

MASARYKOVA UNIVERZITA
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
ÚSTAV BOTANIKY A ZOOLOGIE



POUŽITÍ MODERNÍCH
NEUROZOBRAZOVACÍCH METOD VE
VÝZKUMU A LÉČBĚ NERVOVÉHO SYSTÉMU

Diplomová práce

Strouhalová Soňa

Vedoucí práce: doc. RNDr. Martin Vácha, Ph.D.

Brno 2016

Bibliografický záznam

- Autor:** Bc. Soňa Strouhalová
Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita
Ústav botaniky a zoologie
- Název práce:** POUŽITÍ MODERNÍCH NEUROZOBRAZOVACÍCH
METOD VE VÝZKUMU A LÉČBĚ NERVOVÉHO
SYSTÉMU
- Studijní program:** Ekologická a evoluční biologie
- Studijní obor:** Učitelství biologie pro střední školy, učitelství
matematiky pro střední školy
- Vedoucí práce:** doc. RNDr. Martin Vácha, Ph.D.
- Akademický rok:** 2015/2016
- Počet stran:** 71+7
- Klíčová slova:** EEG, fMRI, PET, SPECT, CT, evokované
potenciály, optické zobrazování, vegetativní stav,
učení, paměť, emoce

Bibliographic Entry

Author Bc. Soňa Strouhalová
Faculty of Science, Masaryk University
Department of ..Botany and Zoology.

Title of Thesis: Utilisation of modern neuroimaging methods in research and therapy of nervous system.

Degree programme: Ecological and Evolutionary Biology

Field of Study: Upper Secondary School Teacher Training in Biology, Upper Secondary School Teacher Training in Mathematics

Supervisor: doc. RNDr. Martin Vácha, Ph.D.

Academic Year: 2015/2016

Number of Pages: 71+7

Keywords: EEG, fMRI, PET, SPECT, CT, evoked potentials, optical imaging, vegetative state, learning, memory, emotion

Abstrakt

Předložená diplomová práce je literární rešerší, která se zabývá neurozobrazovacími metodami a jejich použitím ve výzkumu a léčbě nervového systému. Cílem práce je srovnání neurozobrazovacích metod z hlediska principu a vhodnosti použití a poskytnutí přehledu současných témat neurobiologie řešených pomocí neurozobrazovacích metod.

První část práce je věnována nervovému systému a konkrétním neurozobrazovacím metodám. Je zde uveden stručný přehled nervové soustavy. Metody, které jsou v práci popsány, jsou výpočetní tomografie (CT), elektroencefalogram (EEG), magnetická rezonance (MRI), pozitronová emisní tomografie (PET), jednofotonová emisní tomografie (SPECT), hybridní systémy, metoda evokovaných potenciálů (EP) a optické zobrazování. Je zde popsán princip těchto metod a jejich konkrétní užití pro diagnostiku nemocí.

Druhá část je věnována konkrétním tématům. Jsou zde uvedeny studie zabývající se studiem vegetativního stavu a léčbou chronické bolesti pomocí neurozobrazovacích metod. Dále se práce zabývá neurofyziologickou podstatou psychických stavů a procesů jako je učení, paměť, emoce, dějů v a v neposlední řadě se zabývá možností ovládnutí technických zařízení pomocí mentální aktivity.

Abstract

The present thesis is a literature review that deals with neuroimaging methods and their use in research and treatment of nervous system. The aim of the study is to compare neuroimaging methods in terms of principle and suitability for use and to provide an overview of current topics of neurobiology solved using neuroimaging methods.

The first part is devoted to the nervous system and specific neuroimaging methods. There is a brief overview of the nervous system in this thesis. The described methods are computed tomography (CT), electroencephalogram (EEG), magnetic resonance imaging (MRI), positron emission tomography (PET), single photon emission computed tomography (SPECT), hybrid systems, the method of evoked potentials (EP) and optical imaging. There is described the principle of these methods and their specific use for diagnosing diseases.

The second part is devoted to a specific topic. There are presented studies dealing with the study of vegetative state and management of chronic pain by neuroimaging methods. The thesis deals with the essence of neurophysiological mental states and processes such as learning, memory, emotion, déjà vu and finally deals with the possibility of controlling technical equipment through mental activity.



Masarykova univerzita

Přírodovědecká fakulta



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Soňa Strouhalová**
Studijní program: **Ekologická a evoluční biologie**
Studijní obor: **Učitelství biologie pro střední školy**

Ředitel Ústavu botaniky a zoologie PřF MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje diplomovou práci s tématem:

Použití moderních neurovizuálních metod ve výzkumu a léčbě nervového systému.

Utilisation of modern neuroimaging methods in research and therapy of the nervous system.

Oficiální zadání: Na základě samostatného studia současné vědecké literatury, formou literární rešerše zpracovat problematiku moderních neurovizuálních metod ve výzkumu a léčbě nervového systému. Různé metody budou srovnány z hlediska jejich principu a vhodnosti použití. Zvláštní pozornost bude věnována současnému výzkumu neurální podstaty funkcí a stavů lidského mozku (učení, emoce, atd.). Práce poskytne přehled současných témat neurobiologie řešených pomocí vizuálních metod. Zmíněny budou možnosti aplikací v ovládnutí technických zařízení a přímé komunikace pomocí záznamu mozkové aktivity. Práce bude podle ožnosti obsahovat i kritické názory nebo polemiky k otázkám výpovědní hodnoty, vhodnosti používání a dalších společenských nebo technických aspektů využívání neurovizuálních metod.

Literatura:

1. Elena Rusconi and Timothy Mitchener-Nissen (2013) Prospects of functional magnetic resonance imaging as lie detector. *Front Hum Neurosci.* 2013; 7: 594.
2. Richard E. Harris, Daniel J. Clauw (2012) Imaging central neurochemical alterations in chronic pain with proton magnetic resonance spectroscopy. *Neuroscience Letters* 520 (2012) 192–196.
3. Kerri Smith (2012) fMRI 2.0 *Nature* 484.
4. Nikos K. Logothetis (2008) What we can do and what we cannot do with fMRI. *NATURE/Vol 453/12*
5. Další samostatně získaná literatura.

Jazyk závěrečné práce: čeština

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Martin Vácha, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

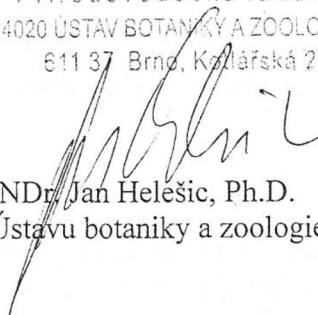


Konzultant:

Datum zadání diplomové práce:

V Brně dne 30. 11. 2013

MASARYKOVA UNIVERZITA
Přírodovědecká fakulta
4020 ÚSTAV BOTANIKY A ZOOLOGIE
611 37 Brno, Kozlářská 2



doc. RNDr. Jan Helešic, Ph.D.
ředitel Ústavu botaniky a zoologie

Zadání diplomové práce převzala dne:

Podpis studenta



Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí mé diplomové práce : doc. RNDr. Martin Vácha, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, poskytnutí materiálů, trpělivost a čas, který mi věnoval.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s využitím informačních zdrojů, které jsou v práci citovány.

Brno 4. ledna 2016

.....
Jméno Příjmení

OSNOVA

1. ÚVOD	10
2. Nervová soustava	12
2.1 Části mozku	14
3. Princip a užití neurozobrazovacích metod	17
3.1 EEG - elektroencefalograf	17
3.2 CT- Počítačová (výpočetní) tomografie	19
3.3 MAGNETICKÁ REZONANCE-MRI	26
3.4 EMISNÍ TOMOGRAFIE	30
3.5 HYBRIDNÍ ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY SPECT/CT, PET/CT, PET/MRI.....	35
3.6 EP- Evokované potenciály	38
3.7 OPTICKÉ ZOBRAZOVÁNÍ.....	40
3.8 RIZIKA A KONTRAINDIKACE ZOBRAZOVACÍCH METOD	41
4. Využití neurozobrazovacích metod v moderní medicíně	42
4.1 Bolest	42
4.2 Vegetativní Stav	45
5. Výzkum nervového systému	48
5.1 Emoce	48
5.2 Učení a paměť.....	50
5.3 Déjà vu	51
6. Mystická zkušenost	53
7. Ovládání technických zařízení pomocí mentální aktivity	54
7.1 Brain-Computer Interface	54
7.2 Ovládání externích zařízení mozkovou aktivitou	57
8. DETEKOVÁNÍ LŽI	58
9. MOŽNOSTI NEUROZOBRAZOVACÍCH METOD	59
10. DIDAKTICKÁ ČÁST	60
11. ZÁVĚR	61
Zdroje	63
Přílohy	72

1. ÚVOD

Zvědavost a touha po poznání jsou jedny ze základních vlastností nás lidí. Lidské tělo, jako takové, člověka fascinovalo od nepaměti.

Snaha přijít na to, jak fungují jednotlivé orgány, tělo jako funkční celek a lidská mysl, lze vyčíst z různých spisů a knih zabývajících se anatomii těla. První písemná zmínka o anatomii mozku je z Egypta v tzv. chirurgickém papyru Edwina Smitha z období zhruba 3500 př. Kr. Za centrum mysli bylo považováno srdce, o mozku jako centru duševních procesů se začíná uvažovat až v antickém Řecku.

Od metod pozorujících lidské tělo, kdy se nejednalo o přímé pozorování (např. zkoumání výměšků a podobně), se velkým skokem posunuly zobrazovací metody v medicíně na konci 19. století, kdy Wilhelm Konrad Roentgen zkoumal a popsal paprsky X. V roce 1895 právě tento německý fyzik demonstroval první rentgenový snímek - snímek ruky své ženy s prstenem - a v roce 1901 mu byla udělena jako prvnímu Nobelova cena za fyziku za objev rentgenového záření. Rentgenové záření brzy našlo uplatnění v lékařství a stalo se základem neinvazivních zobrazovacích metod.

V 20 letech 20. století Hans Berger poprvé zaregistroval bioelektrickou aktivitu mozku a na začátku 30. let uskutečnil první záznam těchto signálů – tzv. elektroencefalogramem (EEG) – jenž je další neinvazivní technikou, která významně napomohla pochopení funkcí jednotlivých částí mozku. Navíc je EEG, po téměř 100 letech od objevu jeho principu, používáno dodnes.

V průběhu 20. století se díky novým technologiím začaly velkou rychlostí vyvíjet různé zobrazovací metody jako počítačová tomografie (70. léta, CT), která využívá vlastností rentgenových paprsků, nukleární magnetická rezonance (NMR, objev principu NMR se odehrál ve 40. letech 20. stol, v 70 letech se stala zobrazovací technikou), emisní tomografie, optické zobrazování, evokované potenciály aj. Mnoho vědců a objevitelů těchto technik a jejich principů bylo oceněno Nobelovou cenou např. Bloch a Purcell byli oceněni v roce 1952 (magnetické rezonance) Hounsfield a Bracewell obdrželi Nobelovu cenu v roce 1979 (počítačová tomografie) atd.

Jeden z největších úkolů dnešní doby je pochopit jak vlastně funguje lidský mozek a celkově i nervová soustava. Díky těmto technikám můžeme pozorovat nejen různé části a struktury lidského těla, ale především nám umožňují pozorovat změny v jednotlivých částech mozku během různých aktivit. Techniky, které nám umožňují zobrazit velmi složitou strukturu mozku a jeho aktivitu, nazýváme neurozobrazovací techniky.

Význam pojmu neurozobrazovací metody se v literatuře pohybuje od zobrazování struktur na molekulární úrovni (neurotransmitery a receptory) až po zobrazování rozsáhlejších sítí (funkční oblasti mozku)(Poldrack and Farah, 2015).

Pomocí těchto metod dokážeme zjistit změny ve struktuře mozku u jednotlivých nervových onemocnění jako je epilepsie, Parkinsonova choroba, Alzheimerova choroba, schizofrenie aj. a tyto nemoci diagnostikovat. Můžeme zkoumat podstatu psychologických procesů a stavů. Některé techniky neslouží jen k diagnostice nemocí, ale v některých případech se o nich smýšlí jako o léčebných nástrojích. Techniky snímání neurální aktivity už navíc našly uplatnění při řešení otázky, zda pomocí myšlenky lze ovládat různá technická zařízení.

CÍLE PRÁCE:

V této práci se budu zabývat právě výše zmiňovanými technikami, které mohou zobrazit morfologii i funkci nervové tkáně a jejich konkrétním využitím.

Práce je rozdělena na dvě části:

1. Neurozobrazovací metody, jejich popis, funkce a možnosti užití
2. Konkrétní užití neurozobrazovacích metod v moderní medicíně, zkoumání neurální podstaty vybraných funkcí a procesů, např. paměť a učení, vegetativní stav, déjà vu, emoce, ovládání techniky pomocí těchto mentální aktivity apod.

2. Nervová soustava

Pro lepší představu toho, jak fungují jednotlivé neurozobrazovací metody si představíme nervovou soustavu.

Nervová soustava (NS) umožňuje komunikaci mezi orgány a jejich spojení v jednotný celek, řídí a kontroluje činnost všech částí organismu a tím umožňuje rychlou reakci na změny vnitřního i vnějšího prostředí (O'Connor, 2013).

Základní stavební jednotkou nervového systému je nervová buňka - neuron, která je specializovaná na přenos nervových vzruchů – stimulů. Neurony se skládají z buněčného těla – soma, které obsahuje jádro a cytoplazmu s organelami, výběžků buněčného těla – dendritů, které přijímají signály z jiných neuronů nebo smyslových buněk a nervového vlákna – axonu, nejdelšího výběžku, který vede signál ven z neuronu. Základní funkční jednotka NS je reflex, který probíhá na tzv. reflexních obloucích (Farley et al., 2014a).

NS se dělí na dvě hlavní části: centrální nervový systém (CNS) a periferní nervový systém (PNS)(Catala and Kubis, 2013). Periferní nervy spojují oběma směry CNS s orgány celého těla a dělí se na tři typy:

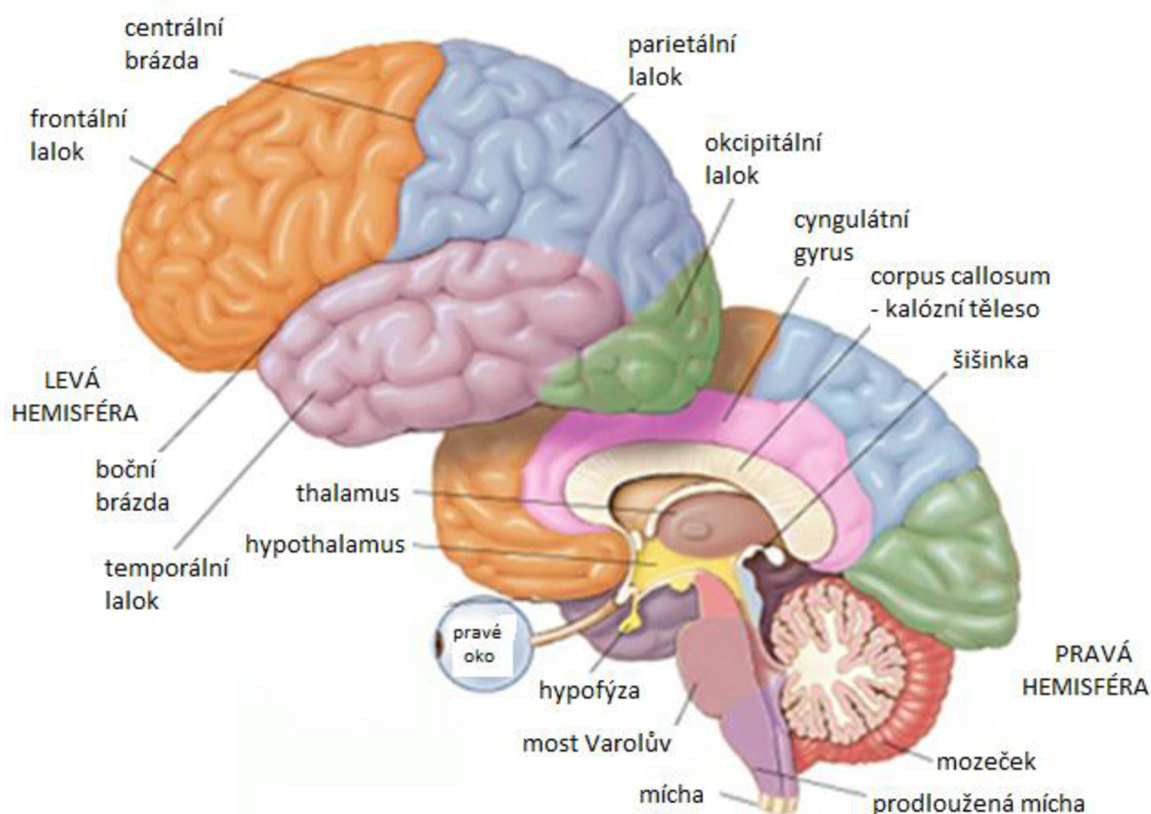
- Mozkové nervy (12 párů) vystupují z mozku. Mohou být senzorké, motorické nebo smíšené
- Míšní nervy (32 párů) vystupují z postranních rýh míchy jako přední a zadní míšní kořeny.
- Útrobní nervy zajišťují činnost orgánů, inervují hladké svalstvo, svalstvo srdeční a žlázy (Farley et al., 2014b).

Součástí PNS je somatický nervový systém, který můžeme vědomě ovládat – zahrnuje senzorké a motorické nervy, a autonomní (vegetativní) nervový systém, který řídí činnost vnitřních orgánů. Autonomní nervový systém rozlišujeme na dvě části: na sympatický a parasympatický nervový systém (Farley et al., 2014a; Farley et al., 2014b).

CNS se skládá z míchy a mozku, jež jsou chráněné obaly tzv. plenami (meninges). Tvrdá plena (dura mater) tvoří vnější obal, omozečnice (pia mater) kryje povrch mozku a vniká do všech záhybů a pavoučnice (arachnoidea) je zevní měkká plena, která do záhybů neproniká. Pavoučnice a omozečnice jsou od sebe oddělené mozkomíšním mokem (liquor cerebrospinalis). Mozkomíšní

mozek nadlehčuje a chrání mozek a míchu před nárazy a otřesy (Valenta et al., 2012).

Mícha je uložena v páteři složené z obratlů. Tvoří ji centrální kanál s mozkomíšním mokem, šedá hmota, obsahující těla buněk a krátká nervová vlákna a bílá hmota, která obklopuje šedou hmotu a obsahuje dlouhá vlákna interneuronů spojující se do svazku, které tvoří tzv. provazce (Farley et al., 2014a).



Obrázek č. 1: Mozek a jeho části.

Pod lebečními kostmi se nachází největší část mozku - koncový mozek, který je rozdělen na dvě části tzv. hemisféry – pravou a levou, které jsou spojené tzv. kalózním tělesem. Každá hemisféra je rozdělena, podle toho, pod kterou lebeční kostí se nachází, na 4 laloky: frontální, parietální, okcipitální a temporální. Pod koncovým mozkem se nachází ostatní části mozku: cyngulární gyrus, mozeček, most Varolův, mezimozek (thalamus, hypothalamus, hypofýza, epifýza - šišinka) a prodloužená mícha, která spojuje míchu s mozkem.

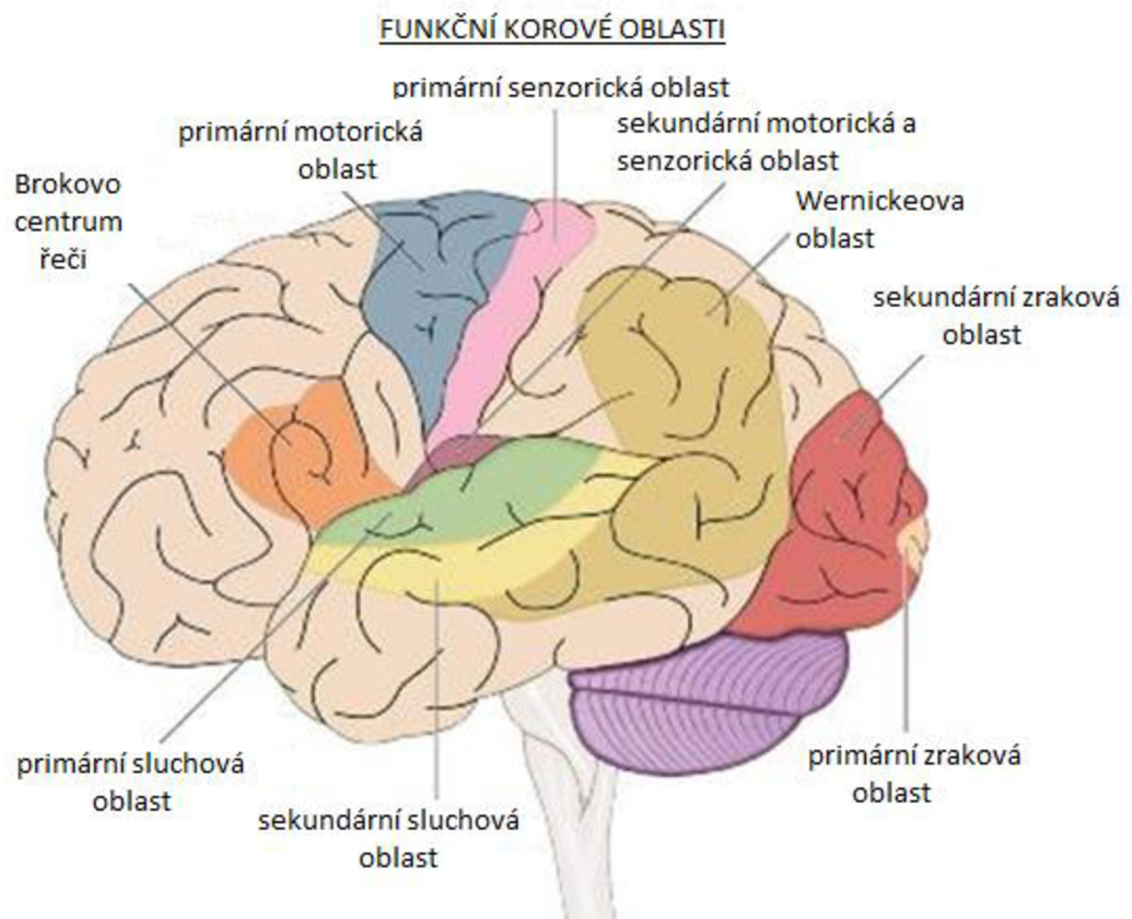
Upraveno podle: http://wps.prenhall.com/br_morris_intro_psicologia_6/16/4119/1054528.cw/index.html

Mozek je uložen v dutině lebeční. Mozek dospělého člověka obsahuje téměř 10^{11} nervových buněk nebo neuronů. Fylogeneticky nejstarší částí mozku je mozkový kmen složený z prodloužené míchy (medula oblongata), mostu Varolova (pons Varoli), a středního mozku (mesencephalon) (Farley et al., 2014a). Jsou v něm uložena centra řízení základních životních funkcí. Podél mozkového kmene se tvoří tzv. retikulární formace, která je nezbytná pro udržení vzpřímeného postoje, jsou zde centra pro dýchání a krevní oběh a udržuje mozkovou kůru (viz níže) ve stavu bdění.

2.1 Části mozku (Obr. 1.):

- **Prodloužená mícha** je pokračováním míchy hřbetní, obsahuje bílou hmotu na přední straně a na zadní straně šedou hmotu, obsahuje jádra některých mozkových nervů a centra životně nepodmíněných reflexů obranných (např. mrkání, kašel, kýchání) a potravních (např. sání polykání, slinění)(Valenta et al., 2012).
- **Most Varolův** má tvar příčného valu, obsahuje šedou hmotou a značně vyvinutou bílou hmotou a spojuje mozkovou kůru s nižšími částmi CNS, hlavně s mozečkem(Valenta et al., 2012).
- Druhou největší částí mozku je **mozeček** (cerebellum). Mozeček se skládá ze dvou polokoulí (hemisfér), na jeho povrchu je asi 1mm silná vrstva šedé hmoty. Je centrem udržování postoje a motorické aktivity. Při jeho poškození vzniká obrna a jeho činnost je dočasně narušena při nadměrné konzumaci alkoholu (Valenta et al., 2012).
- **Střední mozek** je nejmenší částí mozku. Jeho střední část je obsahuje pigmentované buňky tzv. černé jádro (nukleus niger), při jejich narušení se objevuje klidový třes svalová ztuhlost a ztráta automatických pohybů, dále obsahuje červené jádro, kde se sbíhají dráhy mozečku, mozkové kůry, thalamu a míchy a na horní straně středního mozku jsou dva páry hrbolků šedé hmoty - čtverhrbolí, který zprostředkovává reakce na zrakové a sluchové podněty a obsahuje centrum pro akomodaci čočky a zornicového reflexu (Valenta et al., 2012).

- **Mezimozek** (diencephalon) je zcela pokryt hemisférami koncového mozku. Boční stěny tvoří pravý a levý hrbol mezimozkový (thalamus), útvar z šedé hmoty, který přijímá a zpracovává smyslové vzruchy a při zpracování těchto vzruchů se spolu s limbickým systémem podílí na vzniku emočního doprovodu počitků. K přední části mezimozku je připojeno podhrbolí (hypothalamus), který udržuje homeostázi organismu a zajišťuje regulaci vegetativních funkcí buď nervově, nebo hormonálně prostřednictvím podvěsku mozkového (hypofýzy). Obsahuje mimo jiné centrum sytosti a hladu, termoregulační centrum a řízení afektivního a sexuálního chování (Valenta et al., 2012).



Obrázek č. 2: Funkční korové oblasti.

Povrch hemisfér koncového mozku je tvořen mozkovou kůrou.

Čelní lalok obsahuje centra pro úmyslný pohyb, motivaci, agresi a nálady. Brokovo centrum řeči je důležité pro konstrukci vět – při jeho poškození např. po mrtvici není pacient schopen sestavit větu.

Parietální lalok obsahuje centra pro smyslové vnímání. Přijímá a interpretuje vjemy z receptorů kůže, svalů a vnitřních orgánů.

Spánkový lalok obsahuje sluchové centrum, čichové centrum centrum zodpovědné za vnímání pachů a vůní a Wernickovu oblast, zadní centrum řeči, zodpovědnou za slovní zásobu a porozumění.

Temenní lalok obsahuje zraková centra.

Upraveno podle http://my-ms.org/anatomy_brain_part1.htm

- **Koncový mozek** (telencephalon) je největší oblast mozku člověka, je složen ze dvou hemisfér, na jejichž povrchu je mnoho hlubokých mozkových závitů – tzv. gyri, přibližně jeden cm široké, oddělené mělkými rýhami - sulci. Tyto závitů a rýhy značně zvětšují povrch mozku. Hemisféry jsou spojené pásem bílé mozkové hmoty zvané corpus callosum. Vnitřek hemisfér je vyplněn bílou hmotou a hemisféry jsou pokryté pláštěm (pallium), který je tvořený šedou kůrou mozkovou (neokortex, neopallium). Kůra řídí veškerou činnost organismu a je centrem vyšší nervové činnosti. Každá hemisféra je složená ze čtyř laloků pojmenovaných podle lebečních kostí, pod kterými se nachází: čelní (frontální), temenní (parietální), týlní (okcipitální) a po stranách spánkové (temporální) (Hendry et al., 2014).

Pro více informací o nervovém systému doporučuji (Catala et al., 2013; Kenney et al., 2014; Valenta et al., 2012)

3. Princip a užití neurozobrazovacích metod

V této kapitole se seznámíme s některými metodami a technikami vhodnými pro zobrazování struktur, funkcí a aktivity nervové soustavy.

3.1 EEG - elektroencefalograf

EEG je první v neurologii široce používanou neurofyziologickou metodou. V roce 1924 Hans Berger (zakladatel klinické elektroencefalografie) poprvé registroval bioelektrickou aktivitu lidského mozku. V roce 1933 uskutečnil první záznam EEG v celkové anestezii chloroformem. Na konci 30. let 20. století se začala vyrábět první jednoúčelová zařízení pro registraci elektrické mozkové aktivity (Shorvon, 2009).

EEG měří aktivitu korové oblasti, používá se ke zkoumání cyklu spánek bdělost, epileptických¹ záchvatů a reakcí mozku na drogy. V klinické praxi se používá ke stanovení mozkové smrti (Panksepp et al., 2007) dále při diagnostice nádorů, cévních mozkových příhod, traumatických lézí, apod.

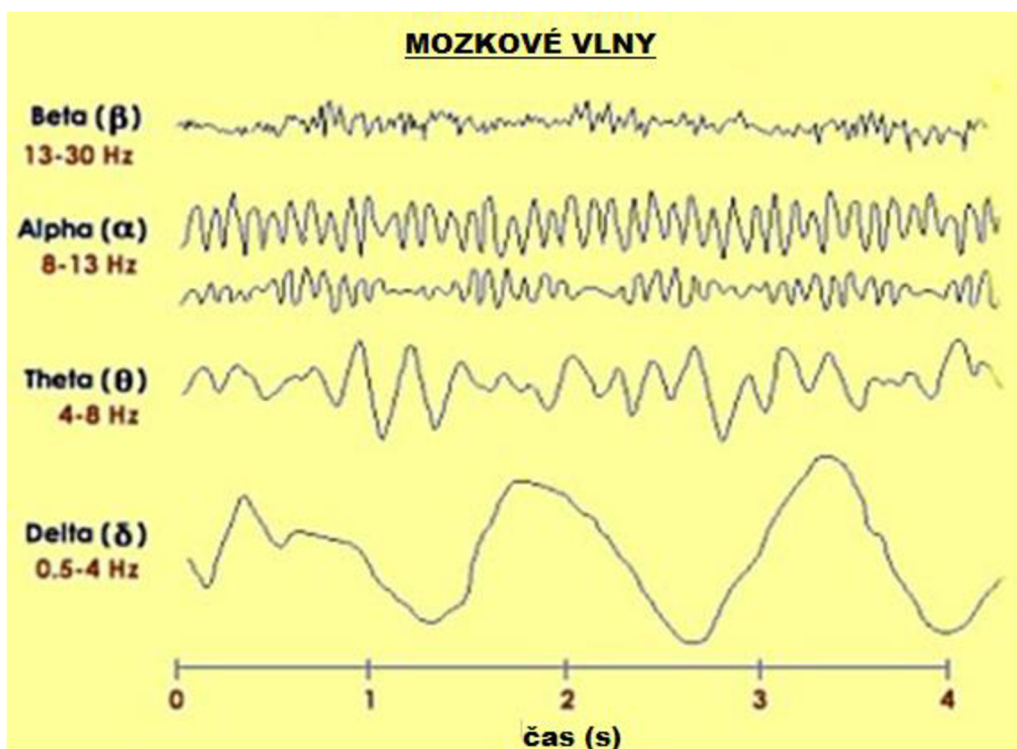
Standardní EEG vyšetření je prováděno prostřednictvím několika (většinou 19-21) snímacích elektrod umístěných na povrchu hlavy. V posledních letech je jejich umístění standardizováno používáním speciálních EEG čepic s všitými elektrodami. Z jednotlivých elektrod je signál odváděn do diferenčních zesilovačů. Poté musíme signály velmi výrazně zesílit, aby se staly hodnotitelnými. V diferenčních zesilovačích se současně stanoví potenciálové rozdíly mezi dvojicemi snímacích elektrod a jejich kolísání v čase tvoří základ EEG křivek (Bednařík et al., 2013; Koenig et al., 2005) .

EEG křivka je tvořena vlnami různé amplitudy (výšky) a různého trvání (délky). Podle jejich frekvence (též kmitočet; počet vln, které se objeví za 1s) dělíme vlny do frekvenčních skupin (Obr. 3.)(Knyazev, 2012):

- Alfa vlny (8-12/13 Hz), jejichž aktivita převládá u dospělých zdravých jedinců se zavřenými očima v temporoparietookcipitální (TPO) oblasti, při otevření očí jejich aktivita mizí.

¹ Epilepsie – onemocnění, projevující se záchvaty, příčinou může být poranění mozku, infekce, odchylky ve stavbě mozku, nádory, toxické poškození (např. alkoholem)

- Beta vlny (nad 13 Hz), jejichž aktivita se u zdravých jedinců vyskytuje převážně nad přední oblastí hlavy.
- Theta vlny (4 - 7,5Hz) jsou charakteristické pro spánková stádia a pro dětský věk, v bdělém stavu se mohou ojediněle vyskytovat u zdravého bdícího jedince v temporálních oblastech.
- Delta vlny (pod 3,5 Hz) se u zdravého jedince vyskytují jen v hlubokém spánku, jindy jejich nálezn znamená abnormitu či patologii. V bdělém stavu se vyskytují pouze u novorozenců (Bednařík et al., 2013; Waberžinek et al., 2004).



Obrázek č. 3: Mozkové vlny a jejich frekvence (počet vln za s).

Mozkové vlny rozdělujeme podle frekvence na vlny alfa, beta, delta a theta. Nejvyšší frekvenci mají beta vlny, nejmenší frekvenci delta vlny. Amplituda (výška vln) se může lišit.

Upraveno podle <http://www.nature-education.org/brain.html>

3.2 CT- Počítačová (výpočetní) tomografie

Počítačová tomografie (computer tomography, CT) je radiologická metoda, která pomocí rentgenového záření umožňuje zobrazení vnitřní struktury těl živočichů včetně člověka. Nevýhodou rentgenu je, že zobrazuje jednotlivé orgány sumárně, takže se překrývají. Koncem 60. let se tento problém podařilo vyřešit zavedením počítačů do lékařské diagnostiky. Za vynálezce CT se považuje Brit G. N. Hounsfield. První klinický prototyp CT byl představen v 1971 ve výzkumných laboratořích EMI. Stejný objev jako Hounsfield učinil i Američan A. M. Cormack (nezávisle na Housfieldovi), za což oba v roce 1979 dostali Nobelovu cenu (Shorvon, 2009).

Při CT se používá rentgenového záření (RTG) a detektorů. V samotném zařízení je pacient skenován úzkým svazkem RTG paprsků. Na společném rámu jsou upevněny rentgenové lampy (rentgenky), detektory a kolimátory² (Obr. 4) (Hounsfield, 1973).

Rentgenové paprsky jsou formou ionizujícího elektromagnetického záření s vlnovou délkou od 0,01 až 10 nm – to znamená s kmitočtem 10^{17} až 10^{18} Hz. Pro klinické účely se používá záření s energií větší než 12keV^3 , tzv. tvrdé paprsky (oproti tomu měkké pod 12 keV) (Krašnicki et al., 2012).

Hlavním parametrem odpovědným za RTG zobrazení je lineární koeficient zeslabení. Vzorec pro výpočet intenzity RTG procházející materiálem:

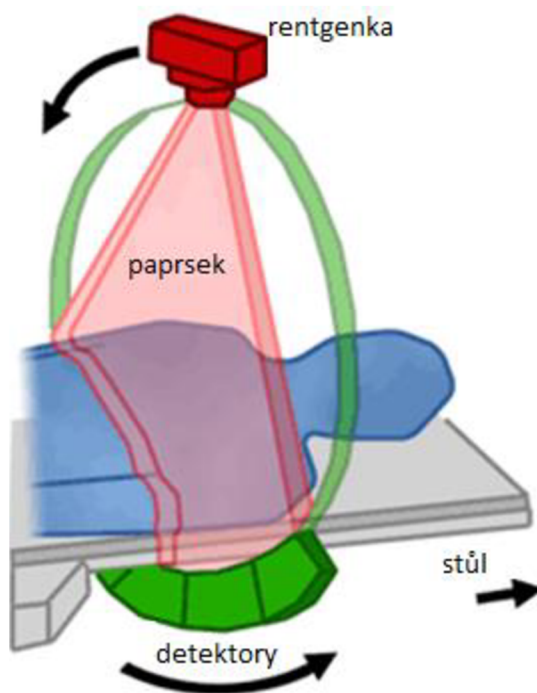
$$I = I_0 \exp(-\mu x)$$

Kde I je výsledná intenzita RTG, I_0 je počáteční intenzita rentgenového paprsku, μ je lineární koeficient zeslabení a x je tloušťka materiálu (Krašnicki et al., 2012).

Rentgenové paprsky se v rámci skeneru otáčejí kolem objektu, takže vzniká více projekcí objektu a vnitřní struktura objektu je rekonstruovaná z různých projekcí (Caldemeyer et al., 1999). Svazek RTG záření kolimovaný do úzké vrstvy projde objektem v rovině kolmé na jeho dlouhou osu.

² Kolimátory – zařízení, vytvářející z různoběžných paprsků záření téměř rovnoběžný svazek (kolimovaný svazek)

³ keV – eV- elektronvolt je jednotka práce a energie, odpovídá energii, kterou získá elektron urychlený ve vakuu napětím jednoho voltu, keV = 1000 eV



Obrázek č. 4: Počítačová tomografie

Rentgenka s kolimátorem a detektor umístěný na společném rámu se zároveň otáčí kolem objektu/pacienta, který je položený na pohyblivém stole. Kolimované paprsky vycházející z rentgenky, prochází objektem a absorpční hodnoty záření jsou zaznamenány na detektorech ve formě elektrických potenciálů. Upraveno podle: <http://www.nemji.cz/ct-pocitacova-tomografie/d-3772/p1=3223>

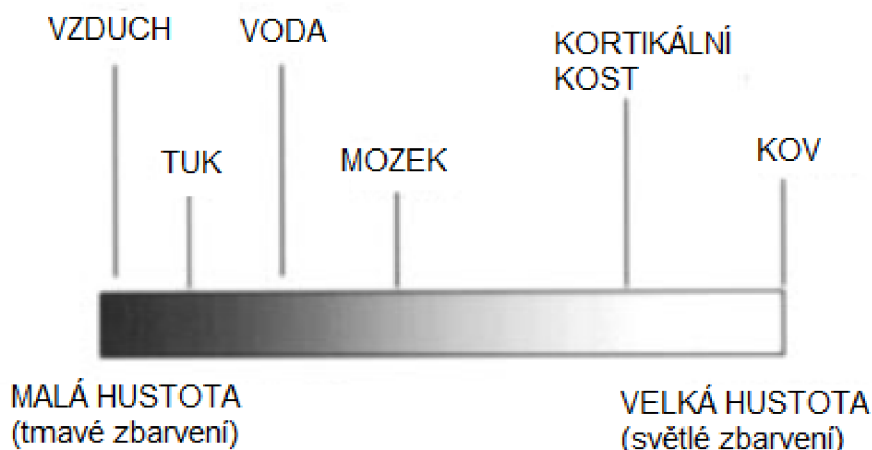
Absorpční hodnoty záření, které prošlo objektem, jsou detekovány na scintilačních detektorech⁴ ve formě elektrických potenciálů. Tisíce těchto hodnot jsou zpracovány počítačem a získaná data jsou pak rekonstruována v různých stupních šedé barvy do analogového obrazu, který je možné dále elektronicky zpracovat (Hounsfield, 1973; Waberžinek et al., 2004).

Výpočet absorpce materiálem získáme ze vzorce (Hounsfield, 1973):

$$absorpce = \log \frac{\text{intenzita RTG paprsků ve zdroji}}{\text{intenzita RTG paprsků dopadající na detektor}}$$

⁴ Scintilační detektor – zařízení pro detekci ionizujícího záření

Tkáně mají různou hustotu, která zeslabuje dopadající RTG záření na detektory – čím hustší tkáně v jedné rovině, tím méně RTG záření dopadá na detektory (Barron, 2005). Čím větší je zeslabení RTG paprsků, tím jasnější je tkáň a naopak (Obr. 5)(Caldemeyer et al., 1999).



Obrázek č. 5: Zobrazení tkáně v závislosti na hustotě tkáně.

Vzduch se na snímku bude jevit jako nejtmaší, kovové předměty budou na snímku nejsvětější. Upraveno podle (Caldemeyer et al., 1999):

V závislosti na skeneru může být rozpoznáno až 3000 úrovní zeslabení. Počítač poté libovolně přiřadí hodnotu různých tkání podle tzv. Hounsfieldovy škály:

Kosti	2000
Měkké tkáně	40
Voda	0
Tuk	-100
Vzduch	-1000

3.2.1 DRUHY CT

Single slice- „jednořezové“

Tyto první CT skenery byly velmi pomalé a omezené na vyšetření hlavy a mozku. Čas skenování byl řádově v hodinách a zpracování získaných informací

trvalo několik dní. Přístroj byl složen z jedné rentgenky a jednoho detektoru (Barron, 2005).

Helikální (spirální)

Při helikálním CT leží pacient na stole, který se pohybuje, a přitom se rentgenky nepřetržitě otáčí. Při tom se získá vysoký objem obrazových dat a vznikne šroubovicový (helikální) datový soubor (Zeman et al., 1993).

Multi-slice - „víceřezové“ (také multidetektorové, multispirální)

Tato technika umožnila přechod z transaxiální techniky příčného řezu do 3D zobrazující metody. Multispirální CT jsou vybaveny dvěma nebo více paralelními řadami detektorů. Používají se systémy se 2, 4, 8, 10, 16 nebo i více řadami detektorů (Prokop, 2003). Datová stopa (syrová data získaná při jedné rotaci rentgenky jednou řadou detektorů) pak není jedna, ale jejich počet odpovídá počtu řad detektorů (Anděl et al., 2004).

Výhoda multispirálního CT je hlavně výkon - s 16 detektory může být výkon i více než 25 krát vyšší, navíc se zlepšilo zpracování dat a rekonstrukce obrazu, snížila se doba skenování a prodloužilo se pásmo skenu (Jhaveri et al., 2001; Prokop, 2003).

Dual energy CT – CT se dvěma rentgenkami (DECT)

První DECT skener byl vyvinut v roce 2006. DECT je metoda, která používá dva soubory dat pozorující stejnou anatomickou lokalitu s různým kVp⁵ (Krašnicki et al., 2012).

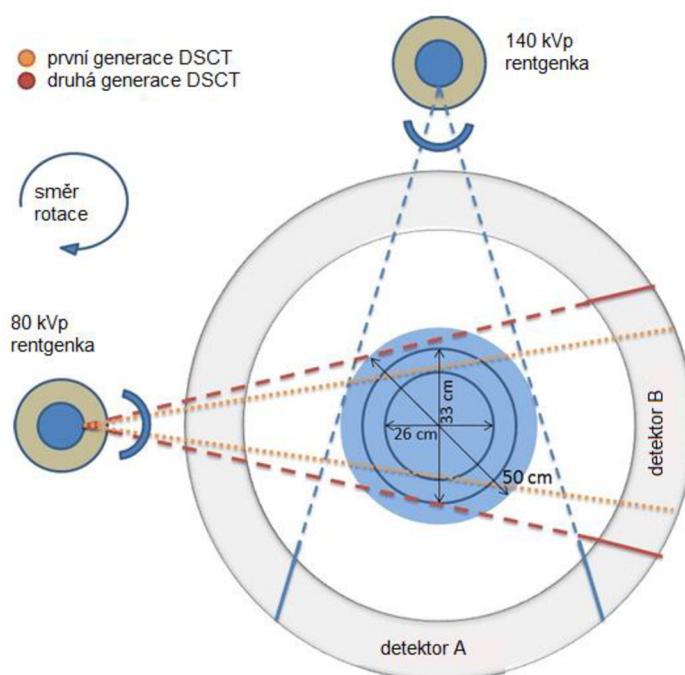
Existují různé technické přístupy DECT, např. dual- source CT (Obr. 6), single- souce CT a sendvičová technika. Dual-source CT (DSCT) se skládá ze dvou rentgenek (s úhlovou odchylkou 90°) se dvěma odpovídajícími detektory umístěných na společném rámu (Aran et al., 2014; Kang et al., 2010).

Single-source CT (Obr. 7) (SSCT), používá jeden zdroj RTG záření. Jedna z technik SSCT je technika rychlého přepínání napětí tzv. kVp switching, ve které se přepíná kVp v různých úhlech. Tato technologie umožňuje získání

⁵ kVp – peak kilovolt – jednotka maximálního napětí použitého v rentgence, určuje kinetickou energii zrychlených elektronů v rentgence a vrchol (peak) energie vyzařované RTG

dvou odlišných sinogramů⁶ s nízkým (80kVp) a vysokým (140kVp) kVp při obvyklé rychlosti otáčení a přispívá tak ke snížení radiční zátěže pacienta (Aran et al., 2014).

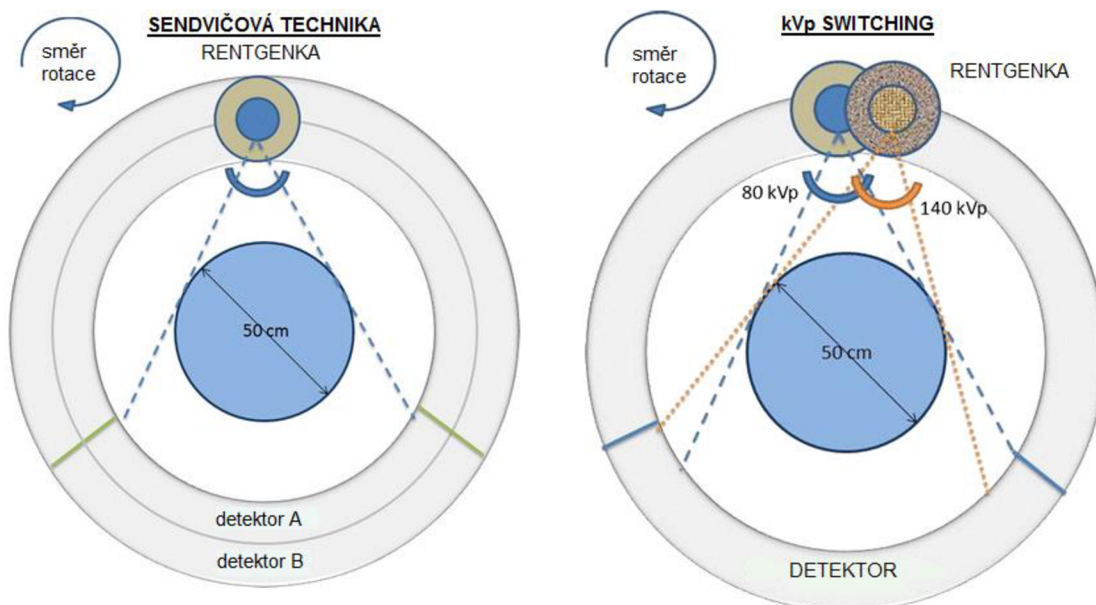
Při technice sendvičového detektoru jsou detektory umístěny nad sebou a překrývají se. Data se získávají pomocí jediného zdroje RTG a energie záření se rozdělí na jednotlivých detektorech – ve vrstvě detektorů, která je blíže zdroji, se absorbuje záření s nižší energií, vrstva detektorů dále od zdroje absorbuje záření s vyšší energií (Aran et al., 2014; Kang et al., 2010).



Obrázek č. 6: Dual source CT.

Dual source CT je složen ze dvou rentgenek s úhlovou odchylkou 90° a odlišným kVp (80 a 140kVp) a dvou příslušných detektorů A a B. Každá rentgenka má jiné tzv. field of view (zorné pole, FoV) – rentgenka s vyšším kVp má FOV 50 cm, rentgenka s nižším kVp má menší FoV – v první generaci 26cm, v druhé generaci 33 cm. Upraveno podle (Aran et al., 2014)

⁶ Sinogram - 2D zobrazením sady všech získaných projekcí, kdy každý řádek sinogramu je složen z dat pořízených z různých projekčních úhlů stejného řezu zobrazovaného objektu



Obrázek č. 7: Typy single source CT

Technika sendvičového detektoru: z jediného zdroje vychází rentgenové záření, které je pohlcováno dvěma vrstvami detektorů A a B; detektor A pohlcuje záření s nižší energií, detektor B pohlcuje záření s vyšší energií.

Technika kVp switching: tento systém je složen z rentgenky a detektoru, rentgenka je schopna rychlého přepínání mezi 140kVp a 80kVp vznikají tak dva různé typy dat (s nižším a vyšším kVp). Upraveno podle (Aran et al., 2014)

3.2.2 ZVÝŠENÍ KONTRASTU

Je snadné rozpoznat na skenovaných objektech tkáň s nižší a vyšší hustotou např. rozlišit kost a ostatní vnitřní orgány lze pomocí přírodního kontrastu (podle Hounsfieldovi škály bude kost světlejší než ostatní orgány). Avšak rozdíly mezi některými měkkými tkáněmi mohou být velmi jemné, proto existuje celá řada způsobů, kterými můžeme kontrast zvýšit.

Typy kontrastu podle Barron (2005):

- 1) Air-as air (pomocí vzduchu) – vzduch v neobvyklém místě je patognomický (charakteristický pro určité onemocnění), navíc tato metoda může být použita např. při pozorování tlustého střeva – vzduch se zavede per rectum

- 2) Intravenózní kontrast - intravenózně se podává jodová kontrastní látka, která v normálním stavu nepřestupuje hematoencefalickou bariéru a na obrazech mozku a míchy sledujeme pak pouze sycení cév. V případech porušení hematoencefalické bariéry expanzí, zánětem či jinými změnami dochází k sycení postižené tkáně. (Barron, 2005; Bednařík et al., 2013).
- 3) Orálně podávaná jodová kontrastní látka – může být užívána k zobrazení střev, látka se podává den před skenováním
- 4) Jodová kontrastní látka podána rektálně – zajišťuje vysoce kvalitní zobrazení tlustého střeva
- 5) Kontrast močového měchýře – CT se provádí po naplnění močového měchýře kontrastní látkou katetrem.
- 6) Tampony – vzhledem k tomu, že jsou zřetelně viditelné, jsou používány k určení polohy pochvy.

3.3 MAGNETICKÁ REZONANCE-MRI

Magnetická rezonance je neinvazivní vyšetřovací technika, která nevyužívá při zobrazení ionizující záření a zároveň má obrovskou rozlišovací schopnost i měkkých tkání. Poskytuje informace nejen o morfologii tkání a orgánů v několika rovinách (2D nebo 3D) ale i o jejich funkci. V lékařství se používá pro zobrazení orgánů včetně nervové soustavy a může informovat o fyzikálně chemickém stavu tkání, jejich prokrvení a perfúzi (Logothetis, 2008) MRI je založena na fyzikálním jevu nukleární magnetické rezonance (NMR) v živých systémech.

Na rozdíl od CT není zdrojem signálu magnetické rezonance RTG záření, ale radiofrekvenční pulzy z frekvenčního pásma rozhlasových vln.

Princip magnetické rezonance spočívá ve sledování a interpretaci signálů, které vysílají vodíkové ionty v magnetickém poli. Lidské tělo je z velké části složeno z vody. Vodíkové ionty jsou proto přítomny prakticky v každé jeho buňce. Přístroj kolem vás vytvoří silné magnetické pole, které ustálí pohyb vodíkových iontů. Poté vyšle zvolené radiofrekvenční impulsy. Jejich působením dojde ke změně chování iontů a vyzáření dalších impulsů. Ty pak registrují speciální cívky a signál je převeden na digitální obraz.

Cílem zobrazení MRI je vytvořit snímek s kontrastem mezi jednotlivými typy tkání. Jas v obrázku je ovlivněn mnoha faktory. Mezi základní faktory patří relaxační časy T1 relaxace, T2 relaxace (viz níže), které popisují časovou konstantu návratu magnetizace do rovnovážné polohy a protonová hustota (PD, z angl. proton density) (Hendee et al., 1984; Matthews et al., 2004).

3.3.1 NUKLEÁRNÍ MAGNETICKÁ REZONANCE (NMR)

Nukleární magnetická rezonance byla objevena a zdokumentována současně F. Blochem a E. Purcellim v roce 1946, kterým byla za tento objev udělena Nobelova cena v roce 1952. Od doby objevu principu NMR se ve fyzice pevných látek a v chemii staly nepostradatelné analytické laboratorní metody založené na NMR (Niederer, 2011) a v roce 1980 byl vytvořen první experimentální skener celého těla (Shorvon, 2009).

Jádra většiny atomů mají dvě důležité vlastnosti a to rotaci a vlastní magnetický moment⁷ (Moore et al., 1980). Elementární částice (protony, neutrony, elektrony) mají vnitřní moment hybnosti (spin), který je specifický pro každou částici. Atomová jádra se skládají z protonů a neutronů a také mají spin. Tento spin závisí na typu jádra. Zvláštní význam pro lékařské aplikace jsou stabilní jádra⁸ ^1H , ^4H , ^{19}F , ^{23}Na , ^{31}P , stejně jako izotop ^{13}C , které se přirozeně vyskytují v různých koncentracích v lidském těle a jejich spin je nenulový (Niederer, 2011).

Každá částice, která má nenulovou hodnotu spinu, je magnetický dipól, tzn., že každá je mikroskopickým tyčovým magnetem se severním a jižním pólem. Spin protonu – jádra atomu vodíku je $\frac{1}{2}$. Když tuto částici umístíme do magnetického pole, její energie závisí na orientaci (např. pokud je tyčový magnet umístěn do blízkosti druhého magnetu, je zapotřebí vynaložit sílu na jeho otočení) (Steinmetz, 2015).

Proton (resp. jádro vodíku) v magnetickém poli má dva energetické stavy (jaderné spiny se orientují podle vektoru magnetické indukce) – stabilnější spin-up stav, kdy severní pól směřuje vzhůru a spin-down stav, kdy severní pól směřuje dolů. Existence těchto dvou stavů poskytuje základ pro NMR spektroskopii (Steinmetz, 2015).

Všechny protony vykonávají ještě další pohyb – precesi (kuželovitý pohyb spinu) - o stejné frekvenci, která je závislá na síle magnetického pole, kterému jsou protony vystaveny. V této fázi vyše přístroj radiofrekvenční vlnění o stejné frekvenci jako je precesní pohyb protonu a při interakci těchto dvou vlnění dojde k rezonanci a atomy vodíku absorbují energii, která precesní pohyb o něco vychýlí. Přibude více protonů ve spin-up stavu a navíc protony začnou synchronně vykonávat precesní pohyb a tím vznikne příčná magnetizace (kolmá na hlavní magnetické pole), kterou můžeme měřit. (Hendee et al., 1984)

⁷ Magnetický moment jádra - popisuje, jaké má jádro atomu magnetické vlastnosti a jak jádro reaguje na přítomnost vnějšího magnetického pole, úzce souvisí se spinem jádra (vlastní moment hybnosti v základním energetickém stavu jádra)

⁸ Stabilní jádra - stabilní lehká jádra – jádra s nukleonovým číslem (celkový počet protonů a neutronů v jádře) menším jak 20 obsahují přibližně stejný počet protonů a neutronů; stabilní těžká jádra – mají větší počet neutronů než protonů

Když impuls přestane působit, atomy se začnou vracet do původních stavů a postupně uvolní (vyzáří) energii, kterou absorbovaly - tzv. relaxace.

3.3.2 fMRI

Od devadesátých let 20. století dochází k rozvoji aplikací MRI zobrazujících nejen morfologii, ale i funkční parametry vyšetřované mozkové tkáně, což vedlo k vývoji funkční magnetické rezonance (fMRI).

Tato metoda, která je citlivá na charakteristické magnetické vlastnosti krve, ukazuje okysličenou tekoucí krev v aktivních mozkových oblastech. Na rozdíl od dalších neinvazivních technik jako je EEG, která detekuje elektrickou aktivitu z povrchu lebky, fMRI získává data z nitra mozku. Navíc je fMRI mnohem pohodlnější a bezpečnější než pozitronová emisní tomografie (viz níže), při které se aplikují radioaktivní sloučeniny (Smith, 2012).

Funkční zobrazování magnetickou rezonancí (fMRI = functional magnetic resonance imaging, v češtině se používá termín funkční magnetická rezonance) je zobrazovací metoda, při níž se zobrazují (mapují) funkční oblasti mozku aktivované při provádění určitého úkolu či stimulace. Podstatou metody je změna prokrvení a objemu krve v aktivní oblasti mozkové kůry (perfuzní fMRI) a na rozdíl od standardní magnetické rezonance má schopnost detekovat dynamické změny signálu způsobené lokálním kolísáním poměru oxyhemoglobinu a deoxyhemoglobinu v závislosti na neurální aktivitě.

Metoda se provádí buď na základě změny prokrvení dané oblasti (např. pomocí vstříknutí kontrastní látky), nebo na základě změny okysličení krve tzv. BOLD efektu (z angl. blood oxygenation level dependent) (Matthews et al., 2004).

3.3.3 BOLD fMRI

Pomocí fMRI se studuje abnormální neurální vývoj u onemocnění jako je epilepsie a schizofrenie⁹ a při poruchách jako je dyslexie a ADHD¹⁰ (Harris et al., 2011).

⁹ Schizofrenie – duševní porucha, projevuje se halucinacemi, zmatenou řečí a myšlením

BOLD fMRI je dnes nejčastější fMRI a obě zkratky jsou takřka synonymy. BOLD fMRI se stále více používá k detekci vývojových změn funkcí lidského mozku, které jsou hypotetickým základem zrání kognitivních¹¹ procesů (Harris et al., 2011).

VZNIK BOLD SIGNÁLU

Jak bylo řečeno výše BOLD signál poskytuje nepřímé měření mozkové aktivity s poměrně vysokou prostorovou přesností monitorováním lokálního nárůstu průtoku krve mozkiem, který je spojen s nervovou aktivitou. Nervová aktivita vede ke spotřebě ATP¹², a to vyvolává nárůst spotřeby kyslíku k regeneraci ATP, a následuje zvýšení průtoku krve do aktivní oblasti. Celý tento proces vede ke změnám lokální koncentrace kyslíku (který nejdříve klesne v důsledku spotřeby a potom vzroste nad jeho základní hodnoty) a současně vede ke změnám hladiny okysličeného a neokysličeného hemoglobinu. Tyto molekuly, prostřednictvím svých různých magnetických vlastností poskytují základ BOLD signálu (Harris et al., 2011).

¹⁰ ADHD – porucha pozornosti s hyperaktivitou, z angl. Attention Deficit Hyperactivity Disorder

¹¹ Kognitivní procesy – poznávací procesy jako je paměť, vnímání, učení apod.

¹² ATP – nukleotid, při jehož rozkladu dochází k uvolnění značného množství energie, která se využívá téměř ve všech typech buněčných pochodů

3.4 EMISNÍ TOMOGRAFIE

Tomografické zobrazení se v nukleární medicíně označuje jako emisní¹³ tomografie - na rozdíl od CT je záření emitováno ze zdroje uvnitř organismu.

V emisní tomografii se používají dvě odlišné metody (Virdee et al., 2012):

- 1) Pozitronová emisní tomografie (positron emission tomography, PET)
- 2) Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (single photon emission computed

Tomography, SPECT, někdy také tomografická scintigrafie)

Metody se liší používanými radionuklidy, přístrojovým vybavením a zpracováním výsledků i klinickými aplikacemi (Krupka et al., 2007) Termínem hybridní systémy, které umožňují současný záznam anatomického a funkčního zobrazení, označujeme především kombinované přístroje SPECT/CT a PET/CT.

3.4.1 POZITRONOVÁ EMISNÍ TOMOGRAFIE – PET

Pozitronová emisní tomografie (PET) je neinvazivní zobrazovací metoda, která *in vivo* umožňuje měření různých molekulových procesů v mozku (Xi et al., 2011), poskytuje dynamické obrazy biodistribuce radioaktivních izotopů (tracerů, radiofarmak) v mozku. Sledováním absorpce izotopů může vyčíslit metabolismus mozku a dostupnosti receptorů v mozku, z hlediska specifických fyziologických procesů, jako je průtok krve mozkem (Virdee et al., 2012).

Pozitron (též nazývaný pozitivní elektron) je základní částice atomu, protějšek elektronu (antičástice elektronu), jenž má opačný náboj (elektron záporný, pozitron kladný) a jiný magnetický moment. Pozitron vzniká při umělých radioaktivních přeměnách. Pozitron má stejnou hmotnost jako elektron a stejnou rotaci, stejnou velikost elektrického náboje. Při srážce (anihilace) částice s antičásticí se navzájem zničí a uvolní energii (Majumder, 2011).

S myšlenkou PET přišli na konci 50 let. 20 století David Kuhl a R. Edwards v 70. letech 20. století. Tatsuo Ido v roce 1978 popsal syntézu 18-fluorodeoxyglukózy (FDG, 18F), pozitronového zářiče, který je dodnes nejčastěji

¹³ Emisní – vydávající záření

používaným radioizotopem v PET. V ČR se první PET vyšetření uskutečnilo 25.8.1999 v pražské nemocnici Na Homolce a v roce 2003 bylo provedeno první hybridní PET/CT vyšetření.

Zobrazování pomocí této metody se používá především při studiu neurologických poruch, zejména Parkinsonovy choroby¹⁴, Alzheimerovy choroby¹⁵ a Huntingtonovy choroby¹⁶, mrtvice, epilepsie a traumatickému poranění mozku¹⁷ (Virdee et al., 2012).

Princip PET

PET je metoda pro zobrazování prostorové a časové varianty koncentrace radioaktivního izotopu uvnitř vzorku prostřednictvím detekce vyzařovaného záření (Obr. 9). PET radiofarmaka se skládají ze dvou částí: molekulární struktury (vektor, nosič, ligand) a pozitron emitujícího radionuklidu (Wadsak and Mitterhauser, 2010) PET tracers jsou tedy chemické sloučeniny označené pozitronovými zářiči, nejčastější to jsou ¹⁵O (poločas rozpadu 2 min), ¹¹C (poločas rozpadu 20 min) nebo ¹⁸F (poločas rozpadu 110 min) (Virdee et al., 2012). Vznikají uměle v cyklotronu¹⁸ za interakce gama záření s velmi těžkým atomem. ¹⁵O, ¹³N a ¹¹C mají krátký poločas rozpadu, takže možnost jejich použití je limitována blízkostí cyklotronu, ve kterém jsou vyráběny (Majumder, 2011).

Po nitrožilní aplikaci FDG vstupuje do buněk stejnými mechanismy jako glukóza a je v nich analogicky fosforylována hexokinázou na FDG-6 fosfát, který již dále v buňce nemetabolizuje (jen v malé míře je metabolizován za

¹⁴ Parkinsonova choroba – Neurodegenerativní onemocnění mozku, při němž ubývají buňky v části mozku zvané černé jádro (Substantia nigra, párová struktura ve středním mozku), tyto buňky za normálních okolností produkují neurotransmiter dopamin. Výsledkem je ztuhlost, snížená pohyblivost, třes... Vyšší riziko vzniku se vyskytuje u mužů i žen nad 50 let.

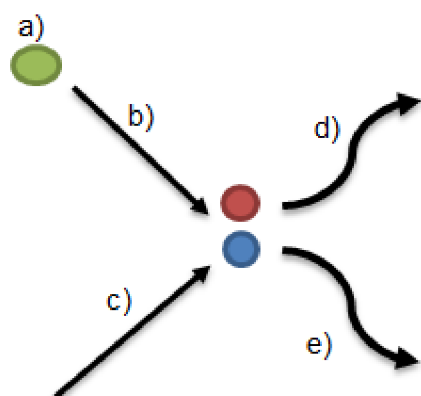
¹⁵ Alzheimerova choroba – Neurodegenerativní onemocnění mozku, jenž vede k postupné demenci – způsobuje pokles tzv. kognitivních funkcí – myšlení, paměti a úsudku. Projevuje se ztrátou paměti, dezorientací, změnami nálad a dokonce osobností.

¹⁶ Huntingtonova choroba – Genetické neurodegenerativní onemocnění, za jehož vznik je zodpovědná mutace genu, který kóduje tzv. protein huntingtin. Projevuje se rychlými pohyby, paranoiou, demencí, depresí.

¹⁷ Traumatické poranění mozku – poranění mozku způsobené fyzickým traumatem, kdy může a nemusí být poškozena lebka (penetrující a uzavřené poranění)

¹⁸ Cyklotron - cyklický vysokofrekvenční urychlovač

účasti glukózo-6-fosfát a 2-FDG- 6-fosfát, mírně se z buněk ztrácí). V důsledku toho dochází k hromadění FDG v buňce, zejména v nádorové, která má zmnožené transportní mechanismy pro glukózu. Při rozpadu FDG vzniká emise pozitronu, který anihiluje (Obr. 8) s elektronem za vzniku dvou fotonů¹⁹ záření gama. Oba fotony se pohybují po tzv. koincidenční²⁰ přímce opačným směrem a jsou detekovány detektory uspořádanými do prstence. Ze zaregistrovaných informací lze zrekonstruovat transaxiální řezy představující distribuci radiofarmaka v organismu.



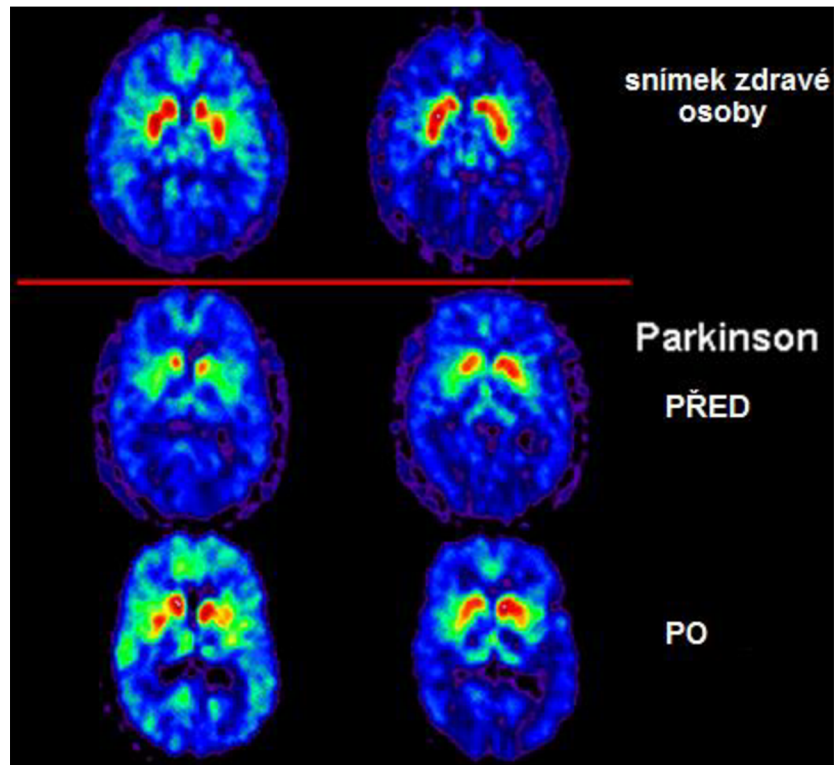
Obrázek č. 8. Anihilace
 Při rozpadu a) FDG vzniká emise b) pozitronu, když se pozitron střetne s c) elektronem, vzniknou d) e) dva fotony se zářením gama

Velkou výhodou PET je i skutečnost, že jako pozitronové zářiče lze připravit biologicky významné prvky, které se vyskytují v podobě sloučenin v těle (oxid uhelnatý, oxid uhličitý, voda, methionin, amoniak, flurodeoxyglukóza, atd), jako jsou ¹¹C, ¹⁵O, ¹³N, a které tvoří součást molekul radiofarmak a biogenních sloučenin, jejichž metabolismus lze pomocí PET kvantitativně vyšetřit.

Vzhledem k tomu, že radiofarmaka jsou chemicky nerozeznatelná od jejich neradioaktivních protějšků, tak je organismus může použít jako náhražku ve všech biochemických procesech (Wadsak et al., 2010).

¹⁹ Foton - kvanta elektromagnetického záření, přenáší energii uvolněnou při anihilaci

²⁰ Koincidenční – souhlasný, splývající



Obrázek č. 9: Snímek PET mozku.

Snímek PET mozku pacienta s Parkinsonovou chorobou (uprostřed) – snížené množství dopaminu, srovnání se zdravým pacientem (nahore) – normální množství dopaminu, po implantaci tkáně vylučující dopamin (dole, téměř stejné jako u zdravého pacienta) Upraveno podle <http://www.cerebromente.org.br/n01/pet/pet.htm>

3.4.2 JEDNOFOTONOVÁ EMISNÍ VÝPOČETNÍ TOMOGRAFIE - SPECT

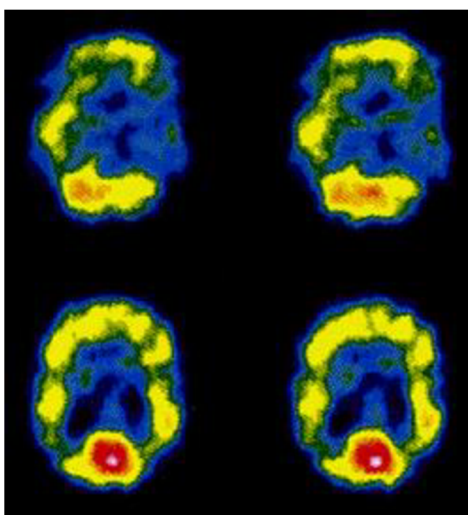
První SPECT přístroj byl sestaven Davidem Kuhlem v roce 1968 a znamenal průlom ve sledování funkčních fyziologických procesů. Vznikl zdokonalením systému SPET (single photon emission tomography), jež při své činnosti nevyužíval počítač. Prvotní uspořádání tohoto přístroje využívalo stacionární kameru a rotaci samotného pacienta. V roce 1974 byl SPECT poprvé použit Lassenem ke sledování toku krve mozkiem, a tím k funkčnímu mapování centrální nervové soustavy. V současné době je jednofotonová emisní tomografie nepostradatelnou zobrazovací metodou. Na rozdíl od CT, který zobrazuje strukturu vnitřních orgánů, SPECT zobrazuje funkci orgánů. Své zastoupení má zejména v nukleární medicíně, neurologii, kardiologii či onkologii. Metoda SPECT je založena na detekci gama fotonu. Systém SPECT

se skládá se z jednohlavé nebo dvouhlavé gama kamery, která se skládá z kolimátoru, krystalu, fotonásobiče, polohovacího systému, a detektoru (Plešniak, 2011).

SPECT se používá pro zobrazování s radionuklidy (podobně jako u PET), které emitují jeden nebo dva fotony a mají delší poločas rozkladu (Virdee et al., 2012). Tyto radionuklidy vyzařují paprsky gama záření. Nejčastější radionuklidy, které se používají při metodě SPECT, jsou xenon 133, technecium 99 a jód 123, které se vstříkují do těla pacienta a po vyšetření jsou během několika minut až hodin vyloučeny močí (Kuhler, 2013).

Detektor za současného otáčení kolem pacienta detekuje paprsky gama fotonů, které jsou kolmé k otvorům kolimátoru (tvary a velikosti kolimátorů jsou různé, nejčastěji se používají paralelní kolimátory, které vypadají jako včelí plástve)(Plešniak, 2011). Paprsky gama fotonů jsou absorbovány scilantačním krystalem, reagují s ním a jsou transformovány na lehké fotony, které jsou převedeny do digitálního obrazu (Plešniak, 2011).

Zobrazování SPECT technikou je levnější než zobrazování podobnou PET, avšak kvůli izotopům s delším poločasem rozpadu produkuje SPECT méně detailní snímky (Obr. 10) (Kuhler, 2013).



Obrázek č. 10: Snímek SPECT mozku.

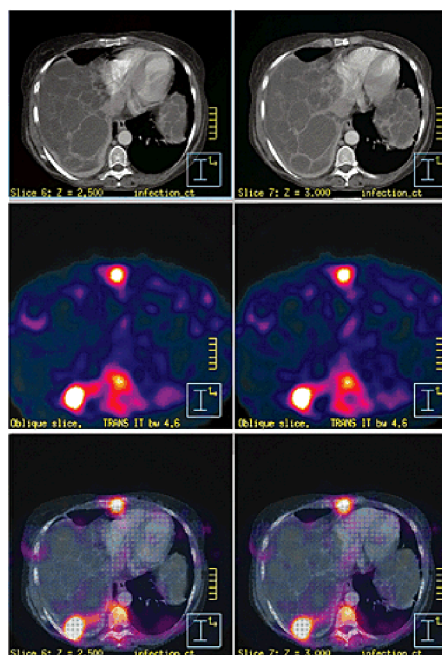
Snímek pacienta trpícího komplexem parciálních záchvatů. Levý spánkový lalok vykazuje menší průtok krve než pravý, což je příčina vzniku záchvatů. Vidíme, že na rozdíl od snímku PET je snímek SPECT méně detailní. (Zdroj: <http://www.mayfieldclinic.com/PE-SPECT.htm>)

3.5 HYBRIDNÍ ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY SPECT/CT, PET/CT, PET/MRI

Neurozobrazovací metody je možné navzájem kombinovat. Tyto hybridní zobrazovací systémy jsou mnohem přesnější, než jednotlivé metody např. dokáží lépe rozlišit nádorové tkáně od okolní tkáně. Kombinací dvou metod můžeme pozorovat jak strukturu, tak funkci jednotlivých částí lidského těla. Vzhledem k tomu, že vyšetření probíhají zároveň, je další výhodou snížení radiační zátěže při provádění opakovaných vyšetření.

3.5.1 SPECT/CT

Jak už bylo řečeno, SPECT zobrazuje funkci orgánů a CT jejich vnitřní strukturu. Kombinace SPECT a CT umožňuje lepší lokalizaci a definici orgánů (Obr. 11) a zlepšení přesnosti chirurgických biopsií ²¹. První komerční SPECT/CT systém byl vyvinut v roce 1999 (O'Connor et al, 2006).



Obrázek č. 11: Snímek SPECT/CT zobrazení dutiny břišní.

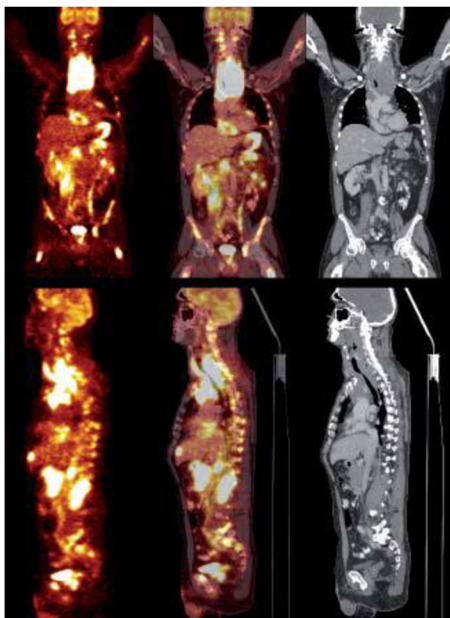
Nahoře zobrazení CT, uprostřed SPECT, dole fúze. Obrázek představuje pacienta s polycystickou chorobou jater. Světlé skvrny jsou místa zvýšeným metabolismem glukózy. Pomocí SPECT/CT zobrazení můžeme zjistit přesné

²¹ Biopsie - diagnostická metoda, při které se odebírá tkáň či buňky k upřesnění jejich biologické povahy

umístění cysty (větší světlá skvrna). (Zdroj: <http://pubs.acs.org/cen/coverstory/83/print/8330imaging.html>)

3.5.2 PET/CT

Pozitronová emisní tomografie umožňuje vyhodnotit metabolické a molekulární charakteristiky celé řady nádorových onemocnění, ale neumí zobrazit anatomické struktury. Oproti tomu počítačová tomografie umožňuje pravý opak. Kombinace PET a CT poskytuje možnost zaznamenávat metabolické a molekulární aspekty onemocnění s anatomickými nálezy a dodávat další informace pro diagnostiku a staging²² nádorů (Obr. 13) (Seemann, 2004).



Obrázek č. 12: Snímek PET/CT těla.

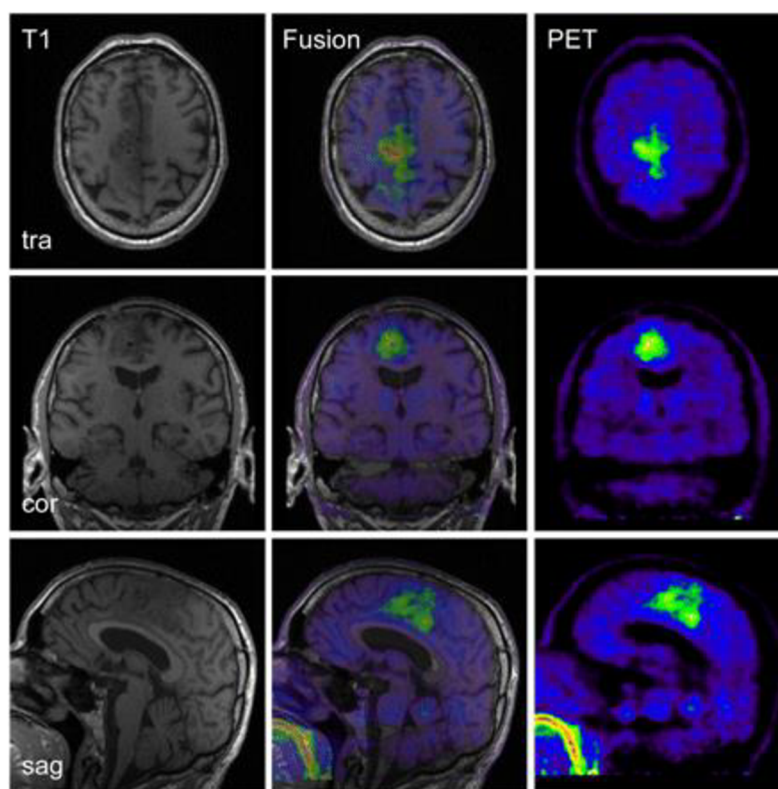
Vlevo PET snímek, vpravo CT snímek, uprostřed jejich PET/CT snímek. Výhodou je že při spojení PET a CT vidíme jak oblasti se zvýšeným metabolismem glukózy - světlá místa PET, tak jejich přesné umístění pomocí CT. Zdroj: <http://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2009/01/11.pdf>

²² Staging nádoru- velikost, rozsah nádoru

3.5.3 PET/MRI

Fúze PET/MRI má velký význam při onkologických aplikacích vyžadujících vysoký kontrast měkkých tkání (např. u jaterních metastáz neuroendokrinními nádory, rakovině prostaty) při zobrazení srdce a především při zobrazení mozku (Obr. 13), kde je MRI nejběžnější metoda zobrazování. Výhodou oproti PET/CT je nižší dávka záření (Nensa et al., 2014).

Spojení PET a MRI bylo považováno za technicky vysoce náročné, ne-li nemožné. Největším technickým problémem byl vývoj PET destičky, která je kompatibilní se silným magnetickým polem běžně používaným v MRI a vývoj skeneru MRI, který zaručuje stabilní a homogenní magnetické pole v přítomnosti PET destičky (Nensa et al., 2014).



Obrázek č. 13: Snímek PET/MRI pacienta s anaplastickým astrocytome²³.

Vlevo MRI hlavy, vpravo PET hlavy, uprostřed fúze PET/MRI. Opět nám fúze umožňuje lepší lokalizaci nádoru (světle zelená až žlutá oblast). Zdroj: <http://jnm.snmjournals.org/content/51/8/1198/F2.expansion.html>

²³ anaplastický astrocytom – druh tzv. gliomu (nejčastější nádor mozkové tkáně), jedná se o zhoubný nádor

3.6 EP- Evokované potenciály

Evokované potenciály (evoked potentials, EP) jsou elektrofyziologickým vyšetřením, které sleduje aktuální elektrickou aktivitu mozku (EEG) v reakci na podněty zvenčí a pomáhá v diagnostice poruch nervového systému. Poprvé popsal evokovaný potenciál Dawson roku 1947. Zaregistroval z poměrně ohraničené oblasti hlavy potenciál evokovaný periferním podrážděním elektrickou stimulací ulnárního a popliteálního (podkolenní nervu). EP se rozšířily od 60 let a za použití různých stimulačních modalit umožnily s vysokou senzitivitou hodnotit integritu odpovídajících nervových drah - zrakové, sluchové a somatosenzitivní především u pacientů s podezřením na demyelinizační onemocnění a cervikální myelopatii²⁴.

Záznam elektrických potenciálů spojených se specifickými nebo motorickými událostmi může hodnotit funkční integritu specifických kortikálních oblastí a drah v centrálním nervovém systému. Tento postup využívá techniku záznamu elektronického průměrování z elektrod umístěných nad určitými oblastmi mozku nebo míchy a může odhalit odchylky, které nejsou na klinickém vyšetření zřejmé (Mastaglia et al., 1982).

Nezákladnější forma elektrického spojení mezi buňkami v lidském těle je akční potenciál. Neuron stimulován ostatními buňkami nebo vnějšími podněty dosáhne bodu, při kterém se rychle zvýší a zase sníží membránový potenciál buňky a vytvořený vzruch se začne šířit dál od místa vzniku. Na konci neuronu je aktivována excitační²⁵ nebo inhibiční synapse, v závislosti na typu neuronu (Passmore et al., 2014).

Zrakové evokované potenciály (VEP) slouží k zobrazení elektrické aktivity mozku v reakci na vizuální podnět. Při vyšetření se využívá monokulární zraková stimulace šachovnicí na monitoru při fixaci kříže v jeho středu. Stimulem je pro zrakovou dráhu změna černých polí za bílá v přesné frekvenci (O'Shea, 2010).

²⁴ Cervikální myelopatie – závažné onemocnění míchy

²⁵ Synapse – kontakt mezi membránami dvou buněk (alespoň jedna z nich je nervová buňka), její funkcí je přenos vzruchu

Sluchové kmenové evokované potenciály (BAEP) slouží k diagnostice periferního sluchového nervu, získáme je monoaurální stimulací rychle se opakujícím pravoúhlým („cvaknutím“).

Somatosenzorické evokované potenciály (SEP) slouží k vyšetření periferního nervového systému. Může detekovat problémy jako necitlivost a slabost končetin. Při SEP stimulujeme periferní nerv opakovaným pravoúhlým elektrickým impulsem.

Motorické evokované potenciály (MEP) spočívají v transkraniální magnetické stimulaci²⁶, kdy předmětem zájmu je funkční integrita eferentních (odstředivých) motorických drah(Seidl et al., 2004)..

Kognitivní evokované potenciály jsou určitým testem kognitivních funkcí. Spočívají v zadávání různě složitých úkolů s využitím sensorických podnětů a sledování latence odpovědi (Seidl et al., 2004).

²⁶ Transkraniální magnetická stimulace – neinvazivní elektrofyziologická metoda, sloužící k vyšetření centrálního a periferního systému

3.7 OPTICKÉ ZOBRAZOVÁNÍ

Optické zobrazování je technika, která přesahuje hranice neurovědy a medicíny. V dnešní době se tato technika používá především ve vyhodnocování vývoje a funkce mozku dětí (Bandettini, 2009).

Tato technika pozoruje změny optického rozptylu, které se vyskytují při aktivaci nervové tkáně. Poprvé byla popsána v izolovaných nervech v roce 1940. Současný výzkum naznačuje, že principem jevu je hyperpolarizace a depolarizace neuritů v důsledku pohybu vody přes membránu spojeném s transportem iontů a tedy i změnou membránového potenciálu (Gratton et al., 2010).

Vzhledem k tomu že absorpce světla je většinou způsobena přítomností hemoglobinu v krvi (při aktivace neuronů, se průtok krve do určitých oblastí zvyšuje), proto se tkáně hlavy (kůže, mozkové pleny) mohou zobrazovat pomocí blízkého infračervené spektra (Cyranoski, 2011) Technika blízké infračervené spektroskopie měří pohlcení infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem).

Technika blízké infračervené spektroskopie (NIRS, near-infrared spectroscopy) se zaměřuje na prefrontální kortex, dokáže rozlišit bipolární poruchy, depresi, schizofrenii. Při vyšetření touto technikou se používá čepice se dvěma typy knoflíků (17+17 od každého typu). První typ vysílá světlo, které proniká 2-3 cm hluboko do mozku, kde je rozptýleno nebo absorbováno neurony. Druhý typ knoflíků jsou fotoreceptory, které zachytávají odražené světlo (Cyranoski, 2011).

Pro zobrazování hlubinných tkání se používá difúzní optické zobrazování (DOI, diffusive optical imaging)(Gratton et al., 2010).

Pro studium rychlých změn v mozkové činnosti se využívá techniky EROS (Event - Related Optical Signal) (Gratton et al., 2010).

3.8 RIZIKA A KONTRAINDIKACE ZOBRAZOVACÍCH METOD

Během posledních let probíhají diskuse o vlivu ionizujícího záření používaného při lékařských zobrazovacích postupech na vznik rakoviny (především u CT). Toto riziko je ovšem malé a hypotetické vzhledem k nízkým dávkám záření používaného při CT (Hendee et al., 2012).

Problém nastává u dětí, které jsou velmi citlivé na radiační poškození. (Hendee et al., 2012). U mladých pacientů by se dávky záření měli udržovat tak nízké jak to jen jde – Pearce et al. (2012) ve své kohortové studii²⁷ prokázal nárůst vzniku leukémie a rakoviny mozku u pacientů mladších 15 let, kteří podstoupili opakovaně vyšetření CT.

Vzhledem k tomu, že CT využívá rentgenové paprsky, není toto vyšetření vhodné pro těhotné ženy v určitých stádiích těhotenství. Pokud se provádí vyšetření s kontrastní látkou, nesmí být pacient na tuto látku alergický.

Přístrojem fMRI nesmí být vyšetřen pacient s kovovými předměty (železo, ocel) uvnitř těla nebo tetováním obsahující železité oxidy nebo jiné kovy a pacienti s kardiostimulátorem – pacient je umístěn v silném magnetickém poli. Dalším problémem je klaustrofobie, avšak tento problém se dá řešit sedativy. V těhotenství může být použito fMRI vyšetření pokud je nedostačující jiné diagnostické zobrazování, které nevyužívá ionizující záření (Dill, 2009).

²⁷ Kohortová studie – analitická studie určité skupiny osob (např. podle věku, vzdělání, nemoci), která postupuje od příčiny k následku (např. nemoci), snažíme se zjistit, zda daná příčina vyvolává nemoc

4. Využití neurovizuálních metod v moderní medicíně

Neurovizuální metody jsou především nástroje pro diagnostiku onemocnění jako je epilepsie, Parkinsonova nemoc, Alzheimerova nemoc, různé druhy nádorů. Tato část práce bude věnovaná možnosti využití některých metod jako nástrojů pro léčbu některých nervových poruch (např. chronická bolest) a zkoumání poruchy vědomí (vegetativní stav).

4.1 Bolest

Bolest je intenzivní nepříjemný pocit, který vzniká při poškození kůže nebo jiných orgánů. Bolest je výsledkem široké aktivace některých korových a podkorových oblastí – primární a sekundární somatosenzorické oblasti, primární motorické oblasti, premotorické korové oblasti, bazálních ganglií, parietální²⁸ a insulární korové oblasti, hypokampu, amygdaly, přední cingulární korové oblasti aj. (Chapin et al., 2012).

Bolest také může být ovlivněna kognitivními, emocionálními a dalšími faktory, které ovlivňují funkci mozku (Chapin et al., 2012). Bolest rozlišujeme na akutní a chronickou. Nervová soustava detekuje škodlivé podněty a vytvoří vjem akutní bolesti.

Chronická bolest může přetrvávat i dlouho po akutním zranění (Basbaum et al., 2009). Chronická bolest zahrnuje deregulaci centrálních modulačních systémů bolesti. Mnoho studií prokázalo, že mozky pacientů trpících chronickou bolestí jsou funkčně a strukturálně pozměněné (např. pokles objemu šedé hmoty v oblastech prefrontální kůry, insuly, thalamu, mozkového kmene apod., zvětšení objemu šedé hmoty v oblastech mozečku thalamu, mozkového kmene, bazálních ganglií apod.) (Chapin et al., 2012).

Současná léčba chronické bolesti se řeší farmaky, jako jsou opiáty, antidepresiva, které modifikují funkce mozku, ale mají mnohé negativní vedlejší účinky. Psychosociální přístup zahrnuje kognitivní behaviorální terapii, hypnózu a různé druhy terapií (Chapin et al., 2012). Někdy je účinné odvést pozornost

²⁸ Parietální - temenní

kvůli snížení bolesti – odvedeme pozornost vizuálním, sluchovým, dotykovým podnětem apod. (Jensen et al., 2012).

Schopnost organismu rozpoznat škodlivé podněty je nezbytná pro jeho přežití. U některých lidí tato schopnost chybí – trpí vrozenými vadami, které způsobují neschopnost detekovat bolest, necítí teplo nad ohněm, bolest při zlomeninách a různých povrchových zranění. Tyto vrozené vady jsou velmi nebezpečné a život ohrožující. (Basbaum et al., 2009).

4.1.1 Výzkum a léčba chronické bolesti

Harris et al. (2012) se ve své studii zabývají možností využití neinvazivní techniky založené na MRI, tzv. protonové magnetické rezonanční spektroskopie, při výzkumu a léčbě chronické bolesti.

Protonová magnetická rezonanční spektroskopie (1H MRS) je technika, která je často využívána při studii různých neurobiologických poruch jako je deprese, schizofrenie a autizmus. 1H MRS dokáže neinvazivně vyčíslit koncentraci různých metabolitů včetně glutamátu (Glx) a kyseliny gama-aminomáselné (GABA).

GABA je hlavní inhibiční neurotransmitter v mozku, který hraje rozhodující roli v přenosu bolesti a jejich pokles vede ke zhoršení bolesti. Receptory GABA jsou především v míše, thalamu a mozkové kůře (Harris and Clauw, 2012).

Glx je zase hlavní excitační neurotransmitter v mozku, jehož aktivita je důležitá při chronické bolesti – bylo zjištěno, že u pacientů s fibromyalgií²⁹ byla zvýšena hladina Glx v amygdale a změny Glx nastali i v zadní insule (Harris et al., 2012).

Ve studii Harris et al. (2012) pozorovali mozek pacientů trpící chronickou bolestí. Bylo zjištěno, že u těchto pacientů byla snížena hladina GABA v přední insule³⁰, což naznačuje, že tato oblast může být důležitá při zpracování bolesti. (Harris et al., 2012).

²⁹ Fibromyalgie- chronický syndrom charakterizovaný plošnou bolestí

³⁰ Insula – úsek mozkové kůry pod spánkovým lalokem

Pomocí ^1H MRS tedy můžeme diagnostikovat chronickou bolest (pozorováním hladiny metabolitů) a můžeme pozorovat léčbu chronické bolesti – např. jak léky působí na množství neurotransmiterů.

Další, kdo se zabýval technikou pro léčbu chronické bolesti založenou na fMRI byl Chapin (2012). Shrnul poznatky o tzv. real-time fMRI (rt fMRI) jakožto možné technice pro přímé ovládání kortikálních a subkortikálních korových oblastí. Tento druh fMRI je neinvazivní technika, která nás informuje o aktivaci mozkových oblastí při vykonávání činnosti v daném čase a pacientům tak umožňuje sledovat mozek v reálném čase. Principem techniky ovládání bolesti je možnost pomocí rt fMRI kognitivně spravovat bolest a tím si vycvičit nervový systém (Chapin et al., 2012).

4.2 VEGETATIVNÍ STAV

Normální lidské vědomí je definováno jako uvědomění si sebe sama, přítomnost bdělého stavu a reakce na okolní prostředí. Podle (Goldfine and Schiff, 2011) má tři základní aspekty:

- Bdělost
- Uvědomění – globální stav vnímavosti, kdy mozek je schopen vnímat konkrétní podněty
- Motivace – jednotka působení na vnitřní nebo vnější podněty

Normální lidské vědomí vyžaduje spolupráci mozkového kmene, bazálního předního mozku, diencefalických oblastí a thalamokortikální sítě. Poranění nebo odpojení těchto propojených systémů může vést k poruchám vědomí jako je koma, vegetativní stav, minimálního stavu vědomí a akinetickému mutismu³¹. Poškození vědomí je většinou následkem ischemické cévní mozkové příhody³², globální ischemie³³ nebo traumatického poranění mozku (Goldfine and Schiff, 2011).

4.2.1 Poruchy vědomí

Akutní poškození mozku může způsobit těžké poruchy vědomí a může dosahovat až k přetrvávajícímu (perzistentnímu) vegetativnímu stavu (PVS). Závažná porucha vědomí po akutním poranění mozku se nejprve projevuje kómatem – stavem, kdy pacient i na velmi intenzivní stimulaci neotevře oči a nevykazuje žádnou reakci na okolní svět. Občas se může stát, že má oči otevřené, ale není schopen navázat kontakt s okolním světem. Tento stav nazýváme stav bdělého nevědomí nebo také perzistentní vegetativní stav (používá se i apalický stav). PVS je téměř nerozlišitelný od tzv. minimálního stavu vědomí (Bender et al., 2015).

³¹ Akinetický mutismus – porucha vědomí, pacient není schopen jakéhokoliv pohybu a komunikace, pouze pohyby očí

³² Ischemická cévní mozková příhoda – postižení mozkové tkáně vzniklé poruchou prokrvení, nejčastěji vzniká ucpáním mozkových tepen

³³ Globální ischemie – v důsledku přechodného nedostatečného prokrvení mozku, např. při srdeční zástavě, při šoku apod., mohou vznikat trvalé poruchy, nejtěžším následkem je tzv. mozková smrt

4.2.2 Poruchy vědomí - klasifikace (Goldfine and Schiff, 2011; Naci et al., 2012)

	Popis chování
Koma	Oči zavřené, žádné známky bdělosti, nehybnost nebo reflexní pohyby, obvykle přechodný stav (několik dní nebo týdnů), vzácně chronický
Vegetativní stav	Střídání stavů se zavřenými a otevřenými očima, ale žádné známky sebeuvědomění
Stav minimálního vědomí	Známky bdělosti, slabá a typicky přerušovaná interakce s okolím
Akinetický mutismus	Těžká forma – sleduje pouze očima (často spadá pod stav minimálního vědomí) Mírná forma – reakce na vnější povely ale snížená iniciace cíleného chování
Locked- in stav	Kompletní nebo částečná ztráta motoriky vedoucí k výskytu poruch vědomí, pacienti jsou si vědomi stavu, ale neschopni pohybu

4.2.3 Studium a výzkum vegetativního stavu

Někteří pacienti ve vegetativním stavu často vykazují fragmenty pohybových vzorců (Bekinschtein et al., 2011). Ve své studii Bekinstein (2011) zkoumal 5 pacientů ve vegetativním stavu, jež byli jinak zdraví, byli déle jak 4 měsíce po zranění s věkem mezi 18-65 lety a kteří prošli důkladným neurofyziologickým vyšetřením včetně fMRI. Zásadní také bylo, aby neměli poškozené sluchové korové oblasti – u pacientů byli zachovány sluchové evokované potenciály. Poté pacienti dostávali pokyny typu „pohni pravou rukou.“

U všech pěti pacientů se projevila vyšší aktivita laterální temporální kůry v reakci na sluchové pokyny, u dvou pacientů se tato aktivita projevila dokonce v obou temporálních lalocích (u zbývajících aktivita jen v jednom laloku). U těchto dvou pacientů můžeme říct, že vykazují známky reziduálního vědomého zpracování (centrum pro porozumění řeči se nachází v temporálním laloku) a je

u nich větší šance pro zotavení. Navíc je tu možnost využití metody Brain Computer Interface pro komunikaci s pacienty ve vegetativním stavu (viz níže) (Bekinschtein et al., 2011)

Pomocí fMRI můžeme s pacienty ve vegetativním stavu i v určitém směru komunikovat např. při kladení různých otázek se může změnit průtok krve v některých částech mozku (Cyranoski, 2012).

Ve studii Owen et al. (2006) zkoumali možnou komunikaci s pacientem ve vegetativním stavu. Pacient si měl přestavit hraní tenisu, když uslyší slovo tenis, nebo chůzi k domu, když uslyší slovo dům. Poté byl umístěn do skeneru. Výsledky testu ukázali, že při vyslovení těchto slov mozek byl aktivován úplně stejně jako u zdravého člověka. fMRI prokázala, že pacient si je sám sebe vědom (Owen et al., 2008).

5. Výzkum nervového systému

Tato část bude věnována použití neurozobrazovacích metod při výzkumu psychických stavů a procesů, jako jsou emoce a učení, a jejich neurofyziologické podstatě. Jedna kapitola bude věnovaná i fenoménu, nepříjemného pocitu, známém jako déjá vu.

5.1 Emoce

Emocemi rozumíme soubor psychických stavů, které zahrnují subjektivní zkušenosti, projev chování (postoj, výraz v tváři, jejich kombinace) a periferní fyziologické reakce (srdeční tep, dýchání). Jsou jakýmsi ústředním prvkem v každém psychologickém modelu mysli (Gross et al., 2011). Emoce hrají zásadní roli v sociálních interakcích a usnadňují racionální rozhodování a vnímání (Lopatovska et al., 2010).

Ohledně emocí je mnoho názorů, otázek a sporů, jako například, co jsou vlastně emoce a kdo může prožívat emoce (kojenec, zvíře...), jak nejlépe studovat emoce apod. (Gross et al., 2011), co jsou základní emoce (uvádí se základních 6: radost, smutek zlost, strach, znechucení, překvapení) jejichž kombinací se projevují ostatní emoce (např. pocit viny, osamělost jsou variací smutku) (Lopatovska et al., 2010).

Během projevu emocí se často vyskytují fyziologické změny (zrychlení /zpomalení dechu, svalové křeče apod.) Při studiu neurofyziologické podstaty emocí se zkoumá mozková aktivita (např. pomocí EEG), tepová frekvence, krevní tlak. (Lopatovska et al., 2010). Pomocí EEG a fMRI se studují fyziologické reakce na strach, emoční vnímání zejména u pacientů trpících schizofrenií – emoční vnímání je nejsledovanější aspekt společenského chování u schizofreniků (Green et al., 2012)

5.1.1 Podvod

Podvod je z jistého neurofyziologického hlediska psychický proces, kdy se jedna osoba snaží úmyslně přesvědčit druhou, že lež je pravda. V některých studiích bylo prokázáno, že při podvodu hraje důležitou roli prefrontální kortex, avšak v těchto studiích se často neshodovaly výsledky (protože se zkoumaly

různé druhy podvodu – např. lhaní o tom jakou kartu má subjekt v ruce apod.) (Ito et al., 2011).

Ito et al. (2011) zkoumali 32 lidí bez neurologického nebo psychického onemocnění a bez patologických nálezů – 16 žen a 16 mužů. Studie byla zaměřena na dva druhy podvodu – lhaní o citově neutrálních událostech a lhaní o událostech emočně založených. Předpokládalo se, že lhaní o emočních událostech aktivuje širší síť oblastí mozku, které se týkají paměti (Ito et al., 2011).

Zkoumaným osobám se ukazovaly obrázky s negativním nebo neutrálním podtextem a byli zkoumáni pomocí fMRI. Výsledky této studie podporují názor, že dorzolaterální prefrontální kůra je důležitá při konání podvodu a to bez ohledu na to, zda se jedná o podvod emočně či neutrálně založený (Ito et al., 2011).

5.2 Učení a paměť

PAMĚŤ

Paměť můžeme rozdělit na krátkodobou a dlouhodobou. Dlouhodobou paměť můžeme dále rozdělit na implicitní (nedeklarativní) a explicitní (vědomá, deklarativní). Implicitní paměť nebo implicitní učení je vše, co se lidé učí a vybavují nevědomě (emoce, jazyk.) (Reber, 2013).

Pro dobrou paměť je důležitá interakce mezi prefrontální kůrou a tzv. paměťového systému středního spánkového laloku. Poškození tohoto systému vede k selektivní ztrátě některých druhů paměti, zatímco kognitivní funkce (např. jazyk) zůstanou neporušeny – implicitní paměť není závislá na středním spánkovém laloku (Reber, 2013).

UČENÍ

Mnoho studií využilo neurozobrazovací metody k odhalení skupinových rozdílů ve stavbě mozku – např. hudebníci mají větší objem šedé hmoty a kortikální tloušťku ve sluchové kůře, které se mění v závislosti na době hudební praxe. Bohužel v takových studiích nelze rozeznat, zda jsou anatomické odchylky příčinou či důsledkem dovedností nebo znalostí (Zatorre et al., 2012).

Jedna z prvních dlouhodobých MRI studií zabývající se učením prokázala, že když se lidé učí 3 měsíce žonglovat, za toto období se jim zvýší objem šedé hmoty (Draganski et al., 2004). V následující studii se ukázalo, že změny v objemu šedé hmoty jsou patrné už po 7 dnech tréninku (Driemeyer et al., 2008).

5.3 Déjà vu

Déjà vu (čti dežaví) je děsivý zážitek, při kterém máme intenzivní pocit, že jsme prožili určitou situaci a přitom jsme si jistí, že jsme tuto situaci neprožili. Déjà vu se vyskytuje příležitostně u 60-80% zdravé populace. Oproti tomu se vyskytuje při projevech onemocnění mozku zejména při auře³⁴ epilepsie temporálního laloku – asi u 10% všech epileptických aur (Brázdil et al., 2012; Kovacs et al., 2009).

Déjà vu můžou prožívat pacienti i s jinými mozkovými poruchami jako je například deprese a schizofrenie. Jeho studium je obtížné, vzhledem jeho k vzácnosti, nepředvídatelnosti a různorodosti. Déjà vu může být buď spontánní nebo vyvolané například elektrickou stimulací mozku (Kovacs et al., 2009).

Vznik déjà vu u zdravých jedinců se obvykle vysvětluje:

1. Aktivací nervové soustavy, která se podílí na vybavování vzpomínek.
2. Narušením pozornosti nebo vnímání, které vedou k neobvyklému dvojímu zpracování informace. (Brázdil et al., 2012).

Déjà vu nemusí být jen chvilkovou záležitostí. Ve své studii Wells (2014) prezentoval případ 23letého muže, který zažívá trvalé déjà vu asi od roku 2007. V počátečních fázích trpěl úzkostí a odosobnění, kvůli čemuž musel na chvíli přerušit studia, někdy měl pocit, že uvízl v časové smyčce. Po návratu do školy se pocity déjà vu staly kontinuální. Avšak jeho neurologická vyšetření pomocí EEG a MRI neprokázala žádné abnormality a pacient si je svého déjà vu vědom (Wells et al., 2014).

5.3.1 Výzkum déjà-vu

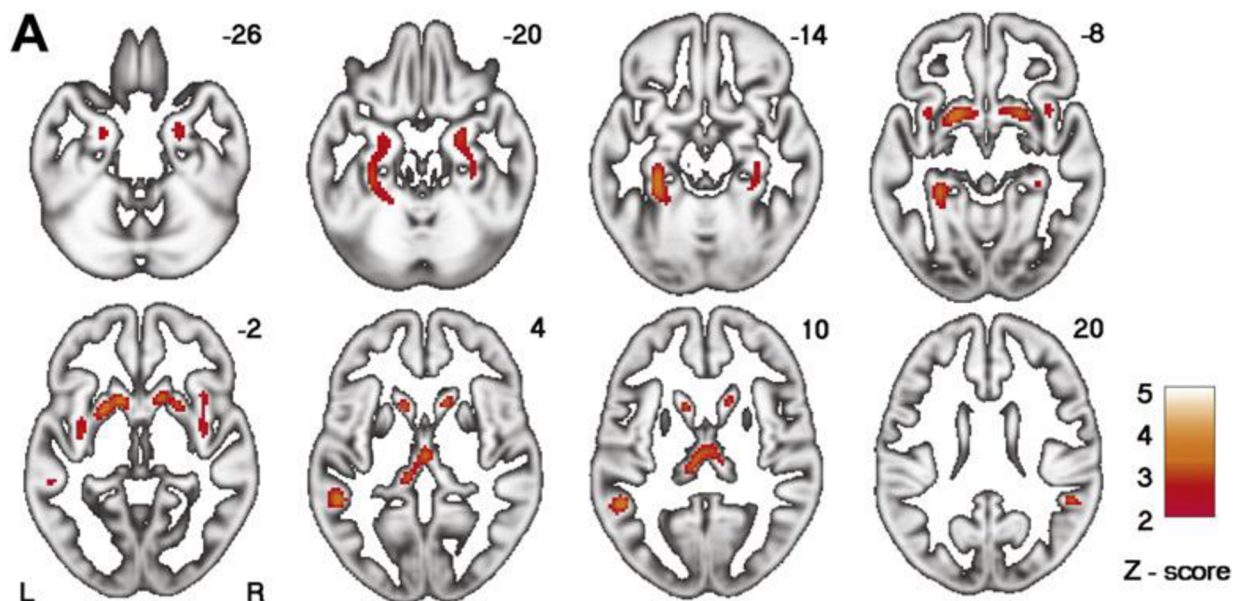
Brázdil et al. (2012) ve své studii zkoumali 113 zdravých osob, kteří podstoupili magnetickou rezonanci a vyplnili dotazník, podle kterého byli rozděleni do dvou skupin: pacienti, kteří odpověděli na otázku, zda měli někdy pocit, že prožili určitou situaci ještě před tím, než ji poprvé prožili, kladně byli zařazeni do skupin DV subjektů (pacienti, kteří prožili déjà vu), pacienti, kteří na

³⁴ Aura – smyslový vjem, v lékařské terminologii předzvěst záchvatu (epileptického nebo migrenóznímu), může být sluchová, zraková, čichová

stejnou otázku odpověděli záporně, byli zařazeni do skupiny non DV (pacienti, kteří nikdy nezažili dějà vu)(Brázdil et al., 2012).

Předpoklad byl, že ve skupině non DV jsou zapojené stejné nervové sítě jako u pacientů s epilepsií prožívajících dějà vu. Využila se nová technika Source-based morfometrie³⁵ (SBM), která je velmi citlivá na lokální změny v objemu šedé hmoty a pomocí které se analyzovala data získaná z magnetické rezonance. Zkoumalo se, zda existuje vztah mezi objemem šedé hmoty v určitých místech a četností zkušeností s dějà vu (Brázdil et al., 2012).

Zjistilo se, že u subjektů prožívajících dějà vu, byla řada oblastí s menším objemem šedé hmoty. Na druhou stranu nebyly v této skupině zjištěny žádné oblasti s větším množstvím šedé hmoty oproti skupině non DV (Obr. 13.)(Brázdil et al., 2012).



Obrázek č. 13: Oblasti mozku se sníženým objemem mozkové hmoty u pacientů s dějà-vu zkušenosti. Podle (Brázdil et al., 2012).

³⁵ Source-based morfometrie – morfometrie = měření tvarů, SBM – přístup pomocí něhož můžeme studovat rozdíly šedé hmoty mozkové u pacientů a zdravými kontrolami, založený na statistické metodě tzv. Analýzy nezávislé komponenty (Xu.L et al, 2009).

6. Mystická zkušenost

V poslední době se předmětem výzkumu stávají různé duchovní a náboženské praktiky a stavy jako jsou meditace, modlitby apod. Pro zkoumání těchto praktik se využívá různých neurovizuálních metod jako PET, SPECT, fMRI, EEG. Každá z těchto metod má svoje výhody i nevýhody (např. fMRI má vynikající prostorové rozlišení, může vyhodnotit rozdíly mezi více modlitebními stavy, nevýhodou je však velký hluk, který může rušit zkoumaného jedince vykonávající některou duchovní či náboženskou praktiku) (Newberg, 2014).

Duchovní a náboženské stavy mysli mohou být někdy vyvolány stimulací spánkového laloku. Cílem studií je zjistit zda v mozku existuje jakési duchovní centrum (Beauregard et al., 2006, 2008)

Beauregard et al., (2008) ve své studii zkoumali pomocí EEG mystickou zkušenost u sester z řádu Karmelitánek. Tímto duševním stavem se rozumí smysl pro spojení s Bohem. Studie se zúčastnilo 14 sester z řádu karmelitánek a měření EEG probíhalo v zatemněné zvukově izolované místnosti (Beauregard et al., 2008).

Měření probíhalo ve třech rovinách – základní klidový stav (se zavřenýma očima), stav mystické zkušenosti (kdy si měly jeptišky vybavit nejintenzivnější mystickou zkušenost, kterou zažili během svého života) a kontrolní stav (opět se zavřenýma očima, kdy si měly představit nejintenzivnější stav jednoty s druhým člověkem během života v řádu)(Beauregard et al., 2008).

Během stavu mystické zkušenosti, kdy subjekty pociťovali různé emoce (bezpodmínečnou lásku, radost, klid), pocity poznání, vzrostla aktivita vln theta v čelní a parietální oblasti, aktivita gama vln vzrostla v pravých spánkových a temenních oblastech (Beauregard et al., 2008).

Během ožívání vzpomínek na mystickou zkušenost bylo tedy aktivováno více částí mozku, tudíž nebyla potvrzena existence duchovního centra.

7. Ovládání technických zařízení pomocí mentální aktivity

Ovládání přístrojů pouhou myšlenkou je pro běžného člověka prozatím jen hudba budoucnosti. V dnešní době probíhá mnoho výzkumů zabývajících se touto ideou, kdy je mozek propojen s nějakým technickým zařízením.

Cílem těchto výzkumů a studií je zkvalitnění života pacientům s fyzickým hendikepem – např. dát možnost lidem s chybějící končetinou (ať už je to ruka či noha) nebo s ochrnutím celého těla, získat plnohodnotnou náhradu v podobě robotické končetiny, kterou by, stejně jako tu „normální“, bylo možno ovládat myšlenkou.

Další zaměření výzkumů se směřuje k pacientům s některou poruchou vědomí, kdy nejsou schopni komunikovat s okolním světem. Cílem těchto výzkumů je umožnit těmto pacientům komunikaci s okolím.

7.1 Brain-Computer Interface

Brain-Computer Interface (rozhraní mozek-počítač, BCI) je způsob, jenž nám může zprostředkovat komunikaci mezi lidským mozkem a počítačovým systémem. Jeden z hlavních cílů výzkumu BCI je vyvinutí systému, který umožní osobám s těžkým zdravotním postižením v komunikaci s vnějším prostředím a tím zlepšit kvalitu jejich života (Cincotti et al., 2012; Hiremath et al., 2015; Saini, 2015). Kromě tohoto využití, BCI systémy představují nový typ rozhraní, pomocí něhož lidé s normální mozkovou aktivitou mohou komunikovat s počítačem/strojem (Sajda et al., 2008).

BCI je založeno na snímání elektrické aktivity mozku z povrchu hlavy pomocí EEG. Existuje několik typů BCI, které mají za úkol zachytit elektrické signály, které projdou mezi neurony v mozku a převést je na signál, který je snímán externím zařízením (Saini, 2015). BCI jsou typicky rozděleny podle toho, jak sbírají nervové signály (Obr. 14) (Sajda et al., 2008):

1. Invazivní BCI – Tato zařízení mají nejvyšší kvalitu signálu – jsou implantovaná do mozku. Slouží k zajištění základních funkcí pro ochrnuté lidi jako je zrak propojením mozku s externími kamerami,

pomáhají nahradit pohyby končetin pomocí robotických paží a nohou. Problémem tohoto zařízení je jeho samotné umístění – tělo může reagovat na cizí předmět v mozku, vznikne zjizvení tkáně a signál může slábnout nebo úplně vymizet (Burns et al., 2014; Saini, 2015)

2. Částečně invazivní BCI – Jak sám název napovídá, tato zařízení jsou částečně implantovaná uvnitř lebky (elektrody snímající signály jsou uloženy v tenké plastové podložce umístěné nad kůrou pod dura mater), ale část je umístěno mimo mozek. Síla signálu je v porovnání s invazivní BCI slabší ale mají menší riziko vzniku zjizvení tkání (Saini, 2015).

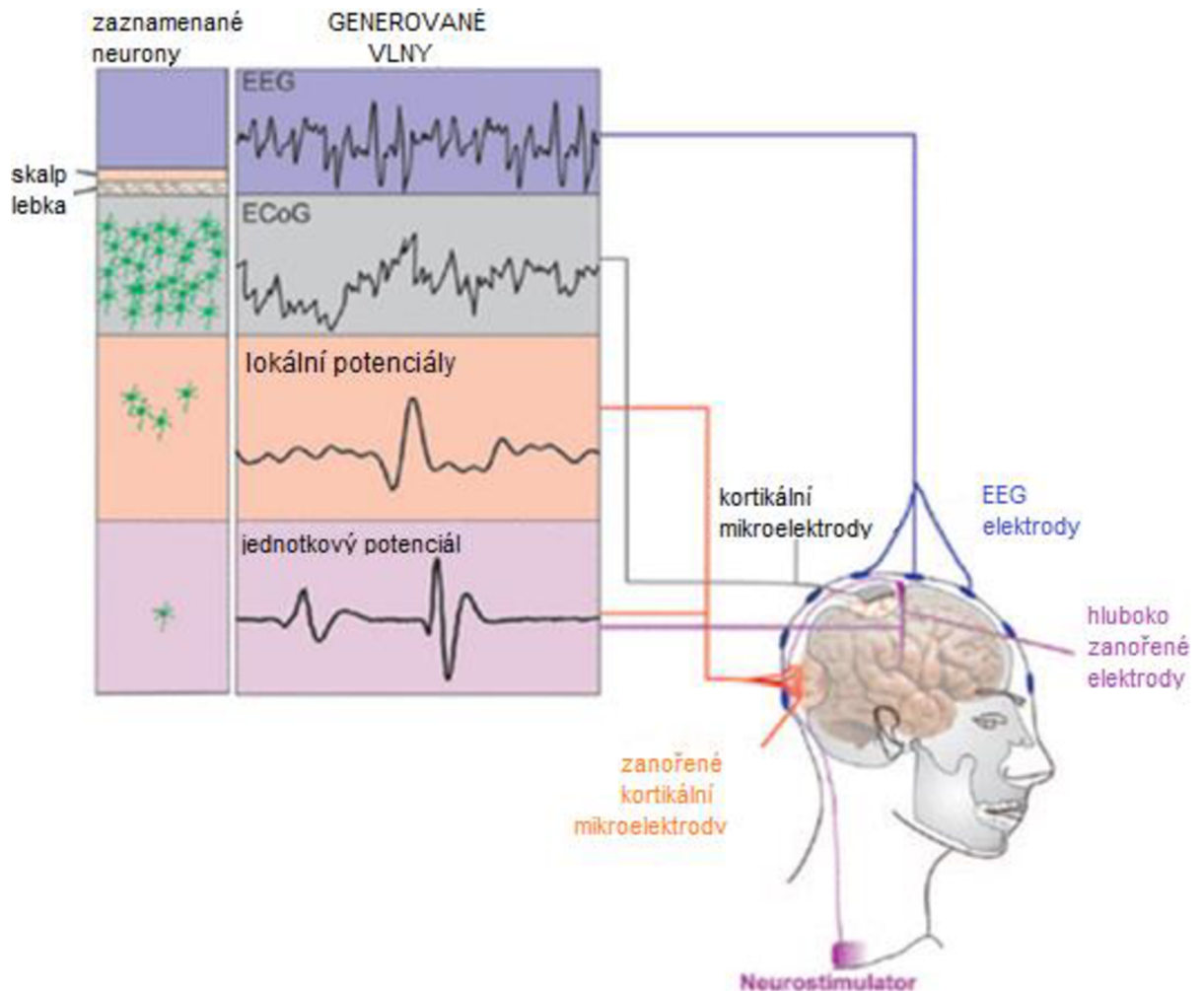
3. Neinvazivní BCI – Signály u tohoto zařízení jsou snímány z povrchu hlavy (většinou pomocí skenovacích zařízení jako je EEG), proto jsou méně jasné a silnější než u dvou předchozích typů BCI. Na druhou stranu je tento způsob bezpečnější a levnější s porovnáním s ostatními. I přes slabší signály může neinvazivní BCI umožnit pacientům obnovit částečný pohyb pomocí svalových implantátů (Saini, 2015).

Ačkoliv se zdá použití BCI jednoduché, uživatel se potřebuje naučit vytvářet určité kortikální vzorce pro řízení externích zařízení- tzv. BCI učení (Hiremath et al., 2015).

Jedním z nejnovějších a nejslibnějších oblastí použití BCI je rehabilitace pacientů po mozkové příhodě (Cincotti et al., 2012). Další přínosem je využití tohoto systému při výzkumu amyotrofické laterální sklerózy³⁶ (McCane et al., 2015), která v pokročilé fázi připomíná těžký Locked - in stav, kdy v posledních stádiích mohou nastat poruchy vědomí (Naci et al., 2012). Dále se zkoumá, jak by se pomocí BCI mohl zkvalitnit život pacientům s Parkinsonovou chorobou, poraněním míchy a poruchou vědomí (Burns et al., 2014)

Nedávné výzkumy naznačují, že někteří pacienti ve vegetativním stavu mohou vědomě řídit svou mozkovou aktivitu podle různých povelů a BCI může těmto pacientům umožnit komunikaci s vnějším světem (Naci et al., 2012).

³⁶ Amyotrofická laterální skleróza- progresivní onemocnění motorických neuronů, které vede ke kompletní paralýze (během 2- 5 let)



Obrázek č. 14: Způsoby získávání signálu z mozku.

EEG – elektrody jsou umístěné na povrchu hlavy a získávají signál z neuronů nepřímo

ECoG – elektrokortikografické signály jsou získávány pomocí kortikálních mikroelektrod umístěných v horní části mozkové kůry

Lokální potenciály – pomocí zanořených kortikálních mikroelektrod, vzniká čistší signál

Jednotkový potenciál- získá pomocí hluboko zanořené elektrody nebo pomocí zanořených kortikálních mikroelektrod, signály se vytváří z kontaktu pouze s jedním elektronem (Burns et al., 2014)

Upraveno podle (Burns et al., 2014)

7.2 Ovládání externích zařízení mozkovou aktivitou

Další možností, jak ovládat externí zařízení je real - time fMRI. Pomocí rt fMRI můžeme pohybovat kurzorem na obrazovce počítače. Pozorovala se aktivace čtyř oblastí mozku při plnění úkolů a poté se naprogramoval algoritmus tak, že aktivace každé oblasti vedla k pohybu kurzorem jedním ze čtyř hlavních směrů (Yoo et al., 2004).

Od té doby uplynulo mnoho času. V roce 2012 svět ohromila zpráva o Cathy Hutchinsonové, která byla ochrnutá od krku dolů. Po 15 letech závislosti na cizí pomoci se poprvé mohla napít sama pomocí robotické paže, kterou ovládala vlastními myšlenkami (Hochberg et al., 2012).

66letý muž a 58letá žena (právě zmiňované Cathy H.) byli zařazeni do klinické studie tzv. BrainGate2³⁷. Do mozku jim bylo implantováno pole elektrod o velikosti 4x4 mm, odkud se měří signály z motorických center. Systém není bezdrátový a účastník je připojen k počítači. Navíc pohyby robotické paže byli pomalejší než u klasické paže (Hochberg et al., 2012).

V roce 2014 zaznamenali neurovědci další úspěch. Muži, který před 40 lety přišel o ruce, byli implantovány obě robotické paže, vyrobené v Laboratoři aplikované fyziky Johna Hopkinse, které mohl ovládat myšlenkou. Pohyb pažemi byl pomalejší a nepřirozený, přesto vědci byli samy překvapeni, jak rychle si pacient pohyby osvojil. (Více informací na stránkách laboratoře: <http://www.jhuapl.edu/newscenter/pressreleases/2014/141216.asp>).

³⁷ BrainGate2 – projekt pro zlepšení kvality života lidí bez končetin nebo paralyzovaných. Více informací na www.braingate2.com

8. DETEKOVÁNÍ LŽI

Lež je součástí každodenního života. Už od pradávna se lidé snažili nějakým způsobem rozlišit pravdu od lži. Detekování lži je v dnešní době jedna z možností jak usvědčit zločince a podvodníky. Detektor lži využívaný v policejní praxi je polygraf, přístroj, který zaznamenává krevní tlak, puls, dýchání, elektrický odpor kůže apod. a vychází z předpokladu, že vědomá lež vyvolá stres, jenž se projeví některou měřitelnou změnou. Avšak tento detektor nemusí být 100% úspěšný.

Někteří neurovědci proto zkoumají různé neurovizuální metody (fMRI, PET, EEG) jako alternativu klasického detektoru (Vicianova, 2015). V různých studiích se pomocí fMRI hledají „vzorce“ pro rozpoznání lži od pravdy. Např. Spence et al. (2004) ve své studii prokázal, že při lhaní je ventrolaterální prefrontální kůra aktivnější než když lidé mluví pravdu.

Sai (2014) se ve své studii zaměřila na potenciál funkční NIRS jakožto detektorů lži. Účastníci studie byli rozděleni na dvě skupiny – skupina viníků (měli se dopustit falešného zločinu) a skupina nevinných. Účastníci ve skupině „viníků“ museli tajit informace a tvrdit nevinu a přitom byla zaznamenávána aktivita jejich mozků funkční NIRS.

Ve skupině viníků byla zjištěna delší reakční doba a větší aktivita v bilaterální dorzolaterální prefrontální kůře a doplňkové kůře při sdělování lživých informací oproti skupině nevinných. Úspěšnost určení zda je účastník vinný či nevinný byla asi 75%. Výsledky prokázaly, že funkční NIRS může být slibný nástroj pro detekování lži (Sai et al., 2014).

9. MOŽNOSTI NEUROZOBRAZOVACÍCH METOD

Neurověda jako taková pokročila během relativně krátké doby daleko dopředu, ale stále nedokážeme pomocí neurozobrazovacích metod vysvětlit lidské chování, nedokážeme jednoznačně diagnostikovat psychické nemoci jako je pedofilie a ani vznik závislostí. Avšak některé neurozobrazovací metody mohou hrát i menší roli u soudu – jako zdroj důkazu, který může vést ke zmírnění trestu (Oullier, 2012).

Navíc se tyto metody začaly využívat mimo oblast výzkumu mozku v komerčních společnostech, v oblastech jako je např. marketing (Oullier, 2012) Funkční magnetická rezonance je v neuromarketingu využívána především k testování nových produktů, kampaní, testování a vývoji reklamy, k identifikaci klíčových momentů v reklamě, testování obalů a cen. Dále se využívá k identifikaci potřeb zákazníků a ke smyslovému testování. Pomocí EEG se testují reakce na nové kampaně, filmové upoutávky, design webových stránek apod. (Bercea, 2011).

A to vyvolává jak etické tak i praktické otázky, jestli je vůbec dobré vědět, jak se lidé rozhodují, jak se chovají v různých situacích a zda takové informace nelze zneužít. Ve Francii například schválili zákon zakazující použití neurozobrazovacích metod pro komerční účely. (Oullier, 2012).

Některé články útočí i na jedno odvětví neurovědy – sociální neurovědu, která se zabývá (většinou pomocí fMRI) tím, které oblasti jsou aktivovány, když je subjekt vystaven nějaké sociální interakci (např. situace vyvolávající žárlivost, pocit nespravedlnosti apod.) (Abbott, 2009)

Důležité je zmínit i neuroetiku, která se zabývá etickými, právními a společenskými otázkami používání neurozobrazovacích metod. Pomocí těchto metod můžeme předpokládat zdravotní stav, studijní výsledky i jak bylo řečeno výše kriminální chování (Poldrack et al., 2015).

Je tedy otázkou jestli by některé citlivé výsledky studií nemohly být nějak zneužity a zda například přičiněním neuromarketingu není ohroženo svobodné, logické a informované rozhodnutí spotřebitele. Nuromarketing je do určité míry nebezpečný - prakticky se snaží poznat mozek zkoumaných osob a tím vlastně i jejich osobnost.

10. DIDAKTICKÁ ČÁST

V této části uvádím, jak mohu své poznatky z diplomové práce využít ve vyučování jako budoucí učitelka střední školy.

Vzhledem k tomu, že tato práce se týká především nervové soustavy a neurozobrazovacích metod, rozhodla jsem se vytvořit prezentaci, která by mohla sloužit jako rozšiřující učivo například v biologickém semináři. Tato prezentace by měla za úkol zopakovat se žáky základní poznatky o nervové soustavě a seznámit je s nejběžnějšími metodami, které dokáží zobrazit vnitřní struktury lidského těla a především nervovou soustavu. Předpokládám, že tomuto tématu bychom se věnovali asi na dvou vyučovacích hodinách.

Kromě prezentace, která slouží jako vizuální pomůcka během výkladu, jsem vytvořila pracovní list, který žáci vyplní ve dvojicích po skončení výkladu za pomoci svých vlastních poznámek. Tento postup by měl sloužit k upevnění získaných informací. Pracovní list obsahuje, jak otázky typu přiřadit pojem k pojmu, jednoznačné otázky, tak i otázky, nad kterými se žák bude muset více zamyslet.

Po vyplnění pracovního listu bychom si jej společně zkontrolovali a prodiskutovali správné a špatné odpovědi, provedli diskusi o použití a výhodách nebo nevýhodách jednotlivých metod. Případně se pobavili o možnostech výzkumu pomocí těchto metod (kterých oblastí se to asi týká), dějů (zda mají studenti s tímto stavem nějaké zkušenosti, co je jeho příčinou), možnosti ovládnutí technických zařízení (co si pod tímto označením představí) apod.

11. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce rešeršního charakteru byl popis a srovnání metod, kterými můžeme zobrazit nervový systém a jejich použití ve výzkumu a léčbě tohoto systému.

V první části jsem se zaměřila na popis metod, kterými můžeme zobrazit nervový systém. Nejstarší a zdá se i nejbezpečnější metoda je EEG, která slouží k záznamu elektrické aktivity mozku. Zobrazování CT využívá rentgenové záření a zobrazuje strukturu těla. MRI a zvláště fMRI je technika, která zobrazuje nejen morfologii ale i funkční vlastnosti tkání resp. mozku. Tato metoda využívá radiofrekvenční pulzy a je založena na principu tzv. nukleární magnetické rezonance. Emisní tomografie využívá radioaktivních látek vpravených do těla pacienta, jejichž záření je následně detekováno. Rozdělujeme ji na pozitronovou emisní tomografii (PET), která využívá radionuklidy s kratším poločasem rozkladu jako je nejčastěji používané ^{18}F , a mnohem méně detailní jednofotonovou emisní tomografii (SPECT), která využívá radionuklidy s delším poločasem rozkladu (např. xenon133). Hybridní systémy jsou kombinací dvou různých vyšetřovacích metod (PET, SPECT, CT, MRI) a jsou přesnější než jednotlivé metody, navíc snižují radiační zátěž při opakovaných vyšetření. EP jsou elektrofyziologickým vyšetřením, které sleduje aktuální elektrickou aktivitu mozku (pomocí EEG) v reakci na podněty zvenčí, a jehož výsledky napomáhají v diagnostice poruch nervového systému. Technika optických signálů je technika, která pozoruje změny optického rozptylu vyskytující se při aktivaci nervové tkáně.

Druhá část práce byla věnována výzkumu a léčbě nervového systému. Vyzdvihla bych výzkum vegetativního stavu, kdy se spousta studií zabývá možnostmi komunikace s pacienty ve vegetativním stavu pomocí různých neurozobrazovacích technik jako je EEG.

Další zajímavou kapitolou je výzkum fenoménu déjà vu. Zjistilo se, že tento zážitek je spojen s množstvím šedé hmoty – u řady pozorovaných subjektů byli detekovány oblasti se sníženým objemem šedé hmoty.

Myslím, že velký potenciál má výzkum a vývoj tzv. rozhraní mozek – počítač (BCI). Toto rozhraní nám umožňuje komunikaci mezi lidským mozkem a počítačovým systémem. BCI je možný prostředek jak umožnit komunikaci

s pacienty ve vegetativním stavu. Cílem studií a výzkumů jsou také lidé s ochrnutím nebo amputací některé části těla. V roce 2012 se pacientka, která byla 15 let ochrnutá, pomocí robotické paže poprvé napila bez cizí pomoci. V roce 2014 byli muži, který přišel o obě ruce implantovány robotické paže, které mohl ovládat myšlenkou.

Zdroje:

1. Abbott, A., 2009, Brain imaging studies under fire, Nature.
2. Anděl, I., and Z. Trávníček, 2004, MULTIDETEKTOROVÁ HELIKÁLNÍ („SPIRÁLNÍ“) VÝPOČETNÍ TOMOGRAFIE V DIAGNOSTICE UROLITIÁZY Urologické listy, p. 16-22.
3. Aran, S., K. W. Shaqdan, and H. H. Abujudeh, 2014, Dual-energy computed tomography (DECT) in emergency radiology: basic principles, techniques, and limitations: Emerg Radiol, v. 21, p. 391-405.
4. Bandettini, P. A., 2009, What's new in neuroimaging methods?: Ann N Y Acad Sci, v. 1156, p. 260-93.
5. Barron, D., 2005, Basic science: computed tomography, Current Orthopaedics, Elsevier, p. 20-26.
6. Basbaum, A. I., D. M. Bautista, G. Scherrer, and D. Julius, 2009, Cellular and molecular mechanisms of pain: Cell, v. 139, p. 267-84.
7. Beauregard, M., and V. Paquette, 2006, Neural correlates of a mystical experience in Carmelite nuns: Neurosci Lett, v. 405, p. 186-90.
8. Beauregard, M., and V. Paquette, 2008, EEG activity in Carmelite nuns during a mystical experience: Neurosci Lett, v. 444, p. 1-4.
9. Bednařík, J., and a. kolektiv, 2013, Učebnice obecné neurologie, Masarykova Univerzita.
10. Bekinschtein, T. A., F. F. Manes, M. Villarreal, A. M. Owen, and V. Della-Maggiore, 2011, Functional imaging reveals movement preparatory activity in the vegetative state: Front Hum Neurosci, v. 5, p. 5.
11. Bender, A., R. J. Jox, E. Grill, A. Straube, and D. Lulé, 2015, Persistent vegetative state and minimally conscious state: a systematic review and meta-analysis of diagnostic procedures: Dtsch Arztebl Int, v. 112, p. 235-42.

12. Brázdil, M., R. Mareček, T. Urbánek, T. Kašpárek, M. Mikl, I. Rektor, and A. Zeman, 2012, Unveiling the mystery of déjà vu: the structural anatomy of déjà vu: *Cortex*, v. 48, p. 1240-3.
13. Burns, A., H. Adeli, and J. A. Buford, 2014, Brain-computer interface after nervous system injury: *Neuroscientist*, v. 20, p. 639-51.
14. Caldemeyer, K. S., and K. A. Buckwalter, 1999, The basic principles of computed tomography and magnetic resonance imaging: *J Am Acad Dermatol*, v. 41, p. 768-71.
15. Catala, M., and N. Kubis, 2013, Gross anatomy and development of the peripheral nervous system: *Handb Clin Neurol*, v. 115, p. 29-41.
16. Chapin, H., E. Bagarinao, and S. Mackey, 2012, Real-time fMRI applied to pain management: *Neurosci Lett*, v. 520, p. 174-81.
17. Cincotti, F., F. Pichiorri, P. Aricò, F. Aloise, F. Leotta, F. de Vico Fallani, J. e. R. Millán, M. Molinari, and D. Mattia, 2012, EEG-based Brain-Computer Interface to support post-stroke motor rehabilitation of the upper limb: *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, v. 2012, p. 4112-5.
18. Cyranoski, D., 2011, Neuroscience: Thought experiment: *Nature*, v. 469, p. 148-9.
19. Cyranoski, D., 2012, Neuroscience: The mind reader: *Nature*, v. 486, p. 178-80.
20. Dill, T., 2009, Contraindications to magnetic resonance imaging, *Kerckhoff Heart Cente*, p. 943-948.
21. Draganski, B., C. Gaser, V. Busch, G. Schuierer, U. Bogdahn, and A. May, 2004, Neuroplasticity: changes in grey matter induced by training: *Nature*, v. 427, p. 311-2.
22. Driemeyer, J., J. Boyke, C. Gaser, C. Büchel, and A. May, 2008, Changes in gray matter induced by learning--revisited: *PLoS One*, v. 3, p. e2669.

23. Farley, A., C. Johnstone, C. Hendry, and E. McLafferty, 2014a, Nervous system: part 1: Nurs Stand, v. 28, p. 46-51.
24. Farley, A., E. McLafferty, C. Johnstone, and C. Hendry, 2014b, Nervous system: part 3: Nurs Stand, v. 28, p. 46-50.
25. Goldfine, A. M., and N. D. Schiff, 2011, Consciousness: its neurobiology and the major classes of impairment: Neurol Clin, v. 29, p. 723-37.
26. Gratton, G., and M. Fabiani, 2010, Fast optical imaging of human brain function: Front Hum Neurosci, v. 4, p. 52.
27. Green, M. F., and J. Lee, 2012, Neural bases of emotional experience versus perception in schizophrenia: Biol Psychiatry, v. 71, p. 96-7.
28. Gross, J. J., and L. F. Barrett, 2011, Emotion Generation and Emotion Regulation: One or Two Depends on Your Point of View: Emot Rev, v. 3, p. 8-16.
29. Harris, J. J., C. Reynell, and D. Attwell, 2011, The physiology of developmental changes in BOLD functional imaging signals: Dev Cogn Neurosci, v. 1, p. 199-216.
30. Harris, R. E., and D. J. Clauw, 2012, Imaging central neurochemical alterations in chronic pain with proton magnetic resonance spectroscopy: Neurosci Lett, v. 520, p. 192-6.
31. Hendee, W. R., and C. J. Morgan, 1984, Magnetic resonance imaging. Part I--physical principles: West J Med, v. 141, p. 491-500.
32. Hendee, W. R., and M. K. O'Connor, 2012, Radiation risks of medical imaging: separating fact from fantasy: Radiology, v. 264, p. 312-21.
33. Hendry, C., A. Farley, E. McLafferty, and C. Johnstone, 2014, Nervous system: part 2: Nurs Stand, v. 28, p. 45-9.
34. Hiremath, S. V., W. Chen, W. Wang, S. Foldes, Y. Yang, E. C. Tyler-Kabara, J. L. Collinger, and M. L. Boninger, 2015, Brain computer

interface learning for systems based on electrocorticography and intracortical microelectrode arrays: *Front Integr Neurosci*, v. 9, p. 40.

35. Hochberg, L. R., D. Bacher, B. Jarosiewicz, N. Y. Masse, J. D. Simeral, J. Vogel, S. Haddadin, J. Liu, S. S. Cash, P. van der Smagt, and J. P. Donoghue, 2012, Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm: *Nature*, v. 485, p. 372-5.
36. Hounsfield, G. N., 1973, Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system: *Br J Radiol*, v. 46, p. 1016-22.
37. Ito, A., N. Abe, T. Fujii, A. Ueno, Y. Koseki, R. Hashimoto, S. Mugikura, S. Takahashi, and E. Mori, 2011, The role of the dorsolateral prefrontal cortex in deception when remembering neutral and emotional events: *Neurosci Res*, v. 69, p. 121-8.
38. Jensen, K. B., C. Berna, M. L. Loggia, A. D. Wasan, R. R. Edwards, and R. L. Gollub, 2012, The use of functional neuroimaging to evaluate psychological and other non-pharmacological treatments for clinical pain: *Neurosci Lett*, v. 520, p. 156-64.
39. Jhaveri, K. S., S. Saini, L. A. Levine, D. J. Piazza, R. J. Doncaster, E. F. Halpern, P. F. Jordan, and J. H. Thrall, 2001, Effect of multislice CT technology on scanner productivity: *AJR Am J Roentgenol*, v. 177, p. 769-72.
40. Kang, M. J., C. M. Park, C. H. Lee, J. M. Goo, and H. J. Lee, 2010, Dual-energy CT: clinical applications in various pulmonary diseases: *Radiographics*, v. 30, p. 685-98.
41. Kenney, M. J., and C. K. Ganta, 2014, Autonomic nervous system and immune system interactions: *Compr Physiol*, v. 4, p. 1177-200.
42. Knyazev, G. G., 2012, EEG delta oscillations as a correlate of basic homeostatic and motivational processes: *Neurosci Biobehav Rev*, v. 36, p. 677-95.

43. Koenig, T., D. Studer, D. Hubl, L. Melie, and W. K. Strik, 2005, Brain connectivity at different time-scales measured with EEG: *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, v. 360, p. 1015-23.
44. Kovacs, N., T. Auer, I. Balas, K. Karadi, K. Zambo, A. Schwarcz, P. Klivenyi, H. Jokeit, K. Horvath, F. Nagy, and J. Janszky, 2009, Neuroimaging and cognitive changes during déjà vu: *Epilepsy Behav*, v. 14, p. 190-6.
45. Kraśnicki, T., P. Podgórski, M. Guziński, A. Czarnecka, K. Tupikowski, J. Garcarek, and M. Marek Sasiadek, 2012, Novel clinical applications of dual energy computed tomography: *Adv Clin Exp Med*, v. 21, p. 831-41.
46. Krupka, K., Kubinyi, J., Š, 2007, *Nukleární medicína*, Nakladatelstv P3Kí.
47. Logothetis, N. K., 2008, What we can do and what we cannot do with fMRI: *Nature*, v. 453, p. 869-78.
48. Lopatovska, I., and I. Arapakis, 2010, Theories, methods and current research on emotions in library and information science, information retrieval and human–computer interaction, Elsevier Science Direct, p. 575-592.
49. Majumder, M., 2011, Positron Emission Tomography (PET) in Clinical Medicine and Bangladesh Perspective, *Journal of Bangladesh College of Physicians and Surgeons*
50. Mastaglia, F. L., and W. M. Carroll, 1982, Evoked potentials in neurological diagnosis: *Br Med J (Clin Res Ed)*, v. 285, p. 1678-9.
51. Matthews, P. M., and P. Jezzard, 2004, Functional magnetic resonance imaging: *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, v. 75, p. 6-12.
52. McCane, L. M., S. M. Heckman, D. J. McFarland, G. Townsend, J. N. Mak, E. W. Sellers, D. Zeitlin, L. M. Tenteromano, J. R. Wolpaw, and T. M. Vaughan, 2015, P300-based brain-computer interface (BCI) event-

- related potentials (ERPs): People with amyotrophic lateral sclerosis (ALS) vs. age-matched controls: *Clin Neurophysiol*, v. 126, p. 2124-31.
53. Moore, W. S., and G. N. Holland, 1980, Nuclear magnetic resonance imaging: *Br Med Bull*, v. 36, p. 297-9.
54. Naci, L., M. M. Monti, D. Cruse, A. Kübler, B. Sorger, R. Goebel, B. Kotchoubey, and A. M. Owen, 2012, Brain-computer interfaces for communication with nonresponsive patients: *Ann Neurol*, v. 72, p. 312-23.
55. Nensa, F., K. Beiderwellen, P. Heusch, and A. Wetter, 2014, Clinical applications of PET/MRI: current status and future perspectives: *Diagn Interv Radiol*, v. 20, p. 438-47.
56. Newberg, A. B., 2014, The neuroscientific study of spiritual practices: *Front Psychol*, v. 5, p. 215.
57. Niederer, P. F., 2011, Basic elements of nuclear magnetic resonance for use in medical diagnostics: magnetic resonance imaging (MRI) and magnetic resonance spectroscopy (MRS): *Technol Health Care*, v. 19, p. 373-89.
58. O'Connor, M. K., and B. J. Kemp, 2006, Single-photon emission computed tomography/computed tomography: basic instrumentation and innovations: *Semin Nucl Med*, v. 36, p. 258-66.
59. Oullier, O., 2012, Clear up this fuzzy thinking on brain scans: *Nature*, v. 483, p. 7.
60. Owen, A. M., and M. R. Coleman, 2008, Detecting awareness in the vegetative state: *Ann N Y Acad Sci*, v. 1129, p. 130-8.
61. Panksepp, J., T. Fuchs, V. A. Garcia, and A. Lesiak, 2007, Does any aspect of mind survive brain damage that typically leads to a persistent vegetative state? Ethical considerations: *Philos Ethics Humanit Med*, v. 2, p. 32.

62. Passmore, S. R., B. Murphy, and T. D. Lee, 2014, The origin, and application of somatosensory evoked potentials as a neurophysiological technique to investigate neuroplasticity: *J Can Chiropr Assoc*, v. 58, p. 170-83.
63. Pleśniak, J., 2011, Single Photon Emission Computed Tomography as a diagnostic method in ischemic heart disease - basic technical aspects: *Pol J Radiol*, v. 76, p. 49-52.
64. Poldrack, R. A., and M. J. Farah, 2015, Progress and challenges in probing the human brain: *Nature*, v. 526, p. 371-9.
65. Prokop, M., 2003, General principles of MDCT: *Eur J Radiol*, v. 45 Suppl 1, p. S4-10.
66. Reber, P. J., 2013, The neural basis of implicit learning and memory: a review of neuropsychological and neuroimaging research: *Neuropsychologia*, v. 51, p. 2026-42.
67. Sai, L., X. Zhou, X. P. Ding, G. Fu, and B. Sang, 2014, Detecting concealed information using functional near-infrared spectroscopy: *Brain Topogr*, v. 27, p. 652-62.
68. Saini, S., 2015, Brain Computer Interface, *International Journal of Basic and Applied Biology*, p. 371-374.
69. Sajda, P., K.-R. Müller, and K. V. Shenoy, 2008, Brain-Computer Interfaces, *IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE* *IEEE signal processing magazine*.
70. Seemann, M. D., 2004, PET/CT: fundamental principles: *Eur J Med Res*, v. 9, p. 241-6.
71. Seidl, Z., and J. Obenberger, 2004, *Neurologie pro studium i praxi*: Praha, Grada Publishing, a.s.
72. Shorvon, S. D., 2009, A history of neuroimaging in epilepsy 1909-2009: *Epilepsia*, v. 50 Suppl 3, p. 39-49.

73. Smith, K., 2012, Brain imaging: fMRI 2.0: Nature, v. 484, p. 24-6.
74. Valenta, J. i., L. Páč, J. Stignl, and P. Fiala, 2012, Central Nervous System : Overview of Anatomy, Prague, Charles University in Prague, Karolinum Press, p. 17-65.
75. Vicianova, M., 2015, Historical techniques of lie detection, Europe's Journal of Psychology, p. 522-534.
76. Virdee, K., P. Cumming, D. Caprioli, B. Jupp, A. Rominger, F. I. Aigbirhio, T. D. Fryer, P. J. Riss, and J. W. Dalley, 2012, Applications of positron emission tomography in animal models of neurological and neuropsychiatric disorders: Neurosci Biobehav Rev, v. 36, p. 1188-216.
77. Waberžinek, G., and D. Krajíčková, 2004, Základy obecné neurologie, Praha, Karolinum, Univerzita Karlova.
78. Wadsak, W., and M. Mitterhauser, 2010, Basics and principles of radiopharmaceuticals for PET/CT: Eur J Radiol, v. 73, p. 461-9.
79. Wells, C. E., C. J. Moulin, P. Ethridge, N. A. Illman, E. Davies, and A. Zeman, 2014, Persistent psychogenic déjà vu: a case report: J Med Case Rep, v. 8, p. 414.
80. Xi, W., M. Tian, and H. Zhang, 2011, Molecular imaging in neuroscience research with small-animal PET in rodents: Neurosci Res, v. 70, p. 133-43.
81. Yoo, S. S., T. Fairney, N. K. Chen, S. E. Choo, L. P. Panych, H. Park, S. Y. Lee, and F. A. Jolesz, 2004, Brain-computer interface using fMRI: spatial navigation by thoughts: Neuroreport, v. 15, p. 1591-5.
82. Zatorre, R. J., R. D. Fields, and H. Johansen-Berg, 2012, Plasticity in gray and white: neuroimaging changes in brain structure during learning: Nat Neurosci, v. 15, p. 528-36.

83. Zeman, R. K., S. H. Fox, P. M. Silverman, W. J. Davros, L. M. Carter, D. Griego, D. I. Weltman, S. M. Ascher, and C. J. Cooper, 1993, Helical (spiral) CT of the abdomen: AJR Am J Roentgenol, v. 160, p. 719-25.
84. Dubový, Petr. Gross anatomy and structure of the human nervous system. Part I. Surface anatomy and structural arrangement of the central nervous system. 1. dotisk 2., nezměněného vyd. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, 2009. 126 s. ISBN 978-80-210-4124-0.
85. O'Connor, Annette. Nervous system. Salem Press Encyclopedia of Science (online), 2013
86. O'Shea, R. P., Roeber, U., & Bach, M. (2010). Evoked potentials: Vision. In E. B. Goldstein (Ed.), Encyclopedia of Perception (Vol. 1, pp. 399-400, xli). Los Angeles: Sage. ISBN 978-1-4129-4081-8
87. Kuhler, Jeanne L. Single photon emission computed tomography (SPECT). Magill 19s Medical Guide (Online Edition) [online]. 2013
88. Bercea, M. D. (2011). Anatomy of methodologies for measuring consumer behavior in neuromarketing research. Získáno z http://www.lcbr-online.com/index_files/proceedingsemc12/12emc023.pdf

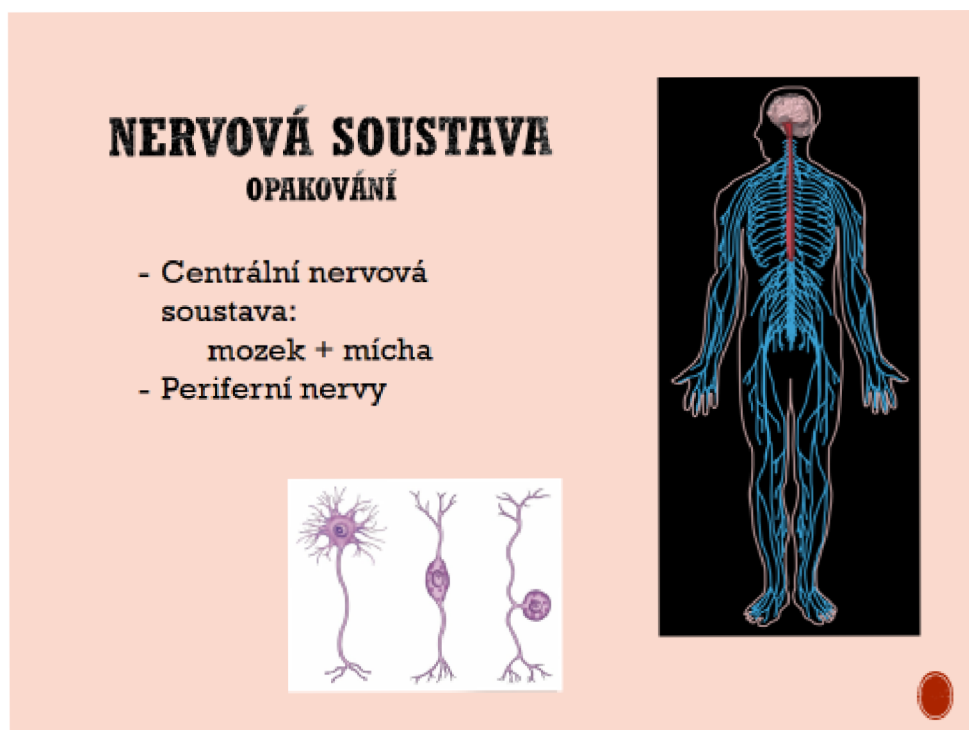
Internetové zdroje

- http://wps.prenhall.com/br_morris_intro_psicologia_6/16/4119/1054528.cw/index.html
- http://my-ms.org/anatomy_brain_part1.htm
- <http://www.nature-education.org/brain.html>
- <http://www.nemji.cz/ct-pocitacova-tomografie/d-3772/p1=3223>
- <http://fmri.mchmi.com>
- <http://www.cerebromente.org.br/n01/pet/pet.htm>
- <http://www.mayfieldclinic.com/PE-SPECT.htm>
- <http://pubs.acs.org/cen/coverstory/83/print/8330imaging.html>
- <http://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2009/01/11.pdf>
- <http://jnm.snmjournals.org/content/51/8/1198/F2.expansion.html>
- <http://www.jhuapl.edu/newscenter/pressreleases/2014/141216.asp>

Přílohy: Didaktická část - Prezentace



Snímek 1: Téma: Neurozobrazovací metody



Snímek 2: Opakování nervové soustavy, žák popíše neuron a nervovou soustavu


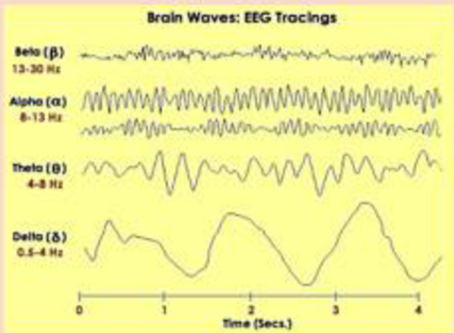
NEUROZOBRAZOVACÍ METODY:

- Elektroencefalogram (EEG)
- Výpočetní tomografie (CT)
- Magnetická rezonance (MRI)
- Emisní tomografie : PET, SPECT
- HYBRIDNÍ ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY

Snímek 3: Metody, jimiž se budeme v hodině zabývat

EEG

- Záznam časové změny elektrického potenciálu, signály neuronů snímány elektrodami z povrchu skalpu
- Elektrody na povrchu hlavy



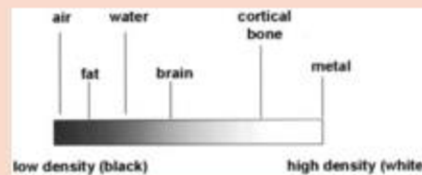
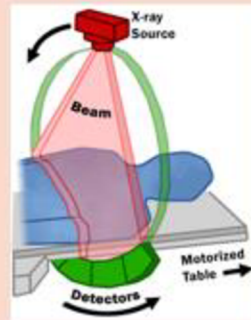
Snímek 4:

EEG: První v neurologii používaná neurofyziologická metoda. V r. 1924 H. Berger poprvé zaregistroval bioelektrickou aktivitu lidského mozku. Slouží k diagnostice nádorů, cévních mozkových příhod, epilepsie aj. Snímání probíhá pomocí elektrod, výsledkem jsou vlny, které jsou rozdělené podle frekvence.

VÝPOČETNÍ TOMOGRAFIE

- Radiologická metoda
- Zobrazení vnitřní struktury
- Rentgenové záření
- Rentgenové lampy, detektory, kolimátory

- Zvýšení kontrastu : např. pomocí vzduchu, jodová kontrastní látka (intravenózně, orálně, rektálně)



Snímek 5:

CT – Radiologická metoda, která pomocí RTG záření umožňuje zobrazení vnitřních struktur těla. Zařízení složeno z posuvného stolu + vyšetřovacího tunelu tzv. gantry – v něm umístěné RTG lampy, kolimátory a detektory. Obraz vzniká podle hustoty tkáně: čím hustší tkáň, tím méně RTG dopadá na detektory a tím se tkáň na obrazu jeví jasnější. Někdy potřeba zvýšení kontrastu.

DRUHY CT

- **SINGLE – SLICE (jednořezové):**
První skenery
- **MULTI-SLICE (výčeřezové):**
dvě nebo více řad paralelních detektorů, rychlejší skenování
- **HELIKÁLNÍ (spirální):**
vzniká šroubovicový datový soubor
- **DUAL ENERGY (CT se dvěma rentgenkami)**

Snímek 6: Druhy CT

MAGNETICKÁ REZONANCE (MRI)

- Založena na principu nukleární magnetické rezonance
- zobrazuje nejen morfolologii ale poskytuje informace o funkci orgánů
- Využívá radiofrekvenční pulzy

NUKLEÁRNÍ MAGNETICKÁ REZONANCE

- Elementární částice: protony, neutrony, elektrony - spin
- Magnetický dipól

Snímek 7: MRI- zdrojem signálu jsou radiofrekvenční pulzy, o tmavé/světlé tkáni rozhodují parametry pulzní sekvence. Technika založena na principu tzv. nukleární magnetické rezonance: Každá atom má proton, elektron a neutron a každá tato částice má specifický spin (moment hybnosti), pokud spin nenulový částice je magnetický dipól

FUNKČNÍ MAGNETICKÁ REZONANCE

- Aktivita neuronů měřena prostřednictvím krve
- Ukazuje okysličenou krev v aktivních mozkových oblastech
- 2 způsoby : na základě změny prokrvení dané oblasti
BOLD efekt



Snímek 8: Funkční magnetická rezonance: citlivá na charakteristiku krve, je nutná spolupráce pacienta, nejenom morfologie ale i funkce orgánů (nejen mozek), diagnostika ADHD, schizofrenie, epilepsie

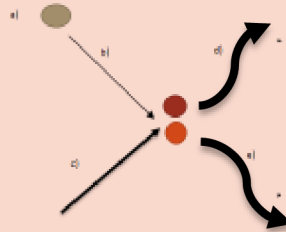
EMISNÍ TOMOGRAFIE

POZITRONOVÁ EMISNÍ TOMOGRAFIE (PET)

- Užití pozitron emitující radionuklidů
- Nejčastější 2-[18F]fluoro-2-deoxy-D- glukóza (FDG, 18F)
- Při rozpadu FDG – emise pozitronu, která anihiluje s elektronem > vznik 2 fotonů > jejich detekce

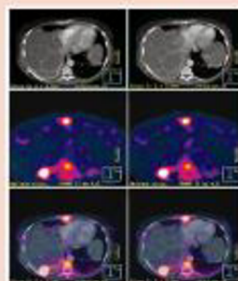
JEDNOFOTONOVÁ EMISNÍ VÝPOČETNÍ TOMOGRAFIE (SPECT)

- Radionuklidy, které emitují jeden nebo dva fotony, delší poločas rozpadu
- Zobrazuje funkci orgánů



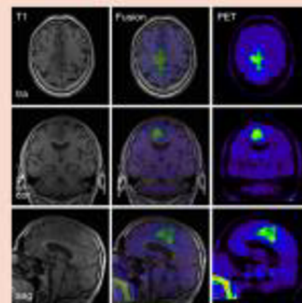
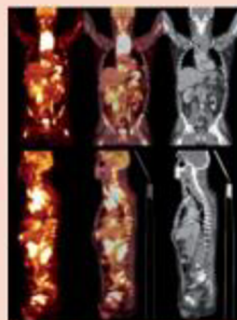
Snímek 9: PET, SPECT – užití pozitron emitujících částic- záření vychází zevnitř pacienta, používání radiofarmak (nosič + pozitron emitující radionuklid – nejčastěji 2-[18F]fluoro-2-deoxy-D- glukóza (FDG, 18F), ale i 15O, 11C,18F)

HYBRIDNÍ ZOBRAZOVACÍ SYSTÉMY



SPECT/CT

PET/CT



PET/MRI

Snímek 10: Hybridní systémy – propojení dvou technik, ukázka jednotlivých způsobů zobrazování nervového systému a orgánových soustav

DĚKUJI ZA POZORNOST



ZDROJE

- **STROUHALOVÁ S., 2016: POUŽITÍ MODERNÍCH NEUROZOBRAZOVACÍCH METOD VE VÝZKUMU A LÉČBĚ NERVOVÉHO SYSTÉMU. Diplomová práce, Masarykova Univerzita, Brno.**
- <http://fmri.mchmi.com/>



Snímek 11., 12

Pracovní list k prezentaci NEUROZOBRAZOVACÍ METODY

1. Nakresli a popiš stavbu neuronu

2. Nervová soustava se dělí na dvě části, jsou to:

.....

3. Přiřaď, co k sobě patří

EEG	rentgenové záření
CT	elektrický potenciál
MRI	pozitron emitující radionuklidy
ET	radiofrekvenční pulzy

4. Napiš alespoň tři nervová onemocnění, která můžeš zjistit pomocí neurozobrazovacích metod:

.....
.....

5. Které metody můžeme využít i na zobrazení ostatních částí lidského těla?

.....
.....

6. Která metoda je podle tebe nejbezpečnější? Napiš proč:

.....
.....

7. Pokus se vysvětlit rozdíl mezi vyšetřením EEG a vyšetřením MRI:

.....
.....
.....

8. Z jakých dvou hlavních částí se skládá přístroj CT? Popiš je:

.....