné stanoviť presnú diferenciálnu diagnostiku ochorenia pacienta.

Počas vyšetrenia pomocou gyroskopu sa prístroj pripevní na pozorovanú časť tela, na hornú končatinu, hlavu či trup. Gyroskop meria rotačnú zmenu osi v troch osách. V závislosti na polohe pacienta a jeho pohybe vieme zmerať buď kludný, posturálny alebo intencný tremor. Kludný tremor sa meria v kludnej polohe ležiaceho pacienta. Posturálny tremor sa meria pacientovi s predpaženou hornou končatinou bez opory v stoji alebo sede.

Výstupom gyroskopu je sekvencia veľkostí zmeny jeho osi na meranej časti tela

---

v konkrétnych časoch pre všetky tri smery osi. Tieto dáta spracujeme pomocou Fourierovej transformácie pre získanie frekvencie a amplitúdy tremoru.

Počas zberu dát musí byť dodržaný vzorkovací teorém. Maximálna hodnota frekvencie tremoru hornej končatiny sa pohybuje okolo 25 Hz. Pre telo je veľmi vysoká frekvencia, možná len s veľmi jemnou amplitúdou, ktorú dosiahne len prirodzený tremor. Pre naše výpočty je zanedbateľný. Pri patologickom tremore dosahujeme maximálnu hodnotu frekvencie pri 12 Hz, preto by sme mali mať vzorkovaciu frekvenciu prístroja nastavenú najmenej na 25 Hz.





# Kapitola 2

## Použité metódy

V tejto kapitole sa zoznámime s uvedenou metodikou získavania dát ku klasifikácii. Popíšeme skúmanú skupinu dobrovoľníkov, priebeh vyšetrenia a jednotlivé testy. V druhej polovici popíšeme použité klasifikátory K-means a Bayesovo rozhodovanie, ktoré použijeme ku klasifikácii.

### 2.1 Metodika

Táto práca prebieha v rámci projektu: “Vplyv fyzioterapeutických facilitačných technik a virtuálnej reality na funkci horní končety u pacientů s roztroušenou sklerózou.”

Práca bola spracovaná so súhlasom Etickej komisie Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, viz. príloha A. Všetci účastníci štúdie boli zoznamení s obsahom štúdie a dobrovoľne podpísali informovaný súhlas, viz. príloha B.

#### 2.1.1 Dizajn štúdie a výber probandov

Štúdia bola vykonaná pre dve skupiny dobrovoľníkov. Prvá skupina bola zastúpená pacientmi s jasne diagnostikovanou mozgovo-miešnou sklerózou multiplex. Títo jedinci neboli vybraní na základe veku alebo pohlavia. Do skupiny bolo vybraných celkom 17 osôb s priemerným vekom 53 rokov so smerodajnou odchýlkou 10 rokov. Mužské pohlavie bolo zastúpené v 18 %. V našej práci pracujeme iba so 16 dobrovoľníkmi, pretože u jedného nebol vykonaný test tremoru pomocou akcelerometra.

Druhá kontrolná skupina pozostávala zo zdravých dobrovoľníkov, ktorí takisto neboli vybraní podľa veku, ale museli spĺňať tieto podmienky: Proband musel byť bez diagnostikovaného neurotického ochorenia, bez úrazu či ortopedickej operácie behom posledných 5 rokov. Nesmel mať iný úraz alebo operáciu narušujúcu lokomóciu a motoriku horných končatín. Musel byť bez akútnych a chronických bolestí akejkoľvek etiológie. Ženy nesmeli byť gravidné. Do tejto skupiny bolo vybraných 18 probandov a vekový rozptyl bol približne rovnaký ako v prvej skupine, vekový priemer bol 53 rokov so smerodajnou odchýlkou 12 rokov. Percentuálne zastúpenie mužského pohlavia bolo väčšie až 50 %. [25]

### 2.1.2 Priebeh vyšetrenia

Pred začiatkom štúdie bol každý proband podrobne zoznámený s obsahom štúdie a informovaného súhlasu (viz. príloha B), s povinnosťou podpisu, čím bola potvrdená účasť na tejto štúdi. Akékoľvek doplňujúce otázky probanda boli zodpovedané. Najprv bola vykonaná základná anamnéza dobrovoľníka. Následne boli odobraté doplňujúce informácie o zdravotnom stave. U skupiny pacientov s diagnostikovanou RS bolo potrebné ešte doplniť detailnejšie anamnestické dáta týkajúce sa ich ochorenia. Všetci účastníci boli podrobený vyšetreniu klinickými testami zameranými na funkcie hornej končatiny (celkovo 3 testy - Hand grip, Nine-hole peg test, Coin rotation task). Na záver bol odmeraný tremor pomocou gyroskopu a akcelerometru. Vyšetrenie trvalo približne 25 minút.[25]

### 2.1.3 Anamnéza

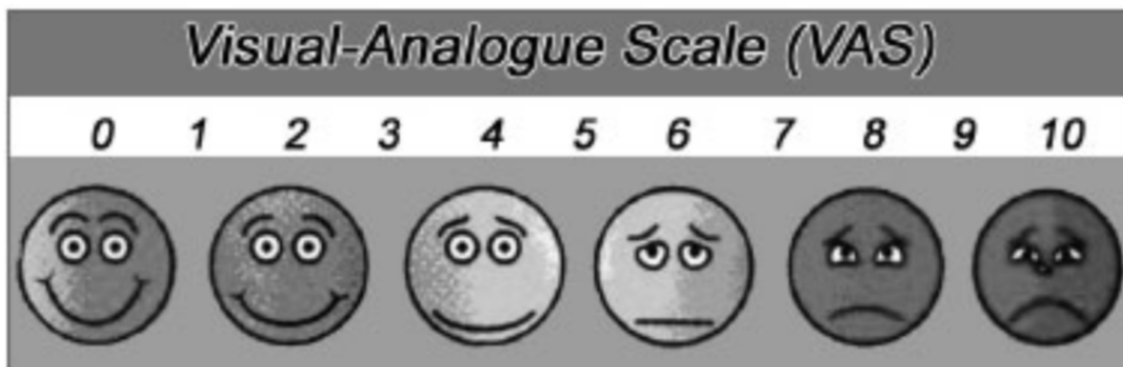
Na začiatku vyšetrenia boli odobrané základné charakteristiky probanda, ako vek, pohlavie, výška, váha a dominantná horná končatina. Taktiež boli zaznamenané doplňujúce informácie ohľadom jeho zdravotného stavu – ako je fajčenie, užívanie alkoholu, subjektívny pocit zdravia psychického aj fyzického. Fajčenie a užívanie alkoholu bolo jedincom subjektívne ohodnotený na stupnici od 0 do 3 ( 0 – nefajčiar / abstinent, 1 – príležitostne, 2 – denne, 3 – denne vo veľkom množstve - závislosť).

U pacientov trpiacich sklerózou multiplex bola zaznamenaná anamnéza a presnejšie informácie ohľadom ich ochorenia, kedy bola RS diagnostikovaná, kedy zaznamenali prvé symptómy, typ RS, používanie pomôcok pre pohyb, používanie ortézy, počet pádov za posledných 6 mesiacov, počet pádov s úrazmi a Hauser Ambulation Index pre hodnotenie mobility, schopnosť chôdze a čas potrebný k prejdenu 8 metrov. [24]

U druhej skupiny zdravých jedincov (kontrolná) bola zistená prítomnosť neurologického ochorenia. Zo štúdie boli vyradené osoby s potvrdeným neurologickým ochorením.

### Subjektívne hodnotenie zdravia

Subjektívny pocit zdravia bol zaznamenaný pomocou čísla vizuálnej analógovej škály (VAS). Probandovi bola položená otázka „Jak se dnes cítíte psychicky/duševně a fyzicky?“. Pacient zodpovedal otázku pomocou obrázku číslom od 0 do 10, kde 0 predstavovala najlepší pocit zdravia, 10 najhorší. Subjektívna miera zdravia pacientov bola vypočítaná ako priemer získaných hodnôt psychického aj fyzického zdravia.



Obr. 2.1: Vizuálna analógová škála použitá pri vyšetrení [26]

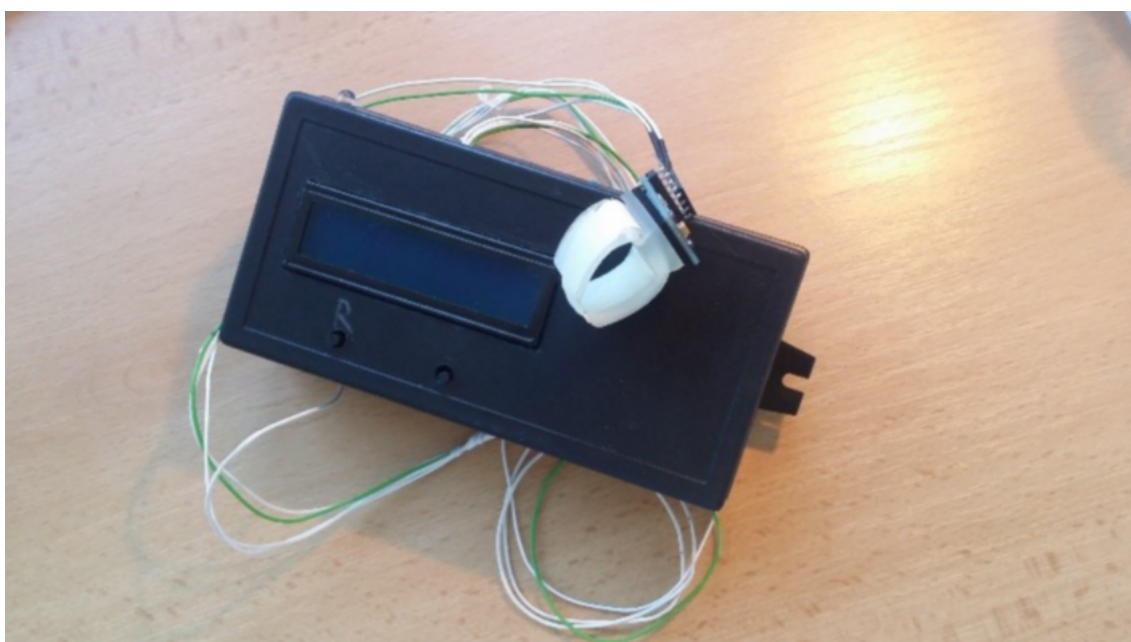
#### 2.1.4 Klinické testy funkcií hornej končatiny

Štyri rôzne klinické testy funkcie hornej končatiny boli vykonané v štúdiu. Vyšetrenia: sila stisku, deväťkolíkový test, test rotácie mince a záznam trasy pomocou gyroskopu. Pre klasifikáciu do tried zdravý a chorý sme použili iba údaje získané z testu tremoru akcelerometrom/gyroskopom.

#### 2.1.5 Vyšetrenie tremoru pomocou gyroskopu

##### Meracie zariadenie

Vyšetrenie tremoru bolo vykonané pomocou zariadenia, v ktorom bol použitý čip MotionTracking sensor MPU-6050. Tento merací prístroj je trojosí akcelerometer a trojosí gyroskop, ktorý dokáže merať zrýchlenie až do 16 g (použit rozsah  $\pm 2$  g) a rotáciu až  $\pm 2000$  stupňov za sekundu. Počas vyšetrenia boli dáta zaznamenané vlastným zariadením pomocou mikrokontroleru Atmel Mega 328. Tieto dáta boli uložené na SD kartu.[27, 28]



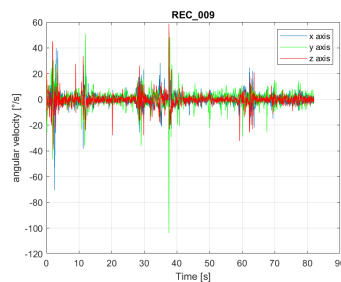
Obr. 2.2: Meracie zariadenie (gyroskop/akcelerometer) použité pri meraní [27]

## Metóda merania

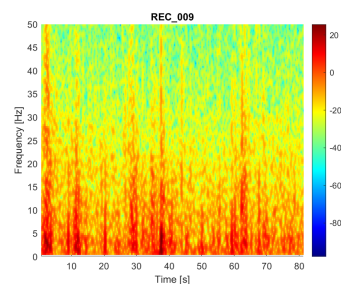
Cielom vyšetrenia bolo meranie posturálneho tremoru hornej končatiny. Účastníkovi štúdie bol na prostredníku vyšetrovanej hornej končatiny zachytený prstenčový detektor. Vyšetrovaný bol v vzpriamenom postoji s predpaženou a extendovanou hornou končatinou (samozrejme len vtedy ak to pacientovi jeho zdravotný stav dovolil). Prsty na hornej končatine mali pacienti jemne abdukované. Druhá končatina bola voľne položená vedľa tela. Vyšetrené boli obe horné končatiny. Jedenkrát prebehlo vyšetrenie so zavretými očami a druhýkrát s otvorenými. Celkovo sme získali 4 merania. Probandi počas vyšetrenia s otvorenými očami boli vyzvaní k fixácii ich zraku na jedno konkrétne miesto na stene oproti nim. Každý záznam merania trval najmenej 1 minútu.[25, 27]

## Spracovanie nameraných dát

Gyroskopom bola nameraná zmena osi pri tremore hornej končatiny v troch osiach. Tras bol nasnímaný s vzorkovacou frekvenciou 100 Hz. Pre výpočty bola použitá celková zmena osi, teda vektorový súčet hodnôt z troch osí. Signál bol prefiltrovaný horno priepustným Butterworthským filtrom 4. rádu s medzným kmitočtom 0,5 Hz pre odstránenie izolínie.

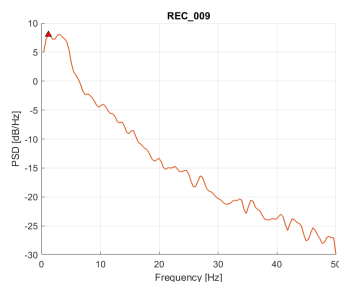


**Obr. 2.3:** Nefiltrovaný signál u pacienta so sklerózou multiplex



**Obr. 2.4:** Výsledok spracovania spektrogramom

Z filtrovaného signálu sme vypočítali výkonovú spektrálnu hustotu (PSD – Power Spectral Density), ktorú sme vzápätí vyhladili. Z vyhladeného signálu sme získali parametre pre klasifikáciu pacientov trpiacich SM. Tieto parametre neskoršie priblížime bližšie v tretej kapitole. Na obrázku 2.5 je zobrazená vyhladená PSD trasa, náhodne vybraného pacienta trpiaceho RS. Trojuholníkom sme označili frekvenciu dosahujúcu maximálnu hodnotu PSD.



Obr. 2.5: Výsledok PSD spektra po vyhladení

## 2.2 Klasifikátory

V našom prípade z dôvodu malého množstva dát by bolo najoptimálnejšie vybrať klasifikátor bez učiteľa. Ale testovali sme aj klasifikátor s učiteľom pre porovnanie výsledkov. Cieľom bolo zistiť, ktorý z nich by bol najlepší na klasifikáciu dát. Naš ideálny klasifikátor by nemal vyžadovať veľkú vstupnú množinu tréningových dát spolu s ich triedami. Keďže vieme, že klasifikujeme naše dáta do dvoch tried („zdravý“ a „chorý“) ponúka sa nám klasifikátor K-means. K-means používa pre zistenie podobnosti vzdialenosti bodov. Podľa počtu zadaných tried rozdelí všetky body na základe ich najmenej spoločnej vzdialenosti k ich centroidu. Ako druhý klasifikátor bol vybraný naivný bayesovský klasifikátor, ktorý pracuje veľmi dobre na malej tréningovej množine, čo je vhodné pre náš prípad. Predpokladáme v tomto prípade porovnateľnú až lepšiu úspešnosť voči algoritmu k-means. Princíp a definície týchto klasifikátorov predstavíme v tejto kapitole.

### 2.2.1 K-means algoritmus

Termín „k-means“ bol prvý krát použitý Jamesom MacQueenom v roku 1967. Algoritmus K-means je iteratívny algoritmus, ktorý sa pokúša rozdeliť dáta do „K“ vopred definovaných odlišných zhlukov, kde každý údajový bod patrí iba do jednej skupiny. Snaží sa, aby boli dátové body v rámci klastra čo najpodobnejšie a zároveň aby boli klastre čo najpestrejšie. Dátové body klastra priraďuje k centroidom tak, že minimalizuje súčet štvorcov vzdialeností medzi dátovými bodmi a ťažiskom klastra (centroidu). Čím menej variácií v rámci klastrov máme, tým homogénnejšie sú dátové body v rámci toho istého klastra. Vzdialenosť a jej jednotlivé typy budú definované v kapitole 2.2.2. Pre zjednodušenie popisu algoritmu zadefinujeme Euklidovskú vzdialenosť  $d(x, y)$  medzi dvoma n-dimenzionálnymi bodmi  $x$  a  $y$ .

**Vstup:** množina pozorovaní  $T = \{x_1, \dots, x_n\}$ , počet zhlukov  $K$ , maximálny počet iterácií.

**Výstup:** sada prototypov klastra  $\{c_1, \dots, c_K\}$

**Inicializácia:** Z množiny dát  $T$  náhodne vyberie  $K$  rôznych centroidov. Jedna trieda reprezentuje jeden centroid. b)

$$c_k = \text{random}(\text{set}(T)) \quad \forall k = 1 \dots K$$

1. Každému bodu z množiny  $T$  je priradená trieda centroidu, ktorému patrí (ten ktorý je k nemu najbližšie). c)

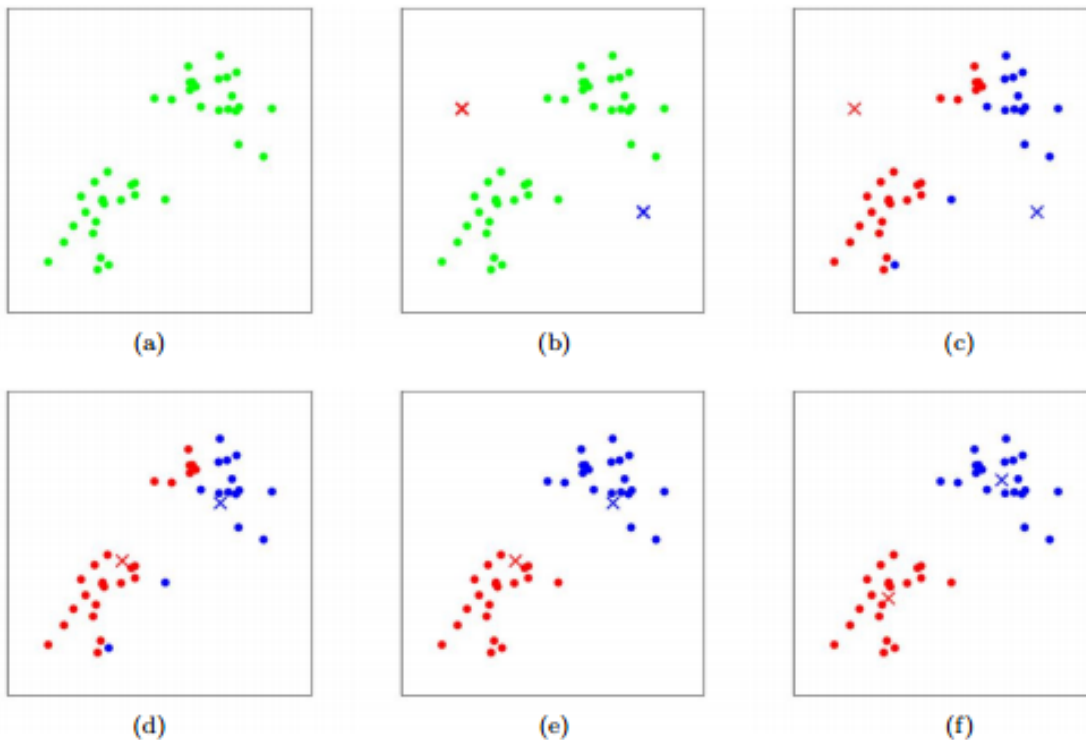
$$y_i = \arg_{k=1 \dots K} \min \|x_i - c_k\|_2^2 \quad \forall i = 1 \dots N$$

2. Aktualizácia centroidov – nový prototyp centroidu je priemer (ťažisko) všetkých vektorov, ktoré patria do  $k$ -tej triedy. d)

$$c_k = \begin{cases} \frac{1}{|T_k|} \sum_{x \in T_k} x & \text{keď } |T_k| > 0 \\ \text{inak re - inicializuj} \end{cases}$$

3. Pokiaľ sa aktualizované centroidy nelíšia od predošlých, algoritmus končí. e, f)

**Fungovanie algoritmu:**



Na obrázku môžeme vidieť ukážku klasifikácie K-means algoritmu na triviálnych dvojrozmerných dátach pre  $K=2$ . Na grafe a) vidíme dáta pred klasifikáciou. V grafe b) pozorujeme náhodnú inicializáciu centroidov, ktoré sú označené červenou a modrou farbou. Na grafe c) vidíme priradenie všetkých bodov k ich najbližšiemu centroidu. Prvotné rozdelenie dát do dvoch tried 'modrá' a 'červená'. Graf d) znázorňuje aktualizáciu centroidov. Graf e) priradil bodom nové triedy. Na poslednom grafe je opäť zopakovaná aktualizácia centroidov, ktorá je zároveň jeho konečným stavom. Pri ďalšom opakovaní algoritmu sa poloha centroidov nezmení, algoritmus skonvergoval do globálneho minima, tým pádom sa program ukončí.[28, 29, 30]

Inicializácia centroidov nemusí byť v niektorých prípadoch ideálna. V niektorých inicializáciách algoritmus K-means skonverguje k lokálnemu minimu a nie ku globálnemu (vďaka „nešťastnej inicializácii“). Pre zaručenie globálnej konvergencie sa používa algoritmus K-means++, ktorý používa „šikovnú inicializáciu“. Tento vzniknutý problém za nás vyrieši program v matlabe, tým že vyskúša viacero inicializácií a vybere z nich tú najlepšiu. [28]

Kvalita klasifikácie je určená klasifikačnou úspešnosťou  $S$ . Pre jej výpočet potrebujeme zistiť množinu správne klasifikovaných dát, ktorá odpovedá vstupnej množine  $T$ . Klasifikačnú úspešnosť spočítame ako podiel správne klasifikovaných dát ku celkovému počtu klasifikovaných dát. Čím vyššiu klasifikačnú úspešnosť získame, tým presnejší bude náš klasifikátor. [31]

$$S = \frac{\text{počet správne klasifikovaných}}{\text{počet všetkých predikcií}} \quad (2.1)$$

## 2.2.2 Vzdialenosť

Pri klasifikácii pacientov s SM budeme namerané parametre jedného jedinca reprezentovať  $n$ -rozmerným vektorom v priestore  $R^n$ . Pre správnu klasifikáciu musíme určiť medzi potrebnými vektormi ich vzdialenosť. V našich algoritmoch použijeme euklidovskú vzdialenosť a manhattenskú, ale existujú aj iné metriky (vzdialenosti). [32]

Vzdialenosť je definovaná ako funkcia  $d$  na  $R^n \times R^n$ , ktorá každej dvojici bodov  $(x, y)$  určí číslo splňujúce nasledujúce podmienky [27]:

- a)  $d(x, y) = 0 \iff x = y$  (identita)
- b)  $d(x, y) \geq 0$
- c)  $d(x, y) = d(y, x)$  (symetria)
- d)  $d(x, y) + d(y, z) \geq d(x, z)$  (trojuholníková nerovnosť)

Pre rôzne  $m$  dostávame metriky:

$m = 1$  vzdialenosť v mestských blokoch

$m = 2$  euklidovská metrika

$m \rightarrow \infty$  sup-metrika [32]

1. Manhattenská metrika

$$d_1(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (2.2)$$

2. Euklidovská metrika

$$d_2(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2.3)$$

3. Čebyševská metrika

$$d_\infty(x, y) = \max_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (2.4)$$

### 2.2.3 Bayesovská klasifikácia

Metódy bayesovskej klasifikácie vychádzajú z bayesovej vety o podmienených pravdepodobnostiach. Bayesov vzťah pre výpočet podmienenej pravdepodobnosti.

$$P(\omega_r|X) = \frac{p(X|\omega_r)P(\omega_r)}{p(X)} \quad (2.5)$$

#### Naivný Bayesov klasifikátor

Bayesov klasifikátor má za úlohu správne priradiť vstupné vektory príznakov  $X$  do  $k$  tried. Triedy majú svoj indikátor značený

$$\omega_1, \dots, \omega_R \quad (2.6)$$

Algoritmus využíva Bayesovu vetu a (naívne) predpokladá, že prediktory sú podmienene nezávislé vzhľadom na triedu. Aj keď sa tento predpoklad v praxi zvyčajne porušuje, naivné Bayesove klasifikátory majú tendenciu poskytovať posteriórnu distribúciu, ktorá je odolná voči skresleným odhadom hustoty tried. Suma apriórnych pravdepodobností všetkých tried sa rovná jedna. Apriórne pravdepodobnosti jednotlivých tried sú pri klasifikácii známe. V tejto práci sú apriórne pravdepodobnosti skupín určené náhodným výberom tréningovej množiny. K natrénovaniu klasifikátora je potrebné zistiť podmienenú hustotu pravdepodobnosti  $p(X|r)$ . Ak hodnoty vo vektoroch  $X$  majú normálové rozdelenie. Popíšeme ich nasledujúcim vzťahom, v ktorej veličina  $N$  je rozmer príznakového vektoru  $X$ , veličina  $\mu_r$  je stredná hodnota normálneho rozdelenia a  $C$  je kovariančná matica.

$$P(\omega_r|X) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^N |\Sigma_r|}} e^{(-\frac{1}{2}(X-\mu_r)^T C^{-1}(X-\mu_r))} \quad (2.7)$$

Z tohto vzťahu vyplýva, že pre výpočet vzorca musíme poznať pre každú triedu jej strednú hodnotu a kovariančnú maticu. Tieto hodnoty získame pomocou tréningovej množiny u ktorých poznáme ich príslušnosť k triedam.



# Kapitola 3

## Klasifikácia tremoru

V prvej tretine tejto kapitoly opíšeme detailnejšie parametre použité pri klasifikácii. V druhej časti uvedieme výsledky klasifikácie algoritmu K-means a Bayesovho naívneho klasifikátora. V poslednej časti uvedieme diskusiu nad výsledkami.

### 3.1 Parametre použité pri klasifikácii

Pre klasifikáciu do tried chorý/zdravý sme použili tri rôzne parametre z výsledkov merania tremoru gyroskopom. Testovali sme 17 dobrovoľníkov s RS. Jednému probandovi chýbali dáta k deväťkolíkovému testu a druhému pacientovi nebol vykonaný test tremoru pomocou akcelerometru a gyroskopu. Dáta probanda, ktorému chýbal test akcelerometrom sme do nášho klasifikátora nezaradili. Naša práca skúmala klasifikáciu 16 jedincov zo skupiny trpiacej SM a z 18 zdravých jedincov z kontrolnej skupiny. Použili sme celkovo dáta 34 dobrovoľníkov.

Z merania tremoru akcelerometrom/gyroskopom sme použili tri rôzne parametre a to zmenu úhlu v troch osách. Z týchto hodnôt bola vypočítaná ich maximálna hodnota PSD. Ďalším parametrom bola PSD vo frekvencii 7 Hz. Posledný parameter bola kumulatívna hodnota PSD vo frekvenčnom pásme 0-4 Hz. Prvé dva parametre majú jednotku dB/Hz a posledný má jednotku dB. Hodnoty boli určené pre pravú a ľavú hornú končatinu, s otvorenými a zatvorenými očami. V tabulke pri Štandardizácii dát sa nachádzajú zistené stredné hodnoty a smerodajné odchýlky pre všetky skupiny.

#### 3.1.1 Štandardizácia dát

Pre správne klasifikovanie našich dát, bolo potrebné ich štandardizovať. Pretože naše záznamy pozostávajú z rôznych parametrov, ktoré majú rozdielne veličiny.

Preto je potrebné spočítať pre každý parameter strednú hodnotu a smerodajnú odchýlku.

**Stredná hodnota**

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (3.1)$$

## Smerodajná odchýlka

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (3.2)$$

Vďaka týmto hodnotám dokážeme jednotlivé hodnoty prepočítať.

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (3.3)$$

Štandardizované hodnoty majú nulovú strednú hodnotu a smerodajnú odchýlku rovnú jednej. Teraz môžeme parametre medzi sebou bez problémov porovnať, napríklad tomu, že mali pred štandardizáciou rôzne fyzikálne veličiny.

		Skupina s RS	Kontrolná skupina
		$\mu \pm \sigma$	$\mu \pm \sigma$
PSDmax [dB/Hz]	Ľavá HK zatvorené oči	1.07±9.76	0.95±9.21
	Ľavá HK otvorené oči	3.37±8.48	2.99±11.87
	Pravá HK zatvorené oči	0.11±6.35	0.1±8.98
	Pravá HK otvorené oči	1.2±9.48	1.07±9.48
PSD 7 Hz [dB/Hz]	Ľavá HK zatvorené oči	1.21±1.92	1.07±0.99
	Ľavá HK otvorené oči	1.88±2.73	1.68±1.61
	Pravá HK zatvorené oči	0.72±1.07	0.64±0.58
	Pravá HK otvorené oči	1.04±1.6	0.93±0.86
PSD 0-4 Hz [dB]	Ľavá HK zatvorené oči	67.37±131.11	59.89±58.34
	Ľavá HK otvorené oči	63.37±89.15	56.33±55.02
	Pravá HK zatvorené oči	19.77±25.71	17.57±16.16
	Pravá HK otvorené oči	59.5±101.52	52.89±50.85

## 3.2 Význam špecifickosti a senzitivity testu

### 3.2.1 Špecifickosť

Špecificnosť je v medicíne schopnosť určitej diagnostickej metódy potvrdiť alebo vyvrátiť konkrétne ochorenie ľudského organizmu. Udáva sa v percentách. Sto percentná špecifickosť znamená, že pozitívny výsledok metódy chorobu vždy potvrdí. Negatívny výsledok testu neznamená absenciu choroby. Polovičná špecifickosť znamená, že štatisticky polovica príčin pozitivity príslušného testu má inú príčinu ako dané ochorenie.[33]

$$\text{specificita} = \frac{\text{počet skutočne negatívnych}}{\text{počet skutočne negatívnych} + \text{počet falošne pozitívnych}} \quad (3.4)$$

### 3.2.2 Senzitivita

Senzitivita je schopnosť danej diagnostickej metódy odhaliť patologický dej v ľudskom organizme. Vyjadruje úspešnosť, s ktorou test zachytí prítomnosť sledovaného stavu u daného subjektu.[33]

$$\text{senzitivita} = \frac{\text{počet skutočne pozitívnych}}{\text{počet skutočne pozitívnych} + \text{počet falošne negatívnych}} \quad (3.5)$$

## 3.3 Výsledky klasifikácie

V tomto segmente uvedieme výsledky vybraných algoritmov K-means a Bayesovský naivný klasifikátor.

### 3.3.1 K-means algoritmus

Pre klasifikáciu sme použili celkovo 3 parametre a to PSDmax, PSD7 Hz a kumulatívne PSD 0-4 Hz. Ktoré sme získali pre pravú aj ľavú HK ako aj pre otvorené a zatvorené oči. Pre klasifikáciu sme použili dáta 34 dobrovoľníkov. 16 pacientov patrilo do skupiny SM a 18 osôb do kontrolnej skupiny. Pred klasifikáciou sme všetky dáta štandardizovali.

Pri klasifikácii sme použili 2 rôzne vzdialenosti. Podľa definície v podsekcii vzdialenosť sme použili Manhattanskú a euklidovskú vzdialenosť. Pre jeden parameter prebehla klasifikácia 2 krát. Ukázalo sa, že euklidovská vzdialenosť v priemere mala lepšiu presnosť ako manhattanská, avšak Manhattanská mala globálne v jednej kombinácii najlepšiu presnosť a to 82.35%.

Klasifikátor dosiahol pri jednotlivých parametroch (aj s rôznymi vzdialenosťami) maximálnu presnosť 79.41% pre euklidovskú vzdialenosť. Konkrétne túto hodnotu dosiahol v jednom prípade. Bol to prípad PSDmax LHK otvorené oči v kombinácii s PSDmax RHK zatvorené oči. V 91% sme dosiahli 100% špecifickosť testu pri euklidovskej vzdialenosti. Čo znamená, ak náš test určí niekoho do triedy chorí. Tak si môžeme byť istý, že tento jedinec trpí sklerózou multiplex. Pri vzdialenosti manhattan sme dosiahli až 82.35% presnosť testu a to v dvoch prípadoch. Boli to kombinácie PSDmax RC s PSD7 RC a PSDmax RC s PSD7 RO. Aj keď v týchto kombináciách sme dosiahli nižšiu špecifickosť testu a to 90% u oboch prípadoch. Tabuľka s klasifikačnou úspešnosťou, senzibilitou a špecificitou sa nachádza nižšie.

Pre lepšie klasifikačné výsledky prebehla klasifikácia pre jednotlivé parametre, ale aj na ich rôznych kombináciách. Algoritmus otestoval všetky kombinácie, ktoré sa nachádzali v jednej matici. Celkovo teda pre 66 kombinácií pre jednu vzdialenosť.

PSDmax euclid				
Kombinácie		Presnosť [%]	Senzibilita [%]	Špecifita [%]
LC	LO	73.53	64.00	100.00
LC	RC	26.47	69.57	50.00
LC	RO	73.53	64.00	100.00
LO	RC	79.41	69.57	100.00
LO	RO	73.53	64.00	100.00
RC	RO	23.53	61.54	52.94
Priemer		58.33		

**Obr. 3.1:** Výsledky klasifikácie pre K-means dvojparametrové kombinácie samostatného parametru PSDmax Euklidova vzdialenosť

PSD7 euclid				
Kombinácie		Presnosť [%]	Senzibilita [%]	Špecifita [%]
LC	LO	58.82	53.33	100.00
LC	RC	61.76	55.17	100.00
LC	RO	64.71	57.14	100.00
LO	RC	64.71	57.14	100.00
LO	RO	55.88	80.00	62.07
RC	RO	61.76	55.17	100.00
Priemer		61.27		

**Obr. 3.2:** Výsledky klasifikácie pre K-means dvojparametrové kombinácie samostatného parametru PSD7 Euklidova vzdialenosť

PSDkum euclid				
Kombinácie		Presnosť [%]	Senzibilita [%]	Špecifita [%]
LC	LO	70.59	61.54	100.00
LC	RC	35.29	80.00	50.00
LC	RO	64.71	57.14	100.00
LO	RC	70.59	61.54	100.00
LO	RO	64.71	57.14	100.00
RC	RO	64.71	57.14	100.00
Priemer		91.67		

**Obr. 3.3:** Výsledky klasifikácie pre K-means dvojparametrové kombinácie samostatného parametru PSDkum Euklidova vzdialenosť

PSDmax cityblock				
Kombinácie		Presnosť [%]	Senzibilita [%]	Špecifita [%]
LC	LO	26.47	69.57	50.00
LC	RC	73.53	64.00	100.00
LC	RO	73.53	64.00	100.00
LO	RC	79.41	69.57	100.00
LO	RO	26.47	69.57	50.00
RC	RO	79.41	72.73	94.74
Priemer		59.80		

**Obr. 3.4:** Výsledky klasifikácie pre K-means dvojparametrové kombinácie samostatného parametru PSDmax Cityblock vzdialenosť

PSD7 cityblock				
Kombinácie		Presnosť [%]	Senzibilita [%]	Špecifita [%]
LC	LO	52.94	76.19	62.07
LC	RC	67.65	59.26	100.00
LC	RO	55.88	51.61	100.00
LO	RC	67.65	59.26	100.00
LO	RO	61.76	55.17	100.00
RC	RO	64.71	57.14	100.00
Priemer		59.80		

**Obr. 3.5:** Výsledky klasifikácie pre K-means dvojparametrové kombinácie samostatného parametru PSD7 cityblock vzdialenosť

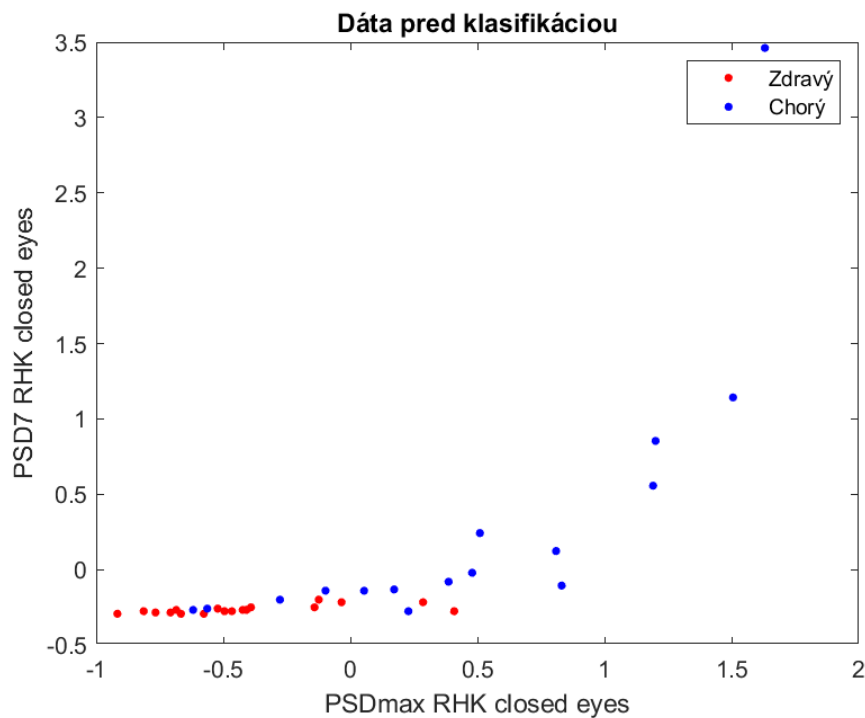
PSDkum cityblock				
Kombinácie		Presnosť [%]	Senzibilita [%]	Špecifita [%]
LC	LO	35.29	80.00	50.00
LC	RC	67.65	59.26	100.00
LC	RO	64.71	57.14	100.00
LO	RC	32.35	76.19	50.00
LO	RO	64.71	57.14	100.00
RC	RO	64.71	57.14	100.00
Priemer		83.33		

**Obr. 3.6:** Výsledky klasifikácie pre K-means dvojparametrové kombinácie samostatného parametru PSDkum cityblock vzdialenosť

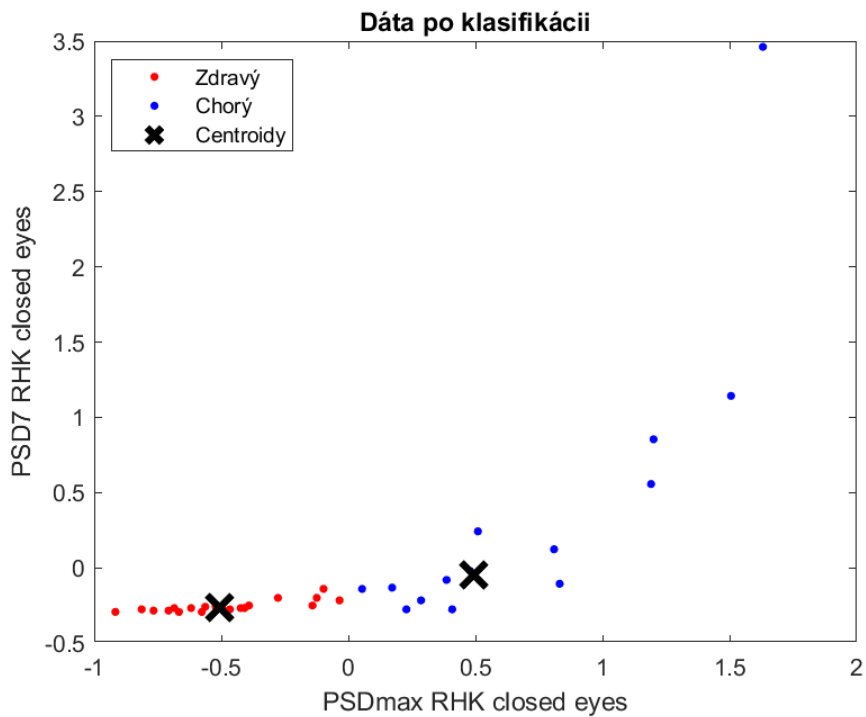
Z 66 kombinácií dvojíc parametrov bolo 19 väčších ako 70% u euklidovskej vzdialenosti. Najčastejšie sa vyskytoval parameter PSDmax LHK otvorené oči a

PSDmax LHK zatvorené oči. U cityblock vzdialenosti sme dosiahli iba 13 prípadov v ktorých sme dosiahli presnosť vyššiu ako 70%. Pri vzdialenosti cityblock bola najčastejšia hodnota PSDmax.

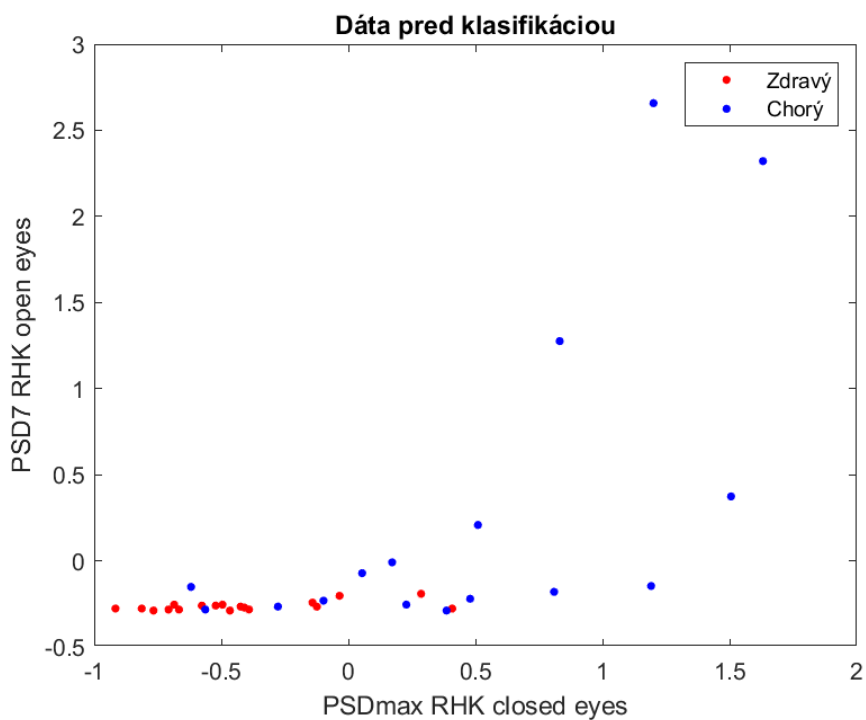
Na obrázku sa nachádza klasifikácia parametru PSDmax RHK so zatvorenými očami a pre LHK otvorené oči pre euklidovskú vzdialenosť. Na vrchnom grafe sú dáta pred klasifikáciou a na spodnom dáta po klasifikácii. Úspešnosť klasifikácie je v tomto prípade 79.41%.



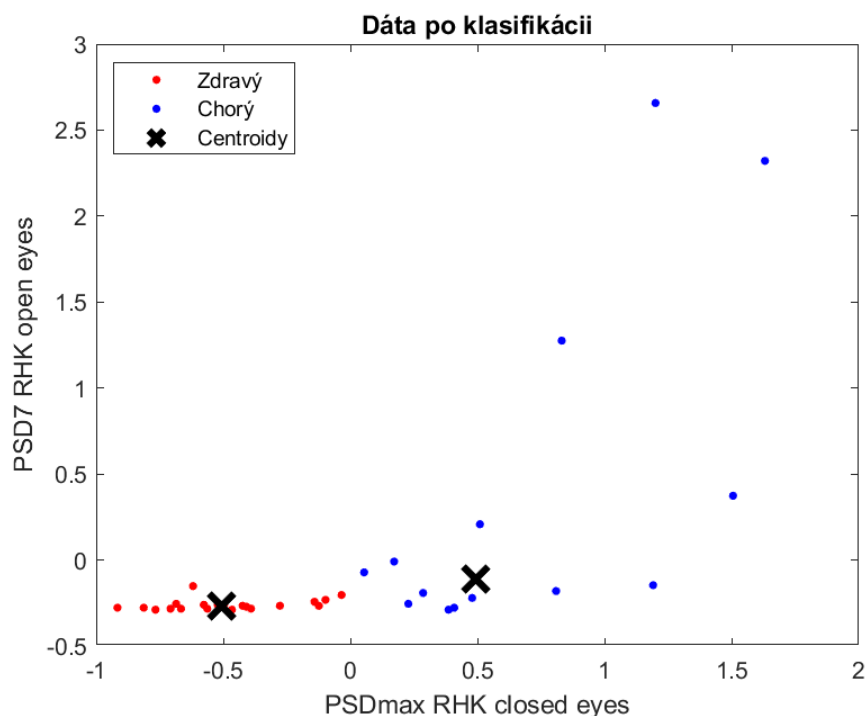
Obr. 3.7: Dáta pred klasifikáciou. Najlepšia klasifikácia cityblock



**Obr. 3.8:** Dáta po klasifikácii. Najlepšia klasifikácia cityblock



**Obr. 3.9:** Dáta pred klasifikáciou. Najlepšia klasifikácia cityblock



**Obr. 3.10:** Dáta po klasifikácii. Najlepšia klasifikácia cityblock

Najlepší klasifikačný výsledok sme dosiahli pri použití manhattenskej vzdialenosti a parametrov z PSDmax v jej kombinácii s inými parametrami a to 82.35%. Najlepšia klasifikácia pre euklidovskú vzdialenosť bola 79.41% a to pre parameter PSDmax LHK otvorené oči v kombinácii s PSDmax RHK zatvorené oči. Preto boli centroidy tejto kombinácie vybrané ako náš výsledný klasifikátor pre euklidovskú vzdialenosť. Najlepší klasifikátor k-means bola kombinácia mahettenskej vzdialenosti. Nižšie uvádzam najlepší výsledok so strednou hodnotou a smerodajnou odchýlkou pre obidve vzdialenosti. Samozrejme pred klasifikáciou ďalších pacientov musíme získané dáta štandardizovať. Až potom môžeme použiť náš klasifikátor, a určiť ku ktorej triede patrí (ku ktorému centroidu má bližšie).

PSDmax LO + RC euclid	Centroid zdravý	Centroid chorý	Presnosť [%]	Stredná hodnota $\mu$	Smerodajná odchýlka $\sigma$
X	-0.33	1.3	79.41	-2.94	12.48
Y	-0.41	1.19		-4.3	9.48

Kombinácie	Koordináty	Centroid zdravý	Centroid chorý	Presnosť [%]	Stredná hodnota $\mu$	Smerodajná odchýlka $\sigma$
PSDmax RC + PSD7 RC cityblock	X	-0.51	0.49	82.35	-4.3	9.48
	Y	-0.27	-0.05		0.37	1.18
PSDmax RC + PSD7 RO cityblock	X	-0.51	0.49	82.35	-4.3	9.48
	Y	-0.27	-0.11		0.53	1.75

Ďalšie výsledky kombinovanej klasifikácie sú uvedené v prílohe C,



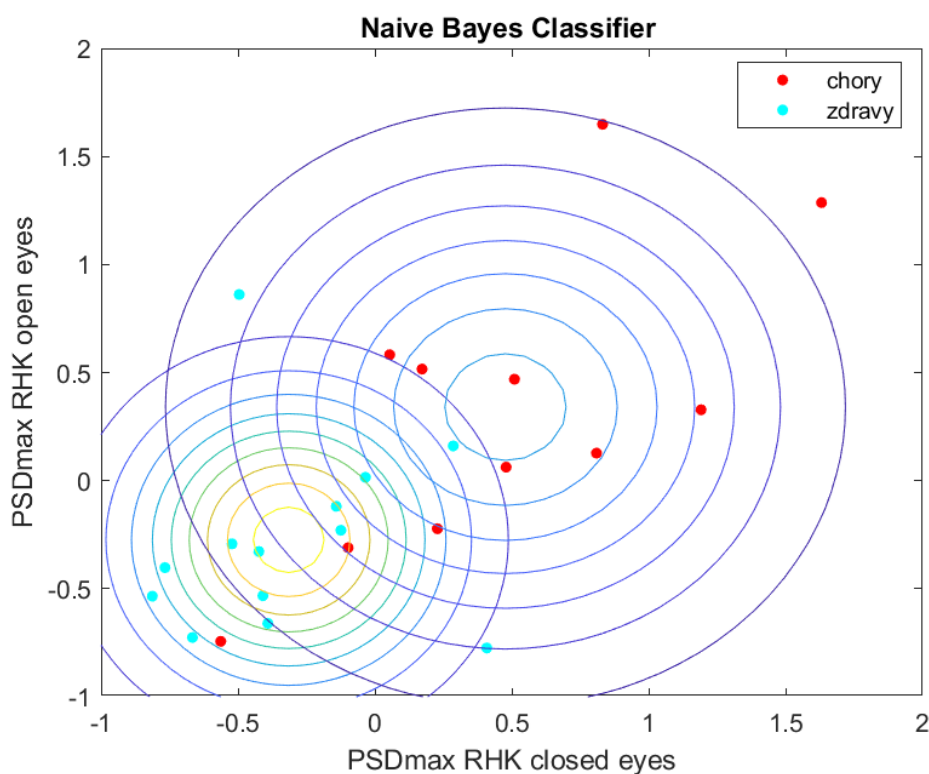
### 3.3.2 Bayesov naivný klasifikátor

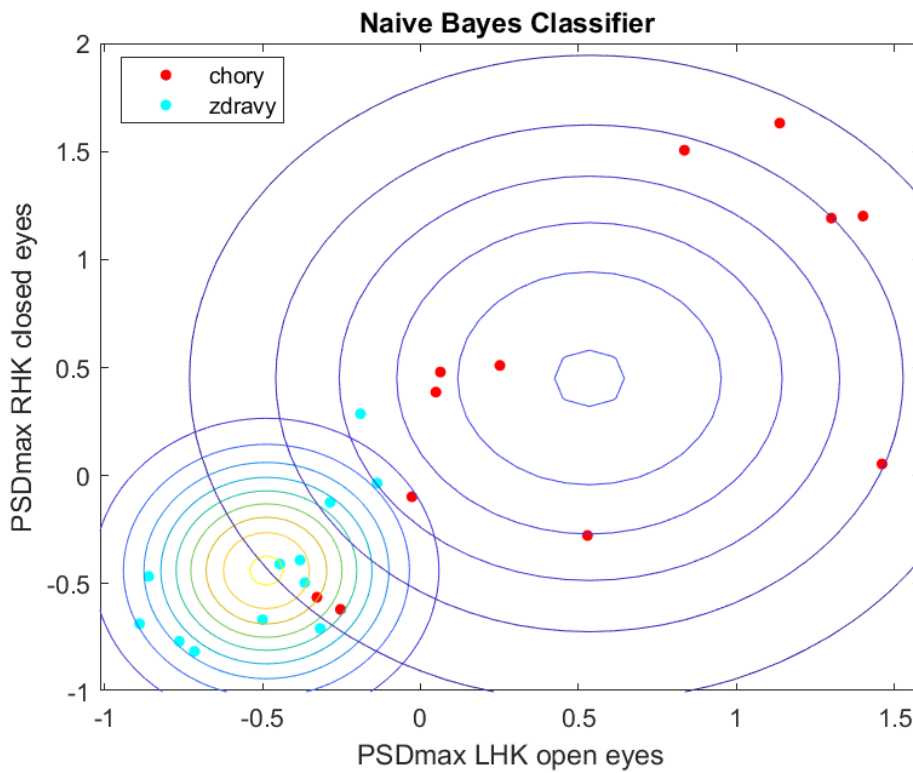
Pre každú kombináciu z troch vybraných parametrov bol vytvorený naivný Bayesov klasifikátor. Každý klasifikátor bol natrénovaný na 23 náhodne vybraných signáloch PSD, 16 signálov patrilo zdravým jedincom a 18 od pacientov s SM. Dáta sme si rozdelili na testovaciu a tréningovú množinu. Vyskúšali sme dve kombinácie rozdelenia. Najprv sme rozdelili množinu na 3 časti dve z toho sme použili ako testovacie dáta a poslednú časť sme použili ako tréningovú. Tento typ rozdelenia sa, ale ukázal v percentuálnej presnosti horší. V tejto práci ukážeme druhé rozdelenie, kde sme rozdelili množinu na 2/3 ako tréningovú a 1/3 ako testovaciu. Ukážky klasifikátorov natrénovaných na dvojrozmerných dátach sú s tréningovými dátami na obrázkoch nižšie.

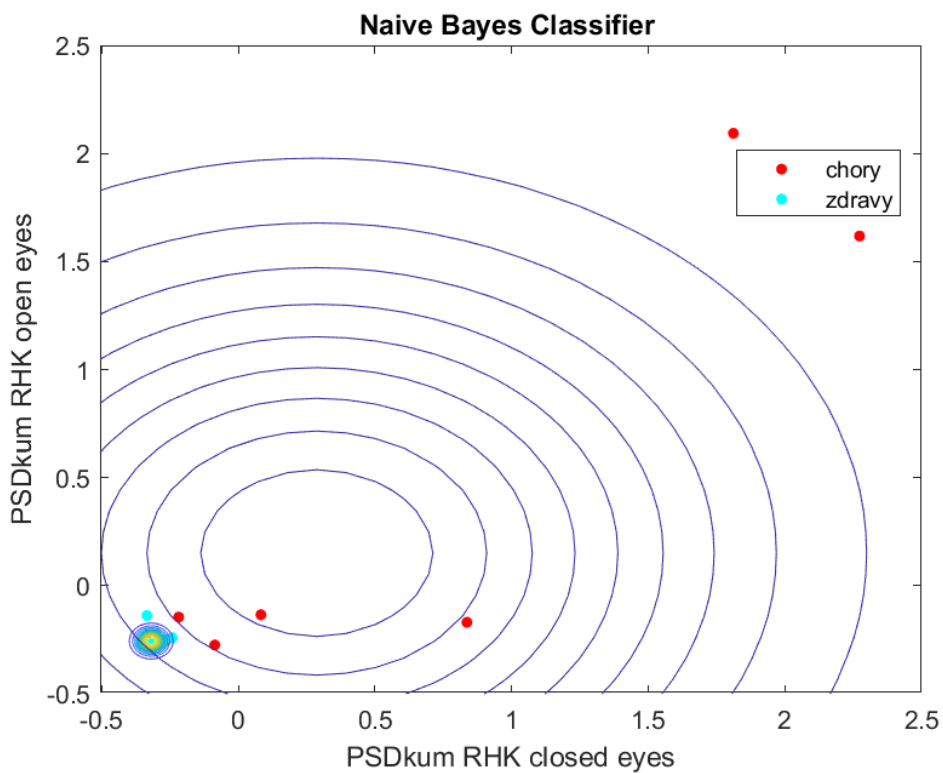
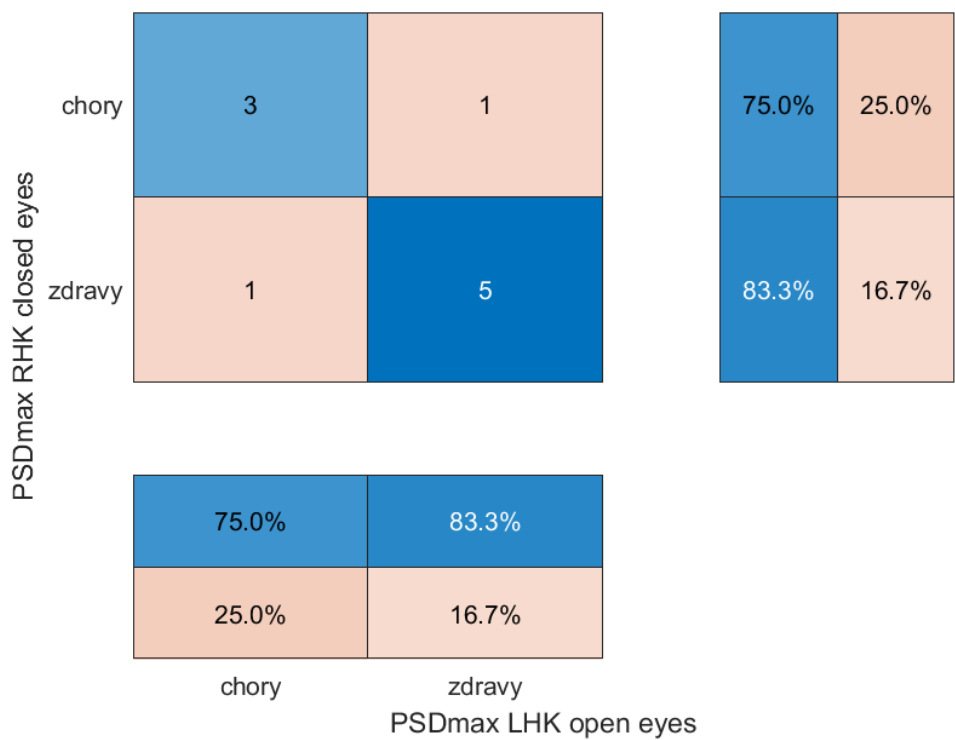
Na obrázku 3.12 je model natrénovaný na parametroch PSDmax, PSD7 Hz a PSD kumulatívne vo frekvenčnom pásme od 0 do 4 Hz. Na obrázku 3.13 je model natrénovaný na parametroch PSDmax LHK zatvorené oči a PSDmax LHK otvorené oči.

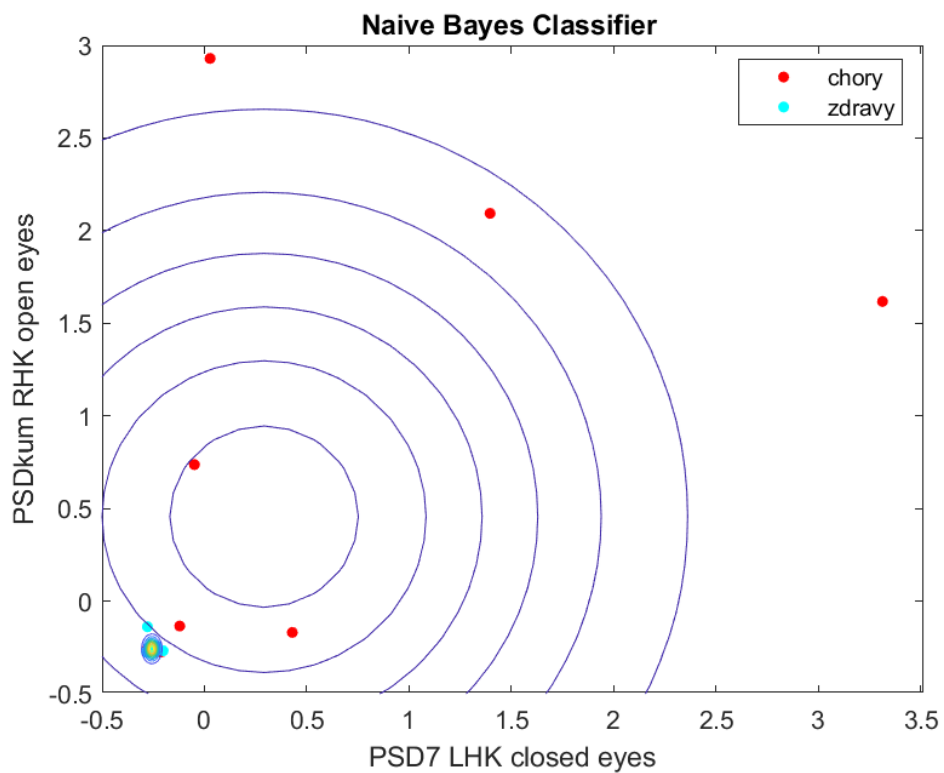
Všetky zobrazené modely sú iba ukážkové, keďže pri každom tréningu používame nové náhodne vybrané dáta.

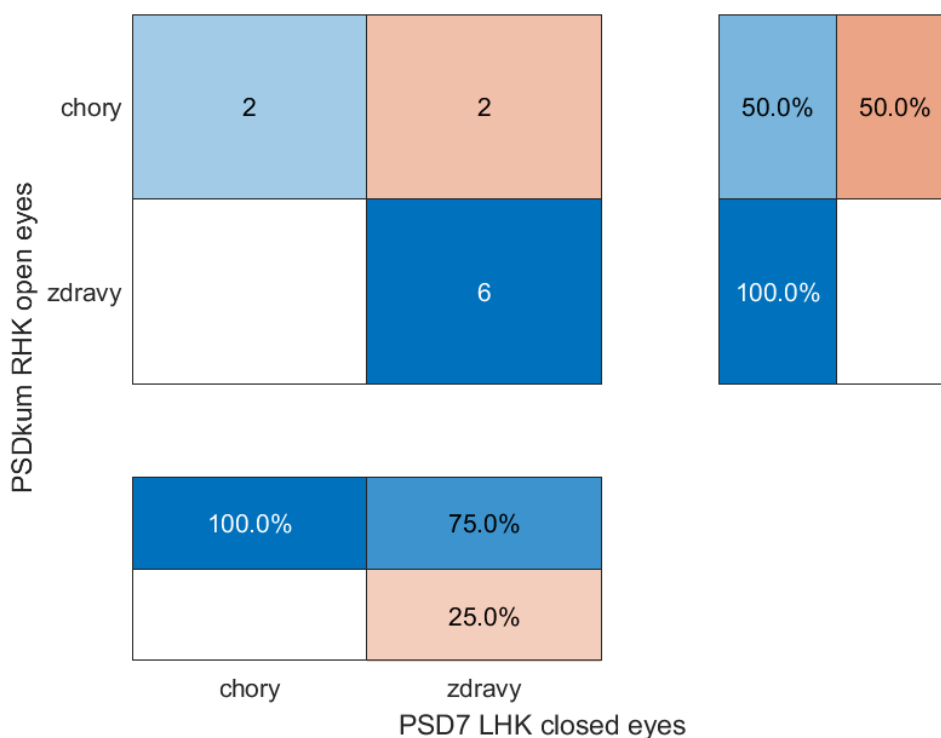
Pre zobrazené klasifikátory bolo vykonané ich testovanie. Pomocou modelov sme klasifikovali 66 kombinácií parametrov pre 18 probandov zo skupiny zdravých a pre 16 patriacich do skupiny trpiacej SM. Na obrázkoch sú nakreslené kontúry vybraných bayesovských klasifikátorov. Na základe výsledkov klasifikácie boli vytvorené konfúzne matice pre všetky dvojice parametrov. Ku každej klasifikácii modelu sme priradili aj jej konfúznú maticu.











## 3.4 Diskusia

Klasifikácia osôb do tried zdravý a chorý prebehla na základe troch rôznych hodnôt PSD z vyšetrenia tremoru akcelerometrom a gyroskopom. Pre klasifikáciu sme použili algoritmus K-means a naivný bayesov algoritmus.

### 3.4.1 K-means klasifikácia

Počas klasifikácie parametrov v kombinácii len s vlastnými parametrami dosiahol v jednom prípade klasifikátor pri oboch vzdialenostiach maximálnej hodnoty 79.41% . Z celkového počtu klasifikoval správne 27 jedincov z celkovej vzorky 34 ľudí. Avšak pri kombinácii s inými parametrami sme dosiahli až 82.35% v prípade cityblock vzdialenosti. V tomto prípade sme ale znížili senzibilitu testu na 90% z pôvodných 100, ktoré si udržal algoritmus v 90% všetkých testov. Viac parametrálna klasifikácia u manhattenskej vzdialenosti bola úspešnejšia, avšak v priemere všetkých natrénovaných klasifikátorov bolo použitie manhattenskej vzdialenosti všeobecne horšie z hľadiska presnosti. Optimálne sa javí použitie oboch klasifikátorov pre euklidovskú vzdialenosť ako aj cityblock. Výrazný úspech použitia manhattenskej vzdialenosti bude náhodný. Predpokladáme, že došlo k overfittingu (pretrénovaniu dát). Pre nové hodnoty by klasifikácia nemusela byť tak presná. Náš klasifikátor je veľmi presný pre triedu ľudí trpiacich SM, pretože dosahujeme v 90% až 100% špecificitu testu.

V skupine najlepších klasifikátorov sa často nachádzali parametre s pravou hornou končatinou. To sa dá vysvetliť, tým že všetci účastníci testu uviedli dominantnú ich pravú končatinu. Pokiaľ by však osoba uviedla dominantnosť na ľavej HK, mohlo by dôjsť k nesprávnej klasifikácii. Vďaka tomuto zisteniu vieme usúdiť, že rozdiely

medzi skupinou s RS a kontrolnou skupinou sú signifikantnejšie na dominantnej HK.

Naše výsledky rozdelenia osôb do tried nemusia ešte úplne odpovedať realite. Špecifita testu v našom klasifikátore je veľmi vysoká. U jedincov klasifikovaných do skupiny SM je možné povedať, že naozaj trpia týmto ochorením. Na druhú stranu toto isté tvrdenie nemôžeme povedať u zdravých jedincov, keďže nie u všetkých pacientoch sa SM preukazuje tremorom. Z tohoto dôvodu boli hodnoty niektorých pacientov zo skupiny chorých veľmi blízko parametrom osôb z kontrolnej skupiny. Môžeme ale predpokladať, že u skupiny zdravých osôb nedochádza k nesprávnej klasifikácii. Napriek tomu sa nedá tvrdiť s istotou, že zdraví jedinci nemajú nábeh na SM. Vybraní dobrovoľníci síce boli diagnostikovaní bez neurologickej choroby, avšak sto percentne si istý byť nemôžeme. Takáto anomália by na tak malej vzorke výrazne ovplyvnila výslednú klasifikáciu.

### 3.4.2 Bayesova naivna klasifikácia

Boli navrhnuté dva spôsoby ako otestovať bayesovský klasifikátor. Prvý spôsob bol rozdeliť dáta na tri časti. Dve z nich použiť na tréning a jednu časť na testovanie. Tento spôsob sa ukázal ako presnejší. Druhý spôsob bol presne opačný. Obidve možnosti mali v priemere 10 pokusov rozdiel v presnosti len 2%. V priemere dosahoval bayesov klasifikátor pre kombináciu dvoch parametrov porovnateľné až lepšie výsledky ako k-means algoritmus v maximálnej presnosti. Maximálna priemerná hodnota dosiahla až 87% pri použití parametrov LHK PSDkum s kombináciou s inými parametrami ľavej hornej končatiny. Pri použití iba jedného parametru bola jeho presnosť nižšia dosiahol maximálnu presnosť iba 79% pre klasifikáciu PSD-max ľavá horná končatina. Jeho maximálna presnosť bola v niektorých prípadoch až 100%. Viacparametrálne výsledky uvádzam v prílohe E.

1. parametrálna Bayes		Presnosť [%]	Senzibilita [%]	Špecifita [%]	Klasifikácia	
					Zle zdravý	Zle chorý
PSDmax	LHKC	67.50	84.17	46.67	2.00	0.42
	LHKO	79.17	85.83	70.00	0.92	0.33
	RHKC	69.17	84.44	50.83	1.83	0.42
	RHKO	72.50	86.94	52.08	1.67	0.25
PSD7	LHKC	70.83	91.67	46.67	2.08	0.00
	LHKO	65.83	79.44	46.25	1.92	0.67
	RHKC	77.50	81.94	72.50	0.92	0.50
	RHKO	75.00	88.61	60.00	1.50	0.17
PSDkum	LHKC	66.67	86.11	43.75	2.17	0.33
	LHKO	75.00	85.56	59.58	1.33	0.33
	RHKC	68.33	84.44	47.92	1.92	0.42
	RHKO	69.17	90.00	45.00	2.17	0.08

**Obr. 3.11:** Bayesov naivný klasifikátor priemerné hodnoty úspešnosti z 10 prebehnutí algoritmu

# Záver

Cielom práce bolo navrhnuť klasifikátor pre určenie osôb do tried zdravý a chorý pomocou parametrov zistených z vyšetrenia tremoru akcelerometrom a gyroskopom. Pre klasifikáciu bol vybraný zhlukovací klasifikátor bez učiteľa K-means a klasifikátor s učiteľom naivný bayes.

Klasifikácia prebehla pre samostatné parametre, ale aj pre ich možné kombinácie dvojparametrizácie. Pri K-means klasifikácii sme dosiahli uspokojivých výsledkov, či už v presnosti alebo špecifite, pri kombinácii viacerých parametroch. V prípade použitia iba samostatných parametrov sme nedosahovali až takej vysokej úspešnosti.

Pre klasifikáciu sme použili dva spôsoby výpočtu vzdialeností a to Manhattan-skú a Euklidovskú. V oboch prípadoch sme dosahovali priemernú presnosť iba okolo 60 %. V extrémoch dosahol k-means algoritmus až 79.41%

Naivný Bayesov klasifikátor dosiahol v priemer aj v extrémoch omnoho vyššie hodnoty. Klasifikátor bol natrénovaný na 2/3 dát. V priemere 10 pokusov náhodného výberu dát v dvojparametrálnej klasifikácii mal úspešnosť až 81 %. V niektorých prípadoch dosiahol v dvojparametrálnej kombinácii 100 % úspešnosť.

Ako výsledný klasifikátor bol vybraný Bayesov algoritmus a jeho klasifikácia na parametroch PSD7 ľavá horná končatina so zatvorenými očami a PSDkum ľavá horná končatina s otvorenými očami. Na dátach vykázal presnosť v priemere 91 %.

Pre lepšie výsledky klasifikácie algoritmom K-means by bolo pravdepodobne potrebné použiť väčšie množstvo dát pre zaistenie presnosti algoritmu. Pri takom malom množstve dát si nemôžeme byť istý jeho presnosťou. Realita sa môže líšiť od našej klasifikácie. Vytvorenie databázy výsledkov vyšetrenia tremoru akcelerometrom/gyroskopom horných končatín u pacientov s SM a zdravých dobrovoľníkov by zabezpečilo dostatočnú testovaciu množinu. Testovanie klasifikátorov by mohlo zabezpečiť vytvorenie klasifikátoru, ktorý by bol použiteľný pri diagnostike SM.





# Bibliografia

1. DOBSON, Ruth; GIOVANNONI, Gavin. Multiple sclerosis—a review. *European journal of neurology*. 2019, roč. 26, č. 1, s. 27–40.
2. HAVRDOVÁ, Eva. *Roztroušená skleróza v praxi*. Galén, 2015.
3. *Final Reports*. 2020. Dostupné tiež z: <http://www.nfimpuls.cz/index.php/en/czech-ms-registry/final-reports>.
4. LASSMANN, Hans. Pathology and disease mechanisms in different stages of multiple sclerosis. *Journal of the neurological sciences*. 2013, roč. 333, č. 1-2, s. 1–4.
5. TRAPP, Bruce D; PETERSON, John; RANSOHOFF, Richard M; RUDICK, Richard; MÖRK, Sverre; BÖ, Lars. Axonal transection in the lesions of multiple sclerosis. *New England Journal of Medicine*. 1998, roč. 338, č. 5, s. 278–285.
6. MACARON, Gabrielle; ONTANEDA, Daniel. Diagnosis and management of progressive multiple sclerosis. *Biomedicines*. 2019, roč. 7, č. 3, s. 56.
7. *Jaké jsou příčiny roztroušené sklerózy*. 2020. Dostupné tiež z: <http://www.nfimpuls.cz/index.php/roztrousena-skleroza/o-roztrousene-skleroze/152-priciny-roztrousene-sklerozy>.
8. JABLONSKI, Nina G; CHAPLIN, George. The evolution of human skin coloration. *Journal of human evolution*. 2000, roč. 39, č. 1, s. 57–106.
9. BENESOVA, Yvonne. Etiopatogeneze a patofyziologie roztroušené sklerózy. *Biomedicines*. 2013, roč. 1, č. 3, s. 56. Dostupné tiež z: <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js13/rs/web/pages/02-etiotogeneze-roztrousene-sklerozy.html>.
10. MUDR. EVA HAVRDOVÁ, CS doc. Roztroušená skleróza. *CSN*. 2008, roč. 1, č. 3, s. 56. Dostupné tiež z: <https://www.csnn.eu/casopisy/ceska-slovenska-neurologie/2008-2/roztrousena-skleroza-37798/download?hl=cs>.
11. DOBSON, Ruth; GIOVANNONI, Gavin. Multiple sclerosis—a review. *European journal of neurology*. 2019, roč. 26, č. 1, s. 27–40.
12. *Klinická manifestace roztroušené sklerózy*. [B.r.].
13. Tremor. *Biomedicines*. 2021. Dostupné tiež z: <https://medlineplus.gov/tremor.html>.
14. PUSCHMANN, Andreas; WSZOLEK, Zbigniew K. Diagnosis and treatment of common forms of tremor. In: *Seminars in neurology*. 2011, sv. 31, s. 065–077. Č. 01.

15. PUSCHMANN, Andreas; WSZOLEK, Zbigniew K. Diagnosis and treatment of common forms of tremor. In: *Seminars in neurology*. 2011, sv. 31, s. 065–077. Č. 01.
16. FIALA, O; RŽIČKA, E. Dyskinetické syndromy dětského věku. *Postgraduální medicína*. 2006, roč. 8, č. 5, s. 925–930.
17. JOHNSON, Jon. *Parkinson's tremor: Definition and how it differs from other tremors*. 2021. Dostupné tiež z: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/parkinsons-tremor#definition>.
18. KUČERA. *Parkinson's tremor: Definition and how it differs from other tremors*. 2003. Dostupné tiež z: <https://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/diferencialni-diagnoza-tresu-154097>.
19. MAKHOUL, Karim; AHDAB, Rechdi; RIACHI, Naji; CHALAH, Moussa A; AYACHE, Samar S. Tremor in multiple sclerosis—an overview and future perspectives. *Brain Sciences*. 2020, roč. 10, č. 10, s. 722.
20. LYONS, Kelly E; PAHWA, Rajesh. Deep brain stimulation and tremor. *Neurotherapeutics*. 2008, roč. 5, č. 2, s. 331–338.
21. ALUSI, S. H.; WORTHINGTON, J.; GLICKMAN, S.; BAIN, P. G. A study of tremor in multiple sclerosis. *Brain*. 2001, roč. 124, č. 4, s. 720–730. ISSN 0006-8950. Dostupné z DOI: 10.1093/brain/124.4.720.
22. NIELSEN, NM; PASTERNAK, B; STENAGER, Egon; KOCH-HENRIKSEN, Nils; FRISCH, Morten. Multiple sclerosis and risk of Parkinson's disease: a Danish nationwide cohort study. *European Journal of Neurology*. 2014, roč. 21, č. 1, s. 107–111.
23. KOCH, Marcus; MOSTERT, Jop; HEERSEMA, Dorothea; DE KEYSER, Jacques. Tremor in multiple sclerosis. *Journal of neurology*. 2007, roč. 254, č. 2, s. 133–145.
24. NEVŠIMALOVÁ, Soňa; RŽIČKA, Evžen; TICHÝ, Jiří et al. *Neurologie. Praha: Galén, 2002*. Tech. spr. ISBN 80-7262-160-2 (Galén), 80-246-0502-3 (Karolinum).
25. KOTIKOVÁ, Petra. Jak vypovídá vyšetření akcelerometrem o funkci horních končetin u nemocných s roztroušenou sklerózou mozkomíšni? 2019.
26. RICARDO RODRIGUES FIGUEIREDO Andréia Aparecida de Azevedo, Patrícia de Mello Oliveira. *Correlation analysis of the visual-analogue scale and the Tinnitus Handicap Inventory in tinnitus patients*. 2009. Dostupné tiež z: <https://www.scielo.br/j/rboto/a/DVj3X4hHpQLGVQcCWbwBN3L/?lang=en#>.
27. BISHOP, Christopher M; NASRABADI, Nasser M. *Pattern recognition and machine learning*. Springer, 2006. Č. 4.
28. *K-means Clustering*. 2020. Dostupné tiež z: [https://cw.fel.cvut.cz/b191/courses/be5b33rpz/labs/11\\_k-means/start](https://cw.fel.cvut.cz/b191/courses/be5b33rpz/labs/11_k-means/start).
29. DABBURA, Imad. *K-means Clustering: Algorithm, Applications, Evaluation Methods, and Drawbacks*. 2018. Dostupné tiež z: <https://towardsdatascience.com/k-means-clustering-algorithm-applications-evaluation-methods-and-drawbacks-aa03e644b48a>.

30. PIECH, Chris. *K Means*. 2013. Dostupné tiež z: <https://stanford.edu/~cpiech/cs221/handouts/kmeans.html>.
31. MISHRA, Aditya. *Metrics to Evaluate your Machine Learning Algorithm*. 2018. Dostupné tiež z: <https://towardsdatascience.com/metrics-to-evaluate-your-machine-learning-algorithm-f10ba6e38234>.
32. *Shluková analýza*. 2018. Dostupné tiež z: [http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/recognition/zapis\\_prednasky/zapis\\_02/13/shlukovani.pdf](http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/recognition/zapis_prednasky/zapis_02/13/shlukovani.pdf).
33. KORDAČ, Václav. *Vnitřní lékařství: úvod do oboru vyšetřovací metody*. Univerzita Karlova, 1989.





# Prílohy

## A Súhlas Etickej komisie Fakultnej nemocnice Kráľovské Vinohrady



ETICKÁ KOMISE  
FAKULTNÍ NEMOCNICE KRALOVSKÉ VINOHRADY  
MEDICAL FACULTY OF CHARLES UNIVERSITY

### ROZHODNUTÍ MULTICENTRICKÉ ETICKÉ KOMISE FAKULTNÍ NEMOCNICE KRÁLOVSKÉ VINOHRADY

EK-VP/01/0/2018

#### NÁZEV PROJEKTU:

Využití virtuální reality ve fyzioterapii na funkci horní končetiny u pacientů s roztroušenou sklerózou

#### Hlavní řešitel ve FNKV:

Doc. PhDr. Kamila Řasová, Ph.D.  
Klinika rehabilitačního lékařství

Etická komise na svém zasedání dne 10. ledna 2018 projednala návrh vědeckého projektu doloženého následujícími dokumenty:

1. Žádost
2. Anotace projektu
3. Informovaný souhlas pacienta
4. Životopisy členů týmu
5. Souhlas přednostky kliniky

Na základě hlasování EK vydává

- Souhlasné stanovisko  
 Nesouhlasné stanovisko

#### Upozornění ke stanovisku EK FNKV:

- Hlavní řešitel je povinen ohlásit EK FNKV datum zahájení a ukončení projektu a zaslat závěrečnou zprávu.
- V případě, že z projektu vzejde publikace, je hlavní řešitel povinen publikaci dedikovat FNKV.

## Seznam členů etické komise

Jméno a příjmení	Muž/ Žena	Odbornost	Zaměstnanec zřizovatele EK*		Funkce v EK	Přítomen		Hlasoval	
			Ano	Ne		Ano	Ne	Ano	Ne
prof. MUDr. Jan Pachtl, CSc.	M	anesteziolog	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	předseda	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUDr. Martin Herold	M	kardiolog	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	místopředseda	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUDr. Milan Brychta	M	onkolog	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Jarmila Folprechtová	F	zástupce pacientů	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	člen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PhDr. Libuše Gavlasová	F	zdravotní sestra	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MUDr. Nikola Mejzliková	F	internistka	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Dana Kovandová	F	tajemnice	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUDr. Eva Krpenská	M	chirurg	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mgr. Petr Mlynář	M	farmakolog	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Luboš Olejář	M	zástupce pacientů	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	člen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUDr. Leo Slavkovský	M	anesteziolog	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	člen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

(pozn: \*Zaměstnanec zřizovatele EK)

Etická komise prohlašuje, že byla ustavena a pracuje podle jednacího řádu v souladu se správnou klinickou praxí (GCP) a platnými právními předpisy: Ano Ne

10.1.2018  
Datum

Prof. MUDr. Jan Pachtl, CSc.  
předseda EK FNKV

Podpis předsedy/místopředsedy EK

*K. Pachtl*  
FAKULTNÍ NEMOCNICE  
KRÁLOVSKÉ VINOHRADY  
Srbělská 80, 100 54 Praha 10  
ETICKÁ KOMISE

## B Informovaný souhlas účastníka studie

### Informovaný souhlas účastníka studie

#### VLIV FYZIOTERAPEUTICKÝCH FACILITAČNÍCH TECHNIK FUNKCI HORNÍ KONČETINY U PACIENTŮ S ROZTROUŠENOU SKLERÓZOU

##### **Průběh a popis studie**

*Cílem tohoto projektu je zjistit vliv fyzioterapeutických intervencí na funkci horních končetin. Ve studii budou zaznamenány některé demografické údaje (věk, pohlaví, váha a výška) a data vztahující se k onemocnění (stupeň neurologického postižení, typ RS, délka trvání onemocnění, užívání léků).*

*Na hodnocení funkce horních končetin budou použité různé validované klinické testy (hodnotící sílu stisku a úchopu ruky, jemné a hrubé manuální zručnosti, manipulace s předměty, rychlost a koordinaci horních končetin) dotazníkové testy pro subjektivní hodnocení funkce a aktivity horních končetin (škála spasticity, zraková analogová škála hodnotící slabost, únavu, citlivost; měření manuální schopnosti, dotazník hodnotící obtíže při provádění aktivit denního života, záznam motorické aktivity horní končetiny, motorické oslabení trupu při dynamických a statických pozicích v sedě).*

*Vyšetření třesu bude realizované pomocí akcelerometru, fixovaného na III. prst ruky pomocí akrylátového prstýnku (naměřený záznam bude přenesen do počítače, z kterého se budou odečítat potřebné hodnoty). Dále bude sledována variabilita srdečního rytmu.*

*Tato vyšetření budou provedena vyškoleným nezávislým fyzioterapeutem, a to celkem čtyřikrát v čase – měsíc před začátkem terapie, před terapií, hned po skončení rehabilitace a s odstupem dvou měsíců. Každé z těchto čtyř měření bude trvat 1-1,5 hodiny a budou probíhat na Neurologické klinice FNKV v Praze. V případě potřeby budou dělané přestávky, celková doba bude přizpůsobena Vaší fyzické a psychické kondici.*

*V rámci studie podstoupíte ambulantní fyzioterapeutický program zaměřen na funkci horních končetin a aktivity denního života (2 terapie dvakrát týdně po dobu jedné hodiny) v rozsahu dvou měsíců (16 terapeutických jednotek). V terapiích se bude vycházet z přirozených pohybů zdravého člověka a z pohybů denních činností.*

Já, níže uvedený, dávám souhlas k účasti ve studii s názvem:

Vliv fyzioterapeutických facilitačních technik funkcí horní končetiny u pacientů s roztroušenou sklerózou

Jméno: .....

Rodné číslo: .....

Identifikační kód.....



1. Zcela dobrovolně souhlasím s účastí v této studii.
2. Byl(a) jsem plně informován(a) o účelu této studie, o procedurách s ní souvisejících a o tom, co se ode mne očekává. Měl(a) jsem možnost položit jakýkoliv dotaz, týkající se použité metody i účelu této studie a potvrzuji, že všechny mé dotazy byly zodpovězeny.
3. Souhlasím, že budu plně spolupracovat s lékaři studie a budu je ihned informovat, pokud se objeví změny mého zdravotního stavu nebo nečekané či neobvyklé projevy.
4. Víím, že mohu kdykoli svobodně ze studie odstoupit, aniž by to mělo vliv na kvalitu mého dalšího léčení.
5. Chápu, že informace v mé zdravotnické dokumentaci jsou významné pro vyhodnocení výsledků studie. Souhlasím s využitím těchto informací s vědomím, že bude zachována důvěrnost těchto informací.

**Koordinátor studie:** PhDr. Kamila Řasová, Ph.D.

Podpis pacienta:

„Souhlasím“

Jméno pacienta:

Datum:

Já, níže podepsaný (klinický pracovník), tímto prohlašuji, že jsem dle mého nejlepšího vědomí vysvětlil/a cíle, postupy, výhody a rovněž také rizika a diskomfort vyplývající z této studie účastníku této studie nebo jeho zákonnému zástupci (jméno a příjmení)..... Účastník poskytl svůj informovaný souhlas k účasti ve studii. Kopie informovaného souhlasu bude dobrovolníkovi poskytnuta.

Datum: .....

Podpis výzkumného pracovníka: .....

C Tabuľka klasifikačnej úspešnosti algoritmu K-means pre samostatné parametre s 2 vzdialenosti

Parameter		Uspešnosť klasifikácie	
		euclid [%]	cityblock [%]
PSDmax	L'avá HK zatvorené oči	73.53	69.57
	L'avá HK otvorené oči	79.41	69.57
	Pravá HK zatvorené oči	79.41	72.73
	Pravá HK otvorené oči	73.53	69.57
PSD7	L'avá HK zatvorené oči	64.71	76.19
	L'avá HK otvorené oči	64.71	59.26
	Pravá HK zatvorené oči	64.71	59.26
	Pravá HK otvorené oči	64.71	57.14
PSDkum	L'avá HK zatvorené oči	70.59	80.00
	L'avá HK otvorené oči	70.59	80.00
	Pravá HK zatvorené oči	70.59	76.19
	Pravá HK otvorené oči	64.71	57.14

D Tabuľka klasifikačnej úspešnosti algoritmu K-means pre dvojice parametrov s najlepšou úspešnosťou klasifikácie pre dve vzdialenosti

Dvojice parametrov [-]		euclid [%]	cityblock [%]
PSDmax LC	PSDmax RC	73.53	73.53
PSDmax LO	PSD7 LC	73.53	73.53
PSDmax RC	PSD7 LC	73.53	82.35
PSDmax RO	PSDmax LO	73.53	76.47
PSD7 LC	PSDmax LO, RC	73.53	82.35
PSD7 LO	PSDmax RC, RO	70.59	73.53
PSD7 RC	PSDmax LC	73.53	82.35
PSD7 RO	PSDkum LO, RO; PSD7 RO	64.71	82.35
PSDkum LC	PSDmax LC; PSD7 RC	67.65	73.53
PSDkum LO	PSDmax LC, RC, RO; PSDkum RC	70.59	67.65
PSDkum RC	PSDmax LO; PSDkum LO	70.59	67.65
PSDkum RO	PSD7 RC	67.65	67.65

## E Tabuľka klasifikačnej úspešnosti algoritmu Bayes pre dvojice parametrov s priemernou úspešnosťou klasifikácie zpriemеровanej na 10 pokusoch

2. parametrálna Bayes			Presnosť [%]	Klasifikácia	
				Zle zdravý	Zle chorý
Ľavá HK	PSDmax	PSDmax	85.00	1.40	0.10
	PSDmax	PSD7	80.75	0.28	1.50
	PSDmax	PSDkum	84.75	1.48	0.05
	PSD7	PSD7	76.00	1.90	0.50
	PSD7	PSDkum	86.50	1.33	0.03
	PSDkum	PSDkum	87.00	1.10	0.20
Celkový priemer			83.33	1.25	0.40
Pravá HK	PSDmax	PSDmax	82.00	1.10	0.70
	PSDmax	PSD7	79.00	1.55	0.55
	PSDmax	PSDkum	77.00	1.83	0.48
	PSD7	PSD7	87.00	0.90	0.40
	PSD7	PSDkum	79.75	1.55	0.48
	PSDkum	PSDkum	76.00	1.80	0.60
Celkový priemer			80.13	1.45	0.53
Otvorené oči	PSDmax	PSDmax	82.00	1.40	0.40
	PSDmax	PSD7	77.75	1.70	0.53
	PSDmax	PSDkum	81.50	1.70	0.15
	PSD7	PSD7	80.00	1.70	0.30
	PSD7	PSDkum	77.00	1.93	0.38
	PSDkum	PSDkum	83.00	1.40	0.30
Celkový priemer			80.21	1.64	0.34
Zatvorené oči	PSDmax	PSDmax	79.00	1.60	0.50
	PSDmax	PSD7	84.00	1.38	0.23
	PSDmax	PSDkum	81.75	1.60	0.23
	PSD7	PSD7	89.00	1.00	0.10
	PSD7	PSDkum	87.25	1.20	0.08
	PSDkum	PSDkum	85.00	1.40	0.10
Celkový priemer			84.33	1.36	0.20