

**UNIVERZITA KARLOVA**

**2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA**

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství



**Ondřej Zavadil**

**Pilotní tvorba longitudinální skupinové intervence  
pro předčasně narozené děti s perinatální zátěží  
ve věku 8-17 let k redukci motorických poruch**

*Diplomová práce*

Praha 2024

Autor práce: **Bc. Ondřej Zavadil**

Vedoucí práce: **doc PaedDr. Libuše Smolíková, Ph.D.**

Oponent práce: **PaedDr. Irena Zounková, Ph.D.**

Datum obhajoby: **2024**

## Bibliografický záznam

ZAVADIL, Ondřej. *Pilotní tvorba longitudinální skupinové intervence pro předčasně narozené děti s perinatální zátěží ve věku 8-17 let k redukci motorických poruch*. Praha, 2024, 113 s. 1 příloha. Diplomová práce. Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství. Vedoucí práce doc. PaedDr. Libuše Smolíková, Ph.D.

## Abstrakt

Teoretická část se zaměřuje na příčiny vzniku motorických obtíží u předčasně narozených dětí z pohledu vývojové neurobiologie, neuropatologie a neurofyziologie. Objasňují se důsledky těchto výhradně centrálních změn s přesahem na motorické učení. Dále jsou popisovány intervenční přístupy na redukci těchto deficitů. Popis intervenčních přístupů, další z literatury vyplývající doporučení, a také teoretická část jsou podkladem pro metodiku praktické části práce.

Výzkumná část práce spočívá v longitudinální skupinové intervenci 16 dětí ve věku 8-17 let rozdělených do 5 skupin dle věku a motorické úrovně v počtu 3-4 děti. Délka intervence je 9 týdnů s frekvencí 1x týdně 60 minut. Objektivizační metodou pro zhodnocení efektu intervence je hodnotící baterie testů MABC-2. Kritéria výběru jsou následující: děti vedeny v Centru komplexní péče pro děti s perinatální zátěží na Klinice pediatrie a dědičných poruch metabolismu Všeobecné fakultní nemocnice v Praze, uměle nastavená 30 km vzdálenost z místa bydliště, a především zájem ze strany dětí i rodičů.

Výsledkem je statisticky významný rozdíl většiny motorických dovedností dle MABC-2 (míření a chytání, rovnováha i celkové souhrnné výsledky). Efekt intervence je střední až velký ( $d=0,71$  – celkové skóre,  $d=0,74$  – celkový percentil) s hodnotami statických významností  $p=0,006$  a  $p=0,001$  s potenciálem přínosu pro praxi. U okruhu manuálních dovedností není zlepšení statisticky signifikantní. U 5 dětí došlo k přechodu mezi jednotlivými pásmy ve smyslu zlepšení včetně 3 dětí, které opustily pásmo pod 5. percentilem a vymanily se z klasifikace DCD. Je zaznamenán i negativní (2) nebo žádný vliv (2) na výsledky především u starších (15-17 let) dětí, který neovlivnil umístění dětí ve výkonnostním pásmu. Výsledek je ve shodě s negativně signifikantní korelací věku a změnou celkového testového skóru MABC-2 ( $r= -0,71$  s  $p=0,002$ ).

## **Abstract**

The theoretical part focuses on the causes of motor difficulties in prematurely born children from the perspective of developmental neurobiology, neuropathology, and neurophysiology. It elucidates the consequences of these exclusively central changes with implications for motor learning. Also, intervention approaches to reduce these deficits are described. The description of intervention approaches, additional recommendations from the literature and the theoretical part serve as the basis for the practical methodology.

The research part of the thesis consists of a longitudinal group intervention involving 16 children aged 8-17 years, divided into 5 groups according to age and motor level, with 3-4 children per group. The intervention lasts for 9 weeks with a frequency of once a week for 60 minutes. The objective method for evaluating the intervention's effect is the MABC-2 tests. The selection criteria are: children under the Comprehensive Care Center for Children with Perinatal Burden at the Department of Pediatrics and Inherited Metabolic Disorders of the General University Hospital in Prague, artificially set 30 km distance from the place of residence, and, above all, interest from both children and parents.

The result is a statistically significant difference in most areas of motor skills according to MABC-2 (aiming and catching, balance and overall scores). The intervention effect is moderate to large ( $d=0.71$  - total test score,  $d=0.74$  - percentile) with static significance values of  $p=0.006$  and  $p=0.001$  with the potential for practical benefit. There is no statistically significant improvement in manual skills. Five children transitioned between performance bands, including three children who moved out of the band below the 5th percentile and escaped DCD classification. There is also noted negative (2) or no effect (2) on results, primarily among older (15-17 years) children, which didn't affect their placement in the performance band. The result is consistent with the negatively significant correlation between age and change in the MABC-2 total test score ( $r= -0,71$  s  $p=0,002$ ).

## **Klíčová slova**

předčasně narozené děti, centrální příčiny, motorické obtíže, motorické učení, intervenční přístupy

## **Keywords**

premature children, central causes, motor difficulties, motor learning, intervention approaches

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením doc. PaedDr. Libuše Smolíkové, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky. Dále prohlašuji, že stejná práce nebyla použita k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 8.5.2024

Ondřej Zavadil

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vážené paní doc. PaedDr. Libuši Smolíkové Ph.D. za vedení diplomové práce především při organizaci a komunikaci s Centrem komplexní péče pro děti s perinatální zátěží na Klinice pediatrie a dědičných poruch metabolismu Všeobecné fakultní nemocnice v Praze. Zároveň všem zaměstnancům tamního oddělení děkuji za pomoc při realizaci praktické části diplomové práce.

Velké poděkování všem dětem, které se výzkumu účastnily a také obětavým rodičům, kteří děti příkladně vedli k pohybové aktivitě. Bez nich by tento výzkum nemohl vzniknout.

Na závěr patří díky mé rodině a přítelkyni za poskytnutí prostoru a podpory při psaní této práce.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>PŘEHLED POZNATKŮ</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Předčasně narozené dítě z pohledu motorických deficitů</b> .....	<b>13</b>
1.1.1	Samotný porod – příčiny, průběh a dopady.....	13
1.1.2	Popis terénu po narození ve vztahu k motorickým deficitům.....	15
1.1.3	Motorické obtíže jako jedny z mnoha.....	17
<b>1.2</b>	<b>CNS jako klíč k pochopení rozvoje neurovývojových poruch</b> .....	<b>18</b>
1.2.1	Základní fakta o centrálním nervovém systému a jeho vývoji.....	18
1.2.2	Důležitost zkušenosti a neuroplasticita.....	21
1.2.3	Popis motorického řízení.....	23
1.2.3.1	Motorický nervový systém.....	24
1.2.3.2	Zjednodušený algoritmus řízení motoriky.....	25
1.2.4	Poranění CNS.....	25
1.2.4.1	Poranění bílé hmoty.....	27
1.2.4.1.1	Fokální cystická nekróza.....	29
1.2.4.1.2	Fokální mikroskopická nekróza.....	29
1.2.4.1.3	Difuzní nekrotické léze.....	30
1.2.4.2	Germinální matrix – intraventrikulární krvácení.....	31
1.2.4.3	Cerebelární krvácení.....	32
1.2.4.4	Sekundární mozkové dysmaturační změny.....	33
1.2.4.5	Potenciální příčiny poranění CNS.....	35
1.2.4.5.1	Talamus.....	35
1.2.4.5.2	Poranění subplate neuronů.....	36
1.2.4.5.3	Pozdě migrující neurony.....	37
1.2.4.6	Další sekundárně postižené struktury CNS.....	37
1.2.4.6.1	Mozeček.....	37
1.2.4.6.2	Bazální ganglia.....	39
1.2.4.6.3	Mozková kůra.....	41
<b>1.3</b>	<b>Kategorizace motorických obtíží, jedná se o DCD?</b> .....	<b>42</b>
1.3.1	Neurofyziologický průsečík mezi dětmi s DCD a předčasně narozenými.....	45
<b>1.4</b>	<b>Motorické učení</b> .....	<b>46</b>
1.4.1	Senzorický pohled na motorické učení u předčasně narozených dětí.....	50
1.4.2	Zapojení jednotlivých oblastí CNS.....	51
1.4.3	Zjednodušený model motorického učení a diskuse nad jeho nedostatky.....	59
1.4.4	Kvantifikace motorického učení.....	60
1.4.5	Motorické učení u předčasně narozených dětí a u dětí s DCD.....	61
1.4.5.1	Dopad rozdílného motorického učení.....	63
1.4.6	Senzitivní období.....	63

<b>1.5</b>	<b>Hodnocení motorických deficitů.....</b>	<b>64</b>
1.5.1	Movement Assessment Battery for Children 2nd edition .....	65
<b>1.6</b>	<b>Způsoby intervence.....</b>	<b>67</b>
1.6.1	Přístupy orientované na tělesné funkce a strukturu.....	68
1.6.1.1	Percepčně – motorický trénink .....	69
1.6.1.2	Senzorická integrace a kinestetický trénink .....	69
1.6.1.3	Trénink motorických představ .....	69
1.6.2	Přístupy zaměřené na činnost a participaci .....	70
1.6.2.1	Neuromotor Task Training .....	71
1.6.2.2	Cognitive Orientation to Daily Occupational Practice .....	72
1.6.2.3	Virtuální realita a videohry .....	72
1.6.2.4	Obecně zlepšující intervence na zdraví .....	73
1.6.3	Klinické doporučení pro intervenci.....	73
1.6.3.1	Časová dotace .....	73
1.6.3.2	Individuální nebo skupinový přístup .....	74
1.6.3.3	Ostatní doporučení pro intervence.....	74
1.6.3.3.1	Přístup k motorickému učení OPTIMAL.....	75
<b>2</b>	<b>CÍLE A HYPOTÉZY.....</b>	<b>78</b>
<b>3</b>	<b>METODIKA.....</b>	<b>79</b>
3.1	Design a cíl.....	79
3.2	Charakteristika .....	80
3.3	Sběr a analýza dat.....	82
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>83</b>
4.1	Charakteristika experimentálního souboru .....	83
<b>5</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>90</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>95</b>
	<b>REFERENČNÍ SEZNAM .....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ, SCHÉMÁT, GRAFŮ A TABULEK.....</b>	<b>108</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>110</b>



## SEZNAM ZKRATEK

ADHD – attention deficit hyperactivity disorder (porucha pozornosti s hyperaktivitou)

BAL – rovnováha

BG – bazální ganglia

BOT-2 – Bruininks-Oseretsky Test 2

BPD – bronchopulmonální dysplazie

CNS – centrální nervová soustava

CO-OP - Cognitive Orientation to Daily Occupational Practice (Kognitivní orientace na denní pracovní výkon)

CT – computed tomography (výpočetní tomografie)

DCD – developmental coordination disorder (vývojová porucha koordinace)

DMO – dětská mozková obrna

EFA/IFA – external/internal focus attention (externí/interní orientace pozornosti)

ES – effect size

FMS - fundamental motor skills (základní pohybové dovednosti)

GM – general movements

GMH-IVH – germinal matrix hemoragia – intraventrikular hemoragia (intraventrikulární krvácení do germinální (zárodečné) matrix)

MA – motorická adaptace

MABC-2 – Movement Assessment Battery for Children Second Edition (Hodnotící baterie pohybových schopností u dětí druhé vydání)

MD – manuální dovednosti

MCH – míření a chytání

MIT – motor imagery training (trénink motorických představ)

MND – minor neurological dysfunctions (drobné neurologické dysfunkce)

MRI – magnetic resonance imaging (magnetická rezonance)

MSL – motorické sekvenční učení

NTT - Neuromotor Task Training (neuromotorický úkolový trénink)

OL/preOL – oligodendrocyty/preoligodendrocyty

OPTIMAL – Optimizing Performance through Intrinsic Motivation and Attention for Learning (Optimalizace Výkonu prostřednictvím Vnitřní Motivace a Pozornosti k Učení)

PMT – percepčně-motorický trénink

PVL – periventrikulární leukomalácie

RDS – respiratory distress syndrome (syndrom respirační tísně)  
ROP – retinopathy of prematurity (retinopatie nedonošených)  
SD – směrodatná odchylka  
SE – standartní chyba  
SIT – sensory integration therapy (senzorická integrace)  
SMA/pre-SMA – suplementární motorická oblast/presuplementární motorická oblast  
SPN – subplate neurony  
TC a CT – talamokortikální a kortikotalamické dráhy  
TGMD-2 – Test rozvoje hrubé motoriky 2  
WMI – white matter injury (poranění bílé hmoty)  
ZNA – Zurich Neuromotor Assessment (Curyšské neuromotorické hodnocení)

## ÚVOD

Zásadním poznatkem, který vyplynul z bakalářské práce je fakt, že prematurita a perinatální zátěž nejsou automaticky určujícím faktorem motorických deficitů v dětském věku. Předčasně narozené děti jsou však často velmi specifické a od svých vrstevníků se mohou více či méně odlišovat. Prakticky od porodu svádí boj o život, který se promítá do jejich vývoje. Prvotní zkušenosti dětí ihned po porodu udávají základ pro budoucí vývoj. U některých dětí jsou příčinou vzniku handicapu a závažných, celoživotně omezujících neurovývojových onemocnění. Závisí vždy na míře a závažnosti, jak se komplikace předčasného narození a perinatálního období promítnou především do centrální nervové soustavy, a tak do raného vývoje. Tento centrální obraz poruch by měl být v korelaci s klinickým obrazem dětí na principu formování funkce strukturou. Tato zátěž může být u dětí přirovnána ke špatně rozdaným kartám, které již ovlivnit nelze, ale jak se s nimi bude hrát ano. Mozek je totiž tak složitým orgánem, že jeho plasticita, především v dětském věku, může být velkou šancí nejen pro předčasně narozené děti. A proto je pro diplomovou práci zvolena specifická intervence, aby dětem bylo umožněno hrát tuto hru, co nejlépe. Navíc podobná intervence zaměřující se krom individuální terapie již specificky na předčasně narozené děti v pozdějším dětském věku v literatuře chybí.

Důležitou roli tedy hraje vlastní formování jedince v jeho životě. Pro ověření zjištěné informace by byla zapotřebí dlouhodobá studie s velkým počtem předčasně narozených dětí s podobnými vstupními daty, u které by byl vytvořen metodický program na rozvoj koordinačních schopností a motorických dovedností, dle teorie použité v bakalářské práci. V případě úspěchu by mohl být sestaven intervenční program pro motorický rozvoj všech předčasně narozené děti a mohla by tak být minimalizována pohybová omezení, která tyto děti provází celý život. V menším měřítku a pilotním nastavení je cílem diplomové práce se u tuto výzvu, která je součástí závěru bakalářské práce, pokusit a posunout tak tuto problematiku dál k výše popsanému optimu.

Jak je tedy patrné z úvodních odstavců, tématem diplomové práce je plynule navázáno na závěry a výzvy vyplývající z vlastní bakalářské práce. Předmětem teoretické části tedy už nebudou obecné informace o předčasně narozených dětech v globálním pohledu, které je možno dohledat v bakalářské práci s názvem: Koordinační schopnosti a motorické dovednosti předčasně narozených dětí s perinatální zátěží ve věku 9-10 let a jejich fyzioterapie. Diplomová práce již bude úzce zaměřena především na motorické deficity, jejich příčiny vzniku, dopad a způsob intervence, který se s vidinou jejich redukci u dětí

bude aplikovat. Téma předčasně narozené dítě z pohledu motorických deficitů bude z různých perspektiv obsáhle objasněno v teoretické části práce. V druhé části teorie již bude rozpracován praktický přístup k intervenci z pohledu zahraničních článků a literatury, ze které následně vznikne metodika diplomové práce.

Výzkumná část práce nabízí prostřednictvím grafů a tabulek souhrnné statistické výsledky po 9týdenní metodické intervenci měřené standardizovanou hodnotící baterií testů Movement Assessment Battery for Children Second Edition (MABC-2) spolu se souvislostmi, které vzejdou z průběhu intervence, analytického zpracování a celkových výsledků.

# 1 PŘEHLED POZNATKŮ

## 1.1 Předčasně narozené dítě z pohledu motorických deficitů

Předčasný porod (narození před dokončeným 37. gestačním týdnem) je celosvětově považován za jeden z hlavních rizikových faktorů novorozenecké mortality (úmrtnosti) a je spojen s krátkodobými i dlouhodobými fyzickými, neurovývojovými a socioekonomickými dopady. Neurovývojové poruchy zahrnují oblasti motorické, kognitivní a behaviorální (de Kieviet et al. 2009; Ohuma et al. 2023). Rizika úmrtnosti (mortality) a nemocnosti (morbidity) se zvyšují podle stupně nedonošenosti, přičemž nejvyšší riziko mají děti narozené extrémně předčasně (<28 týdnů gestace), následované dětmi narozenými velmi předčasně (28 týdnů až <32 týdnů) a dětmi narozenými středně až pozdně předčasně (32 týdnů až <37 týdnů) (Ohuma et al. 2023). Extrémně předčasně narozené děti dokonce atakují tzv. práh viability, která se vysvětluje schopností přežít, růst a vyvíjet se normálně. Práh viability v současnosti leží mezi 22.–23. týdnem. Období 22.–25. týdne těhotenství je neonatology označováno jako „šedá zóna“ s nejistou prognózou mortality či morbidity. Doporučení většiny západních zemí klade důraz na individuální přístup do 24.–25. týdne, který zahrnuje poučení rodičů o prognóze plodu včetně mortality a dlouhodobé morbidity. Rodiče s lékaři musí brát do úvahy i kritérium kvality života novorozence. Nad kritériem zralosti tedy může převažovat přání rodičů neposkytnout léčbu, i když novorozenec dosáhl požadovaného prahu viability (Göthová 2013).

V roce 2020 se na celém světě narodilo 13,4 milionů novorozenců předčasně ve srovnání s 13,8 miliony v roce 2010. Navzdory stále se zdokonalující perinatální péči je frekvence předčasných porodů stabilní. Samotná prevalence předčasného porodu je nyní 9,9 % (tzn. téměř 1/10 dětí se narodí předčasně). Česká republika je 1/5 zemí, kde byl zaznamenán nejvyšší pokles (>1%) v prevalenci s hodnotou 6,9 % (Ohuma et al. 2023). Jedná se téměř o 8000 dětí/rok (Marková a Chvílová-Weberová 2020 s. 14). Z celkového počtu předčasných porodů došlo v 15 % případů k narození před 32. týdnem gestace, což vyžadovalo více neonatální péče. Konkrétně 1,4 milionu mezi 28-32. týdnem gestace a 567 800 dětí se narodilo před dokončeným 28. týdnem gestace (Ohuma et al. 2023).

### 1.1.1 Samotný porod – příčiny, průběh a dopady

Předčasný porod je definován jako patologický stav, jehož příčiny jsou anatomické, biochemické nebo endokrinologické (Göthová 2013). Až v 50 % případů nelze příčinu předčasného porodu identifikovat. Je však zřejmý vliv zejména těchto faktorů a to

samostatně nebo v kombinaci: urogenitální infekce (způsobující změny na plodových obalech a děložním hrdle), uteroplacentární ischemie, patologie děložního hrdla, stres matky, abrupce (odloučení) placenty, nadměrná děložní distenze (roztažení) s poruchou prokrvení při vícečetném těhotenství nebo zmnožením plodové vody, oligohydramnion (snížené množství plodové vody), hypoxie plodu, patologická pozice plodu v děloze, vrozené vývojové vady plodu a porucha hormonální komunikace mezi matkou a plodem (Pařízek et al. in Marková a Chvílová-Weberová 2020 - s. 17; Roztočil 2008 - s. 162-166). Rizikové faktory předčasného porodu jsou buď neovlivnitelné: předchozí předčasný porod, afroamerická rasa, věk rodičky <18 nebo >40, nízká tělesná hmotnost před těhotenstvím, zánět v těle (př. zánět zubu), nízký socioekonomický status. Nebo ovlivnitelné jako kouření, abúzus drog, nedostatečná prenatální péče, krátký interval mezi porody, anémie.

Předčasný porod se dělí na dvě skupiny: spontánní a iatrogenní (vyvolaný lékařem). Spontánní vzniká samovolným nástupem kontrakcí svalstva dělohy. Za iatrogenní se považuje případ, kdy je těhotenství předčasně ukončeno, nejčastěji z důvodu ohrožení zdraví nebo dokonce života matky či plodu (Pařízek et al. in Marková a Chvílová-Weberová 2020 - s. 14-17). Spontánní předčasný porod představuje 75 % případů. Zajímavostí je, že předčasný porod závisí také na interakci gen – prostředí.

Během předčasného porodu i porodu v termínu dochází k aktivaci systémů realizujících zánětlivou odpověď organismu, kdy u předčasného je zánětlivá reakce intenzivnější často kvůli samotné příčině – infekce matky a/nebo plodu viz výše. Zejména prozánětlivé cytokiny (molekuly řídící zánětlivou reakci) inhibují progesteronovou produkci. Progesteron je látka snižující kontraktilitu dělohy v těhotenství a přispívá tak k prevenci předčasného porodu. Dochází ke zkrácení a dilataci děložního hrdla, a také ke změnám plodových obalů vedoucí k jejich protržení. Předčasný porod může být spojen s fetální zánětlivou odpovědí, která výrazně komplikuje poporodní prognózu dětí (Göthová 2013). Poporodní prognóza předčasného porodu souvisí s riziky pro dítě i matku. Dítě je více ohroženo mortalitou, porodním traumatismem, perinatální morbiditou (viz kapitola 1.1.2) a pozdními dlouhodobými následky: mentální, neurologické, oční, sluchové a plicní. Rizika pro matku jsou často psychická traumata, operační porod a puerperální sepse (horečnaté onemocnění způsobené komplikacemi porodu) (Pařízek et al. in Marková a Chvílová-Weberová 2020 - s.16).

Samotný porod, jeho příčina (př. infekce matky) a nedovyvinutí všech tělních systémů předčasně narozených dětí určují budoucí vývoj dítěte. Tento vstup do života se tak

zásadně podílí na zvýšené morbiditě dítěte. Děje se tak hlavně z důvodu poranění na nezralé CNS (centrální nervová soustava), jehož závažnost následně určuje pozdější neurovývojové poruchy (Smíšek in Marková a Chvílová-Weberová 2020 - s. 33-40). O tomto perinatálním vlivu bude pojednáno dále v diplomové práci, především v kapitole Poranění CNS. Ale je zásadní si tyto souvislosti předčasného porodu do dalších kapitol spojit, protože budou vše určující k rozvoji morbidity dětí.

### **1.1.2 Popis terénu po narození ve vztahu k motorickým deficitům**

Předčasně narozené děti se od dětí narozených v termínu liší již na první pohled svou anatomickou proporcí, a především funkční nedostatečností (nevyzrálostí) jednotlivých tělních systémů. Čím nezralejší dítě je, tím hůře se vyrovnává s podmínkami života mimo mateřský organismus (Zádrapová a Červenáková 2018). K dokreslení základní představy o „terénu“, na kterém se předčasně narozené dítě dále vyvíjí zde uvedu příklady nezralosti jednotlivých tělních systémů, které společně s poraněním CNS dále formují novorozence v jeho psychomotorickém vývoji.

Respirační systém může být (především u extrémně předčasně narozených) díky anatomické i funkční nezralosti plic, ke které fyziologicky dochází až během posledního trimestru těhotenství (28.-40. gestační týden), postižen syndromem respirační tísně (RDS – respiratory distress syndrome) při nedostatečné produkci surfaktantu. Novorozenci se tak mohou nadechnout pouze s maximálním úsilím, které u neléčených může vést až k úplnému vyčerpání. Neonatologové se snaží předejít chronickému onemocnění plic zvanému bronchopulmonální dysplazie (BPD), což je výsledek reparativní reakce plicní tkáně na prenatální, ale i postnatální opakované poškozování vyvíjejících se plic. Strukturálně velmi nezralé plíce jsou totiž snadno zranitelné vůči běžné péči, jakou je ventilační podpora, která je nutná k zajištění přežití. Prevalence BPD je však velmi vysoká (80 %) jen u novorozenců narozených na hranici viability (22. – 24. gestační týden) a s přibývajícím gestacním týdnem se rapidně snižuje (28. týden pouze 20%) (Thébaud et al. 2019). U dětí s anamnézou BPD je nutné v prvním roce života očekávat vyšší náchylnost k respiračním komplikacím a těžší průběh běžných respiračních infekcí (Smíšek in Marková a Chvílová-Weberová 2020 - s. 47-56). Výsledky současné studie dokazují, že RDS a BPD mohou být příčinou abnormálních general movements (GM) v raných fázích psychomotorického vývoje novorozence a mohou tak s vyšší pravděpodobností předpovídat vznik neurovývojových poruch. Je však důležité vnímat, že samotný RDS nebo BPD není prediktorem neurovývojových poruch, ale je součástí komplexu rizikových

faktorů (Domagalska-Szopa et al. 2022). Další studie ukázala, že BPD hraje klíčovou roli v horších dlouhodobě kognitivních výsledcích a také určila pozitivní souvislost mezi BPD a mozgovými abnormalitami (Twilhaar et al. 2018).

Dalším orgánovým systémem, který přispívá k celkovému diskomfortu předčasně narozených dětí je gastrointestinální trakt, kde se díky nezralosti funkce dolního jícnového svěrače vyskytuje gastroezofageální reflux, který se projevuje ublinkáváním či jen neklidem po jídle. Hrozí riziko neprospívání a aspirace vedoucí k zhoršení plicních funkcí (Smíšek in Marková a Chvilová-Weberová 2020 - s. 53). Nejčastěji je však tento systém postižen nekrotizující enterokolitidou. Což je akutní hemoragicko-nekrotizující zánětlivé onemocnění střev a vyskytuje se téměř výhradně u předčasně narozených dětí s porodní hmotností pod 1500 g a postihuje 2-5 % těchto dětí. Změny imunitní odpovědi střevní stěny na krmení a vyvíjející se mikrobiom vedou k bakteriální invazi a následně zánětům, případně až nekrotizaci střev s ulceracemi a krvácením. Může tak docházet k neprospívání a v krajních případech až k poruše růstu a vývoje (Bellodas Sanchez a Kadrofske 2019).

Mezi další rozšířené morbidity předčasně narozených dětí se řadí retinopatie nedonošených (ROP – retinopathy of prematurity). ROP je onemocnění způsobené narušením fyziologického vývoje sítnice (retiny), přesněji její cév z hyperoxie (nadměrné množství kyslíku v krvi) při oxygenoterapii, na který většina cév reaguje vasokonstrikčně. V důsledku toho vzniká ischemie cév sítnice a v krajních případech u extrémně narozených dětí může vést k závažnému postižení zraku (Manley et al. 2015). Plavka uvádí prevalenci ROP u 10-15 % dětí s porodní hmotností pod 750 g. U dětí s hmotností 750–999 g je to 3-5 % a novorozenci s porodní hmotností 1000–1499 g mají již prevalenci pouze 0-5-1 %. S vývojem metod léčebné intervence jako je laserová koagulace sítnice však stoupá počet takto léčených a vyléčených dětí (Plavka 2018; Smíšek in Marková a Chvilová-Weberová 2020 - s. 33-40). Zaban říká, že výskyt poruchy zraku je srovnatelný s výskytem sluchových obtíží. Platt jej doplňuje tvrzením, že u předčasně narozených dětí je 25x vyšší pravděpodobnost sluchového postižení oproti běžné dětské populaci narozené v termínu (Zaban 2012; Platt 2014). Nedonošené děti mají také vysokou úroveň schopnosti rozlišit chuť a často je možné tento smysl pře stimulovat stejně jako čich. Důsledkem je porušené sání, polykání a dýchání, které následně mohou vést k poruchám příjmu potravy (Zádrapová a Červenáková 2018). Zdá se však, že než samotné „periferní“ sensorické postižení jednotlivých sensorických modalit (porucha zraku, sluchu...), je klinicky deficitní zpracování těchto informací v CNS, který je u předčasně narozených dětí postiženo řadou patologických procesů (kapitola Poranění CNS). Porucha sensorického



zpracování také souvisí se samotným dozrívání křehkého novorozence mimo dělohu a také může být na vině interakce s prostředím na JIP v inkubátorech (nepříznivé stimuly – světlo, zvuk, manipulace s novorozencem, bolest anebo naopak taktilní, vestibulární a kinestetická deprivace), kde se předčasně narozené děti v raných fázích života nacházejí. Změněné smyslové zkušenosti a reakce v raném věku mohou ovlivnit vývoj, což může následně vést k horším neurovývojovým výsledkům včetně změněných vzorců sensorického zpracování z důvodu postižení struktur CN, kde se sensorické informace integrují. Výsledkem těchto souher je 50% výskyt poruch sensorické integrace u předčasně narozených dětí, které zároveň negativně ovlivňují motorický vývoj kvůli spojitosti těchto dvou systémů (De Paula Machado et al. 2019; Ryckman et al. 2017).

### **1.1.3 Motorické obtíže jako jedny z mnoha**

Děti narozené předčasně mají jiný průběh motorického vývoje ve srovnání s dětmi narozenými v termínu. Včasné vystavení mimoděložnímu prostředí má za následek změněné pohybové (např. gravitace) a smyslové (např. světlo a zvuk) zkušenosti na vyvíjejícím se muskuloskeletálním a CNS. Dále se předpokládá, že předčasné narození zejména extrémní <28. týdnem dítěte během období rychlého vývoje mozku narušuje geneticky naprogramovaný vzorec zrání mozku. Postnatálně biologické faktory, které mohou ovlivnit motorický vývoj zahrnují nedostatečný růst (snížená hmotnost, výška a obvod hlavy) a menší velikost svalů (s nižším podílem rychlých vláken) spolu s dalšími změnami ve zrání mozku. Předčasně narozené dítě má odlišné neuro-behaviorální a motorické strategie než dítě narozené v termínu a může vykazovat menší napětí flexorových svalů, používat více extenční polohy, mít spontánní pohyby na pozadí hypotonie a mít potíže s antigravitačními pohyby (Spittle a Orton 2014).

Motorické obtíže jsou jedny z nejčastěji uváděných neurovývojových poruch u předčasně narozených dětí. Rozsah motorického postižení se může velmi lišit od mírných obtíží jako je opoždění v psychomotorickém vývoji, až po nejzávažnější motorické postižení dětského věku, dětskou mozkovou obrnu (DMO) (Spittle a Orton 2014). Inder doplňuje, že část dětí nemusí mít dokonce žádné motorické ani další neurovývojové postižení. Tato heterogenita dost pravděpodobně odráží povahu a závažnost poškození mozku včetně dysmaturace po předčasném porodu (Inder et al. 2023).

Pokroky v péči o předčasně narozené děti vedou k významnému zlepšení jejich přežití i ustálení prevalence permanentních a závažných motorických postižení v podobě DMO. Dlouhodobé studie však zjišťují mnohem vyšší výskyt drobných neurovývojových

poruchu těch dětí, kde se DMO nevyvine. Typicky přetrvávající neuromotorické a intelektuální deficity, problémy s řečí, porucha pozornosti s hyperaktivitou (ADHD). Prevalence DMO u předčasně narozených dětí se v posledních letech ustálila na 5-10 % a její riziko rozvoje se zvyšuje s klesajícím gestačním věkem (Ferrari et al. 2012; Skranes 2019). Kolář uvádí prevalenci 8-10 % zatímco u všech narozených dětí je prevalence DMO 1,5-2,5 ‰ (Kolář 2020 - s. 393). Prevalence ve 22.-27. týdnu gestace je 14,6 %, 6,2 % ve 28-31. týdnu a 0,7 % ve 32-36. týdnu těhotenství. 50-60% dětí s DMO měly mírnou formu a mohly tedy samostatně chodit. 31 % dětí schopnost chůze neměla, ale sedu ano. A 19% dětí nebylo schopno samostatného sedu (Spittle a Orton 2014).

Z hlediska drobných neurovývojových poruch včetně těch motorických se zdá být jejich prevalence dalekosáhlejší. Hodnoty dosahují velkého rozptylu 25–50% , jak ukazuje dlouhodobá italská studie (Ferrari et al. 2012). Přehled z roku 2010 uvedl souhrnné odhady pro mírné (40 %) až středně těžké (20 %) motorické poruchy u předčasně narozených dětí ve školním věku (Williams et al. 2010). Foulder-Hughes a Cooke 2003 v jejich studii identifikovali 30,7 % předčasně narozených dětí s motorickými deficity oproti 6,7 % dětí narozených v termínu. Dále uvedli, že motorické deficity se mohou objevovat nezávisle na kognitivních a behaviorálních deficitech, i když často společně koexistují.

## **1.2 CNS jako klíč k pochopení rozvoje neurovývojových poruch**

### **1.2.1 Základní fakta o centrálním nervovém systému a jeho vývoji**

Vývoj mozku je výstižně charakterizován jako komplexní řada dynamických a adaptivních procesů v průběhu vývoje podporující vznik a diferenciaci nových nervových struktur a funkcí. Vývoj CNS probíhá intrauterinně po stránce morfologické i funkční, avšak porodem nekončí. Příchod na svět je pro každého jedince jednou z nejdramatičtějších událostí v životě. Předpokládá se odpovídající aktivita všech systémů k zajištění vitálních funkcí a adaptaci na extrauterinní prostředí. V tomto období se také vyžaduje vytváření nových interneurálních spojení. Veškerá tato adaptace je u předčasně narozených dětí komplikovanější (Marková a Chvílová-Weberová 2020, s. 136; Stiles a Jernigan 2010). Funkční rozvoj CNS se odráží v psychomotorickém projevu dítěte, protože pohybový projev dítěte je přesným zrcadlem stavu CNS. Je závislý na vzájemném působení genetických faktorů, intrauterinním a následně extrauterinním prostředí (Můčková et al. 2017).

Jsou dva důležité koncepty pro pochopení toho, jak se mozek vyvíjí. První zahrnuje genovou expresi a druhý je samotný vývoj mozku a jeho organizace. Geny jsou hmotnou

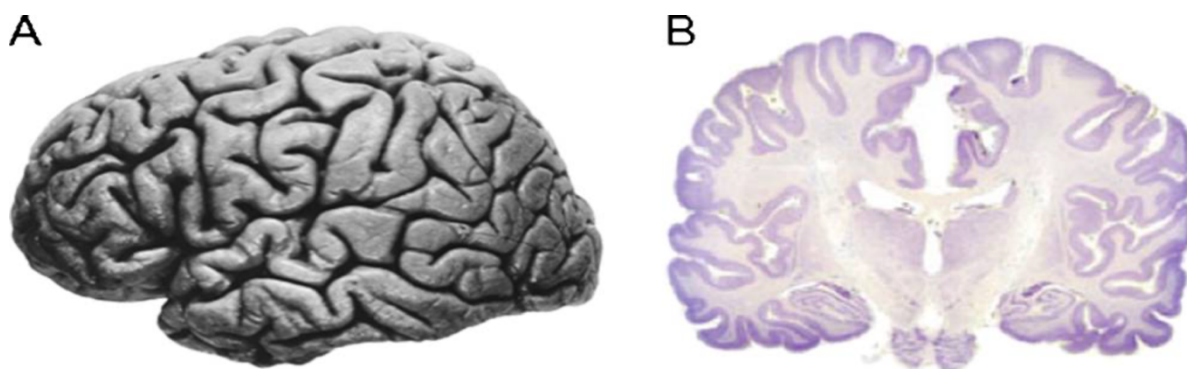
substancí, která se mezigeneračně přenáší z rodiče na potomky a jsou obsaženy v jádře každé buňky v těle. Exprese genu má za výsledek produkci molekuly proteinu, která se účastní dalších procesů ve vývoji. Geny se tak nemohou přímo účastnit biologických procesů, nevytváří přímo modré oči, náchylnost k nemocem, inteligenci nebo chování. Ale právě proteiny (genový produkt) vstupují do komplexních, interaktivních kaskád, které obvykle zahrnují mnoho genových produktů a také vlivy prostředí. Konkrétní genový produkt je tak jedním z mnoha základních prvků, které se vzájemně ovlivňují, podporují a vedou komplexní proces vývoje mozku (Stiles a Jernigan 2010).

Zralý lidský mozek má charakteristický vzor záhybů (sulci, dělicí jednotlivé funkční oblasti) a vyvýšenin (gyri). To je důsledkem adaptace na dramatický růst velikosti mozku v poměrně malých lebečních klenbách. Z hlediska strukturální maturace CNS je jeho vývoj kaudokraniálním směrem. Tedy od páteřní míchy, přes mozkový kmen, bazální ganglia, mozeček až k mozkové kůře. Lidský mozek je pravděpodobně nejsložitější ze všech biologických systémů a skládá se z více než 100 miliard neuronů. Neurony jsou buňky zpracovávající/vysílající informace v mozku, lépe řečeno v jeho šedé hmotě. Existuje mnoho různých druhů neuronů, které se liší svou velikostí, tvarem a také svou funkcí. Z hlediska časové posloupnosti lze říct, že rudimentární struktury centrálního (mozek a mícha) i periferního (mozkové a míšní nervy) nervového systému s definovanými hlavními kompartmenty jsou vytvořeny již v 8. týdnu těhotenství a zhruba do poloviny těhotenství je již většina kortikálních neuronů migrována do svých pozic v kůře a začíná s rozvojem konektivity pro zpracování i vysílání informací. Neurony migrují do různých oblastí mozku, kde začínají vytvářet spojení s jinými neurony a vytvářejí základní neuronové sítě pro zpracování informací, jsou zodpovědné za všechny naše myšlenky, pocity a konání. Na konci prenatálního období (plného) jsou hlavní nervové dráhy, včetně thalamokortikální již kompletní. Vzhledem k tomu, že každý neuron může vytvořit spojení s více než 1000 dalšími neurony, dospělý mozek má podle odhadů více než 60 bilionů neuronových spojení. Spojení mezi dvěma neurony se nazývá synapse, díky ní spolu neurony vzájemně komunikují. Synapse umožňují přenos elektrochemické informace, která je základním prostředkem komunikace v mozku. K největšímu rozvoji synaptogeneze dochází v posledních dvou měsících gestace (Marková a Chvilová-Weberová 2020, s. 136–137; Stiles a Jernigan 2010).

Nejdůležitější sítě pro zpracování informací zahrnují neokortex a subkortikální jádra, která přenáší informace do a z neokortexu. Neokortex (mozková kůra) je 2–5 mm silná vrstva buněk, která leží na povrchu mozku. Subkortikální jádra jsou shluky neuronů, které

slouží jako centra přenosu signálu komunikující mezi neokortexem a zbytkem těla a také jako „relé“ (zařízení) mezi různými oblastmi kůry. Jsou umístěny hluboko v mozku pod kůrou, a proto se označují jako „subkortikální“ jádra. Protože jak neokortex, tak subkortikální jádra obsahují buněčná těla neuronů (mohou přijímat i vysílat informace), mají šedý vzhled, a tak vznikl termín „šedá hmota“. Ačkoli se neokortex mozku může jevit jako relativně jednotný ve struktuře, ve skutečnosti je parcelován do strukturálně a funkčně odlišných oblastí. Oblasti se odlišují druhem neuronů, druhy informací, které dostávají a typem spojení, které vytváří s jinými oblastmi mozku. Tyto strukturální rozdíly mají za následek funkční rozdíly vytvářející oblasti mozku, které se specializují na provádění různých druhů procesů (Stiles a Jernigan 2010).

Populace neuronů jsou vzájemně propojeny vlákny, která vybíhají z buněčných těl jednotlivých neuronů. Existují dva druhy spojovacích vláken, dendrity a axony. Dendrity jsou vlákna připomínající větve stromu. Rozprostírají se jen na krátkou vzdálenost od těla neuronové buňky a jejich hlavní funkcí je přijímat elektrochemické vstupní signály z jiných neuronů. Axony jsou dlouhá spojovací vlákna, která se rozprostírají na velké vzdálenosti a vytvářejí spojení s jinými neurony, často v dendritech. Axony se chovají jako telefonní dráty v tom, že jsou zodpovědné za vysílání elektrochemických signálů do neuronů umístěných ve vzdálených místech. Svazky jednotlivých axonů z mnoha různých neuronů v jedné oblasti mozku tvoří vláknité trakty, které se rozšiřují, vytváří spojení se skupinami neuronů v jiných oblastech mozku a tvoří tak síť pro zpracování informací. Jsou tedy zodpovědné za konektivitu. Axony jsou obaleny látkou zvanou myelin, která podobně jako izolace na telefonním drátu umožňuje efektivní přenos elektrochemických signálů. Myelin má bílý vzhled, takže vláknité dráhy mozku se často označují jako „bílá hmota“. Procesu, při kterém jsou axony v mozku a míše obalovány myelinovou pochvou se říká myelinizace, která je klíčová pro správnou funkci nervového systému. Tento proces začíná od 2. trimestru těhotenství a trvá až do dospělosti. Při narození je myelinizována asi 1/3 nervových vláken a myelinizace pokračuje až do 5-6 roku věku, kdy dozrávají mozečkové funkce a asociační dráhy v prefrontálních oblastech mozku (Marková a Chvílová-Weberová 2020, s. 136–137; Stiles a Jernigan 2010).



Obrázek 1: *Dva pohledy na lidský mozek (Stiles a Jernigan 2010). A: boční pohled ukazuje jednotný povrch s gyri a sulci, B: koronální průřez ukazující neokortex jako tenkou vrstvu (fialová) na povrchu mozku (šedá hmota) a bílé oblasti spojujících drah (bílá hmota)*

V samém středu mozku je řada vzájemně propojených dutin, které tvoří komorový systém mozku. Komorový (ventrikulární) systém je naplněn obměňující se tekutinou zvanou mozkomíšní mok. Komorový systém má řadu důležitých funkcí včetně odpružení a ochrany mozku, odstraňování odpadního materiálu a transportu hormonů a dalších látek. Během vývoje mozku jsou stěny komor místem produkce většiny neuronů.

Vývoj mozku pokračuje hojně i po narození a během předškolního období čtyřnásobně zvětší svůj objem a do 6 let dosáhne přibližně 90 % objemu dospělého. Strukturální změny šedé i bílé hmoty však pokračují během dětství a dospívání. Během časného postnatálního období úroveň konektivity ve vyvíjejícím se mozku daleko převyšuje úroveň konektivity dospělých. Tato bujná propojená síť je postupně redukována prostřednictvím konkurenčních procesů, které jsou ovlivněny zkušenostmi organismu. Tyto rané procesy závislé na zkušenostech jsou základem plasticity a schopnosti adaptace, která je charakteristickým znakem raného vývoje mozku (Stiles a Jernigan 2010).

### 1.2.2 Důležitost zkušenosti a neuroplasticita

Ačkoli se nic v neurálním vývoji nezdá být „předurčeno“, proces vývoje se řídí velmi pravidelnými vzory. Integrita vývojového procesu absolutně závisí na dostupnosti správných nervových elementů, které se ve vývoji objevují ve vhodném okamžiku. Vznik nového vývojového milníku často závisí na vývojových událostech, které mu bezprostředně předcházejí. Na všech úrovních nervového systému se progresivní diferenciací specifických struktur spolu s jejich zapojením do funkčních systémů jeví jako řídicí princip vývoje mozku (Stiles a Jernigan 2010).

Aferentní vstup hraje kritickou roli při rozvoji, stabilizaci nebo eliminaci spojovacích traktů. Při dostatečném vstupu jsou tyto trakty posilovány neurotrofickými faktory,

zatímco při nedostatečném nikoli. Lze říct, že nervové dráhy svádí soutěž o neurotrofické faktory, jako o zdroje jejich přežívání a stabilizace.

Rané události poskytují počáteční organizaci CNS zejména v neokortexu, ale struktury zůstávají nedostatečně specifikované a vysoce poddajné. Zralá organizace neokortexu se objevuje později během postnatálního období a vyžaduje různé formy vstupu prostřednictvím všech hlavních smyslových vjemů. Když některé vstupy chybí, mohou se objevit alternativní vzorce organizace mozku. Tyto alternativní vzorce organizace odrážejí základní vlastnost vývoje mozku, schopnost plastické adaptace (Stiles a Jernigan 2010).

Pro tuto důležitost Greenough zavedl termín „experience expectant“ (očekávaná zkušenost) ve vývoji, aby zachytil myšlenku, že raná zkušenost organismu hraje zásadní roli ve fyziologickém vývoji mozku. Očekávaná postnatální zkušenost je nezbytná pro vznik normálních vzorců neokortikální organizace. Když tento vstup chybí, oblasti mozku se vyvíjejí odlišně a alternativní vzorce vývoje odrážejí druhy vstupů, které organismus skutečně obdržel. V pozdějším věku vyvíjející se, ale i zralý CNS nadále vyžaduje vstup pro získání nových znalostí a pro optimální funkční vývoj. Greenough nazval tuto pozdější fázi vývoje „na zkušenostech závislé“ učení. Tyto dva důležité konstrukty naznačují, že v průběhu vývoje hraje zkušenost zásadní roli při vytváření a zdokonalování nervové organizace. Mozek tedy během vývoje vykazuje dynamické a adaptivní vlastnosti.

Dva jednoduché způsoby, jak změnit vstup, jsou jeho obohacení nebo deprivace. Oba mají dramatický vliv na strukturální a funkční organizaci vyvíjejícího se mozku. Při kvalitní a pestré nabídce různých stimulů prostředí (obohacení) mozek vykazuje zvýšení hustoty kortikálních synapsí, zvýšení počtu mozkových podpůrných buněk, a dokonce i augmentaci složitosti mozkového vaskulárního systému. Tyto změny přetrvávají, i když později dojde k redukci těchto stimulů. Zatímco při deprivaci dochází k redukci funkce selektivních kortikálních oblastí a produkci odlišných vzorců (Greenough et al. 1987).

Termín plasticita mozku označuje schopnost CNS modifikovat svou strukturu a funkci. Citlivost novorozeneckého nervového systému na podněty okolního prostředí se označuje jako plasticita závislá na zkušenostech, tj. modifikace strukturálních a funkčních mozkových drah v reakci na „setkání“ mezi geny, podněty z prostředí a zkušenosti. Existuje termín konektom pro označení strukturální a funkční konektivity mozku. Konektom označuje síť mozkových strukturálních spojení, která jsou neustále utvářena řadou mechanismů, od synaptických modifikací po neuronální růst a strukturální plasticitu, ve spojení s učením a zkušenostmi. Mnoho důkazů ze zvířecích modelů naznačuje, že strukturální uspořádání neuronových okruhů může podléhat významným a rychlým

změnám v dendritických i axonálních kompartmentech v reakci na podněty z prostředí (např. senzorická deprivace, změny senzorického vstupu nebo motorické učení). I když k této plasticitě dochází po celý život, mladší CNS vykazuje větší potenciál vůči tomuto fenoménu díky mechanismům myelinizace, vytváření a rozvoji nervových výběžků nezbytných pro vývoj mozku a modelování kortikálních neuronových obvodů (Cioni et al. 2016).

I přes vysoké plastické potenciály mladého CNS je perinatální poškození mozku často spojeno s funkčními poruchami, které do určité míry korelují s lokalizací léze. To však nemusí být pravidlem. Díky variabilitě neuroplasticity může nastat komplexní heterogenní funkční kompenzace tohoto na první pohled zřejmého poškození. Když mozková léze, ať už kortikální nebo subkortikální, zahrnuje motorický systém, neuroplastické mechanismy by měly být schopny řídit obnovu volních pohybů a obnovit adekvátní kortikální impuls do míšních motorických neuronů a interneuronů. Pro obnovení účinného opětovného spojení motorického kortexu s míšním okruhem v případě mozkové léze jsou k dispozici dva hlavní mechanismy. První zahrnuje reorganizaci stejnostranného kortexu v primární motorické kůře a motorických oblastech. Druhý mechanismus je specifický pro léze vyskytující se během raných fází vývoje. Je založen na existenci oboustranných motorických výběžků pocházejících z primárních motorických oblastí, které spojují každou hemisféru s oběma stranami těla. Tato vlákna během vývoje obecně zanikají, ale mohou přetrvávat v případě poškození mozku, což vede ke reorganizaci motorické funkce (Cioni et al. 2011). Tuto hypotézu kompenzačních strategií, která dokazuje neuroplasticitu mozku popisuje studie učení čtení ve skupině předčasně narozených dětí a dětí narozených v termínu. Zjistila rozdílný vzorec neurálního zapojení u těchto dvou skupin dětí. Odlišné variace nervových zapojení mohou odrážet schopnost mozku předčasně narozených dětí kompenzovat brzké poranění a dosáhnout tak potřebných dovedností, v tomto případě čtení. Navíc studie prokázala, že k schopnosti číst dochází ve fyziologickém rozmezí a nedochází tak ke zpoždění této dovednosti (Bruckert et al. 2019).

### **1.2.3 Popis motorického řízení**

Pohyb patří mezi základní předpoklady existence a u člověka je vedle zajišťování základních fyziologických a dalších potřeb významným prostředkem sociálního kontaktu. Lidský pohyb vzniká jako funkce pohybového systému složeného ze tří subsystémů:

- opěrného a nosného (tj. kosti, klouby a vazy),
- efektorového neboli hybného (tj. svaly),

- řídicího a koordinačního (centrální a periferní nervový systém, receptory).

Všechny funkční součásti pohybového systému jsou centrálně řízeny na základě určitých programů, volených a modifikovaných dle aktuální situace (Neuls FTK UPOL).

### 1.2.3.1 Motorický nervový systém

Motorický nervový systém tvoří všechny nervové struktury, jejichž dominantní úlohou je zajistit motoriku (pohyb). Motorické struktury jsou hierarchicky uspořádané, vzájemně kooperují a zároveň spolupracují především se senzitivními systémy. Proto se často preferuje pojem senzomotorické řízení. Z anatomického hlediska patří k motorickému systému zejména tyto útvary (řazeno vzestupně od periferie k centru):

- **motorické jednotky** – míšní nebo kmenové motoneurony + inervovaná svalová vlákna, dle definice je motorická jednotka skupina svalových vláken inervovaných jedním motoneuronem,
- **přední míšní rohy** – šedá hmota obsahující jádra motoneuronů a interneuronů, které jsou součástí řady reflexních oblouků tvořících zásobu pohybových programů,
- **motorická centra mozku** – specifická jádra zapojená do vnímání senzitivity a propriocepce, sensoriky, obsahují taky motorická a limbická jádra,
- **mozeček** – podílí se na koordinaci a časování pohybů, rovnováze, reguluje svalové napětí, zajišťuje motorickou paměť a je důležitý v motorickém učení,
- **motorická centra thalamu** – jádra propojující mozeček, bazální ganglia a motorickou kůru pro koordinaci vnímání (senzitivity) a pohybové aktivity (motoriky),
- **bazální ganglia** – tvorba a výběr vhodných pohybových vzorců, zapojení do motorického učení a paměti, inhibiční vliv na motoriku, hrubé nastavení svalového napětí,
- **motorická kůra hemisfér** (primární – přijímají a vydávají základní informace, sekundární a premotorická motorická kůra – analyzují komplexní vjemy, asociační oblasti propojují informace napříč mozkovou kůrou) – začátek pyramidové dráhy a rozhodnutí nad provedením pohybu, příprava, plánování a změny pohybu (Hudák a Kachlík 2017; Neuls FTK UPOL).

Výše jmenované struktury se na řízení pohybu podílí ve třech základních úrovních, které se vyvíjí a postupně překrývají od nejnižší spinální po kortikální úroveň: spinální a kmenová (primitivně reflexní řízení s generalizovanými pohyby), subkortikální (základní stabilizace trupu a předpoklad pro fázický pohyb a lokomoční funkci končetin) a kortikální



(individuální volní kvality a charakteristiky pohybu, umožňuje izolované pohyby a relaxaci) (Kobesová a Kolář 2014).

### 1.2.3.2 Zjednodušený algoritmus řízení motoriky

Co se stane předtím, než se vykoná samotný pohyb:

- a) primární popud: myšlenka na pohyb (asociační oblasti mozkové kůry), senzitivní a senzorické oblasti informují o současné poloze těla, limbický systém dodává motivaci k pohybu, mozeček informuje o možnostech pohybu vzhledem k poloze a pohybu těla, motorické korové oblasti vytváří návrh pohybu a posílají ho do bazálních ganglií,
- b) programování pohybu – probíhá v bazálních gangliích, které přijímají všechny informace a vybírají vhodné pohybové vzorce za přispění mozečku, společně pak vytváří ideální vzorec a posílají jej jako návrh do primární motorické oblasti,
- c) centrální příkaz – primární motorická oblast vysílá příkaz k pohybu cestou pyramidové dráhy + časuje tento pohyb,
- d) realizační fáze pohybu – aktivace motoneuronů + zpětná vazba o poloze, napětí svalů, směru a kvalitě pohybu (z proprioceptorů, senzorů, mozečku, který pohyb neustále kontroluje) (Hudák a Kachlík 2017; Neuls FTK UPOL).

### 1.2.4 Poranění CNS

Okolnosti, které byly pojmenovány v kapitole 1.2.1. výrazně tento přirozený vývoj CNS komplikují z důvodu poškození na nezralém CNS, jehož rozsah následně určuje pozdější neurovývojové poruchy obsahující oblasti motorické, kognitivní a behaviorální (de Kieviet et al. 2009; Smíšek in Marková a Chvílová-Weberová 2020 - s. 33-40). Slovní spojení poranění na nezralém CNS je zde zásadní. Mozek předčasně narozeného dítěte je zranitelný v průběhu dozrávání bílé hmoty mozkové, mozkového kůry, bazálních ganglií, thalamu a mozečku. Jejich optimální rozvoj a vzájemné funkční propojení jsou poté předpokladem fyziologického psychomotorického vývoje (Můčková et al. 2017). Tato jedinečná zranitelnost k vnějším (exogenním) i vnitřním (endogenním) inzultům je způsobena četnými rychlými a komplexními vývojovými buněčnými událostmi, ke kterým v mozku dochází od 20. do 40. týdne těhotenství (Volpe 2009a).

Z hlediska samotné příčiny poškození CNS se za hlavní patogenetické mechanismy považuje ischemie a zánět, který je často způsoben intrauterinní infekcí matky nebo postnatální sepsí. Tyto dva mechanismy často koexistují a mohou se navzájem potencovat. (Inder et al. 2023; Van Steenwinckel et al. 2014; Volpe 2009a). Dalším důležitým faktorem

je hypoxie, tedy nedostatečný přísun kyslíku do mozku, která se často v období porodu (perinatálním) vyskytuje díky nezralé cévní autoregulaci (vazokonstrikce při hypertenzi a vazodilatace při hypotenzi) průtoku krve mozem u předčasně narozených dětí. Děje se tak jednak kvůli kardiorepirační nestabilitě novorozence na podkladě nedostatečného vyvinutí těchto orgánových systémů. Ale také kvůli samotné autoregulační funkci, která se vyvíjí progresivně mezi 23. a 33. týdnem gestace. Proto se u předčasně narozených dětí může objevit anatomicky neúplná a nedostatečně vyvinutá mozková vaskularita, která ještě není plně schopna autoregulace, což určuje zvýšené riziko poranění mozku v důsledku kolísání mozkového průtoku krve. Při hypoxii může docházet k různě závažným poraněním mozku (Inder et al. 2023; Salmaso et al. 2014). Mozek je totiž doslova závislý na dodávce kyslíku a glukózy v přicházející v krvi kvůli vysoké metabolické aktivitě nervové tkáně. Na hypoxii často nasedá právě ischemie (snížení až úplné zastavení přívodu krve do tkáně), jakožto důsledek tohoto patologického procesu (Gopagondanahalli et al. 2016). Relativně závažnější komplikací porodu může být asfyxie, tedy úplné přerušení dodávky kyslíku novorozenci například při dušení a její délka určuje závažnost budoucích poruch. Perinatální asfyxie zhoršuje prognózu předčasně narozených dětí (Back 2017; Gopagondanahalli et al. 2016; Marková a Chvílová-Weberová 2020 - s. 131). Těmito příklady však souběh možného poškození mozku nekončí. Vzniklé poškození CNS se snaží povolané buňky v mozku reparovat a vzniká u toho větší vyplavení glutamátu (excitační neurotransmitter v mozku) ale jeho přebytečné množství se v podmínkách hypoxie a ischemie stává zdrojem smrtelné excitotoxicity, tedy další poškození až zánik neuronů v centrální nervové soustavě (Volpe 2009b). Díky této reparativní aktivitě dochází také k nadměrné tvorbě volných radikálů, které však nejsou kompenzovány antioxidanty díky snížené ochranné kapacitě u předčasně narozených dětí. Dochází tak k nadměrnému oxidačnímu stresu, který je také příčinou poškození mozku (Volpe 2009a). Svůj podíl na poškozující se CNS mají také interní komorbidity spojené s prematuritou, které byly uvedeny v kapitole 1.2. (Klement in Marková a Chvílová-Weberová 2020, s. 127). Navíc během intenzivní péče jsou předčasně narozené děti, které nejsou připraveny svým vývojem na život mimo dělohu, také často rutinně vystaveny mnoha bolestivým a stresujícím procedurám, které jsou spojeny s poruchami postnatálního růstu a dozrávání mozku (Back 2017).

Z příčin poškození mozku i samotného předčasného porodu tak plyne velká heterogenita a variabilita možností. K tomu si přičtíme stejnou, pravděpodobně i větší variabilitu v tom, do jaké míry a v kterých lokalitách se léze v centrální nervové soustavě

vyskytne (Back 2017). Ani tato variabilita však není ta poslední, protože dětský mozek je tkáň, která je schopna se neustále proměňovat a přizpůsobovat svou funkci nastalým situacím. Této vlastnosti říkáme neuroplasticita. Dochází při ní k aktivnímu růstu nových dendritů (výběžků neuronů) a tvorbě synapsí (spojení dvou neuronů). Všechny okolnosti, vlivy prostředí a zažitá zkušenosti tedy vedou ke strukturálním změnám v CNS. (Můčková et al. 2017) Z neuroplasticity tedy plyne ta nejdůležitější variabilita, a to klinického obrazu. Tedy jaké doopravdy předčasně narozené dítě bude mít obtíže. Na individuální úrovni se dlouhodobý výsledek u předčasně narozených dětí velmi liší, přičemž část těchto dětí dokonce nemá žádné neurovývojové postižení. Tato heterogenita ve výsledcích neurovývoje samozřejmě do velké míry odráží povahu a závažnost poškození mozku včetně dysmaturace po předčasném porodu. Logicky lze říct, že největší riziko mají děti narozené v nejranějším gestačním věku (Inder et al. 2023). Ve výsledku však až neuroplasticita a také variabilní konektivita neuronové sítě určuje klinickou rozmanitost neurovývojových následků (Munyeshyaka a Fields 2022).

Mezi nejčastější poškození CNS u předčasně narozených dětí, které jsou spojeny s následnou neurovývojovou poruchou se řadí poranění bílé hmoty (terminologicky spřažené s periventrikulární leukomalácií – PVL), germinální matrix – intraventrikulární krvácení a cerebelární krvácení. Volpe však klade důraz na samotné PVL a na ni nasedající neuronální/axonální onemocnění. Pro tuto kombinaci navrhuje termín „encefalopatie nedonošených“, protože kvantitativně zodpovídá za většinu poranění mozku a z toho vyplývající neurologické následky (Volpe 2009a). Současné poznatky však uvádějí, že nepříznivé neurovývojové důsledky předčasného porodu jsou zprostředkovány jak prvotním poraněním mozku, tak i následným nepříznivým vlivem tohoto poranění na vývoj bílé i šedé hmoty, označovaný jako dysmaturace (Inder et al. 2023). Volpe užívá pro tuto souhru destruktivního primárního poranění a jeho vliv na následný vývoj mozku termínové spojení „komplexní amalgám destruktivních a vývojových poruch“ (Volpe 2009b).

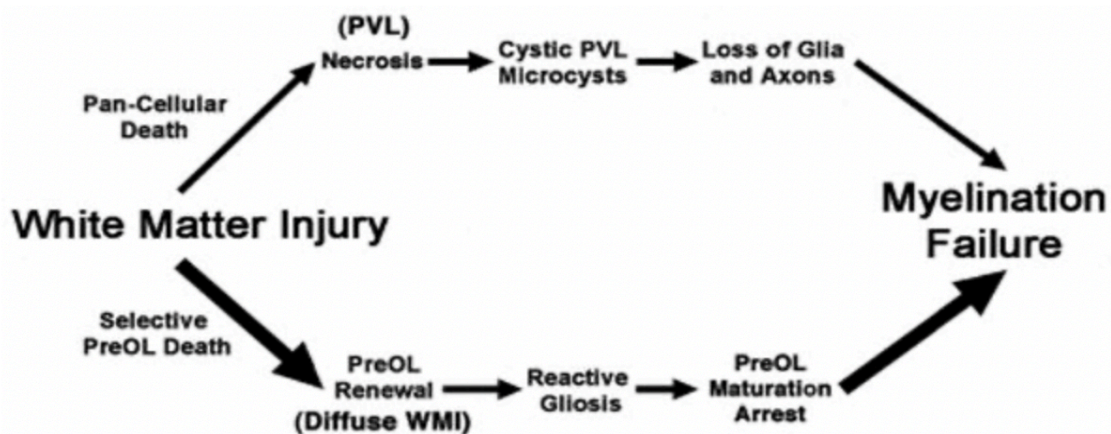
#### **1.2.4.1 Poranění bílé hmoty**

V posledních 40 letech se díky přechodu z ultrazvukového a CT zobrazování mozku na kvalitnější zobrazování pomocí MRI, měnil pohled na neurologii předčasně narozených dětí. Dříve se pomocí CT kladl důraz na detekci intraventrikulárního krvácení a na tomto základě se tedy detekoval i hlavní zdroj invalidity u přeživších předčasně narozených dětí. Ale s příchodem MRI bylo jasné, že poranění bílé hmoty mozku neboli white matter injury (WMI) je dominantní patologií nedonošených. Děje se tak díky velké zranitelnosti

časně se diferencujících preoligodendrocytů (preOL). Je tak porušena linie vývoje oligodendrocytů (OL), které jsou nezbytné k myelinizaci mozku (viz obrázek 2). Vyvíjející se bílá hmota je osídlena velkým rezervoárem časných progenitorů OL, které jsou odolné vůči hypoxii-ischémii a silně proliferují v podmínkách preOL degenerace. Po WMI je tedy vyvíjející se bílá hmota schopna zapojit opravné mechanismy, které spouští rychlou regeneraci a výraznou expanzi preOL, které pochází z časných progenitorů OL. Ačkoli regenerace preOL kompenzuje jejich zánik, tyto nově generované preOL vykazují přetrvávající zastavenou diferenciaci a nedokážou myelinizovat intaktní axony. Důsledkem této deficitní myelinizace je změněná konektivita mezi jednotlivými částmi CNS z důvodu defecitů ve spojujících traktech (Back 2015; 2017; Inder et al. 2023; Volpe 2009b). Abnormality bílé hmoty mozku jsou tak doprovázeny neuron-axonálními deficity plynoucí v poruchy struktur jako jsou: thalamus, bazální ganglia, mozková kůra, mozkový kmen a mozeček. Ukázalo se, že dopad těchto abnormalit je z velké části poruchou vývoje, pravděpodobně iniciovaný počátečním poranění. Tato konstalace abnormalit bílé a šedé hmoty, tj. „encefalopatie nedonošených“, je hlavním určujícím faktorem neurologického výsledku dětí (Volpe 2009b). Volpe tento koncept nahlížení na novorozenecké poškození mozku a jeho následné klinické a anatomické důsledky pojmenoval a představil jako amalgám destruktivních a vývojových poruch (Volpe 2009a).

Období od 23. do 32. týdne těhotenství představuje období nejvyššího rizika poškození bílé hmoty. Mezi klíčové rizikové faktory vedoucí k poranění bílé hmoty patří hypoxie-ischemie a zánět, přičemž zánět často souvisí s perinatální a neonatální infekcí. Konkrétněji ischemie zadního raménka capsula interna (rozvodí mezi cévním zásobením z arteria cerebri anterior, media a posterior a choroidálních arterií). K ischemii může dojít snadno při oběhové a ventilační nestabilitě předčasně narozených dětí (Klement in Marková a Chvílová-Weberová 2020, s. 127–128). WMI reprezentována periventrikulární leukomalácií (PVL) je tak běžnou lézí, která se však může lišit ve své závažnosti. Existují tři hlavní formy: fokální cystická nekróza, fokální mikroskopická nekróza a difuzní nekrotické léze (Back 2017; Inder et al. 2023).

Pokroky v péči o předčasně narozené děti však vedly k trvalému snížení závažnosti dopadů WMI, která se posunula od závažnějších fokálních nekrotických lézí k mírnějšímu difuznímu WMI. Nicméně WMI zůstává globálním zdravotním problémem a nejčastější příčinou chronické neurologické morbidity (Back 2017).



Obrázek 2: *Patogeneze selhání myelinizace v důsledku poranění bílé hmoty (WMI) (Back 2015). Související s celobuněčnou smrtí a nekrózou (PVL – horní dráha) nebo selektivní preOL smrt a difuzní WMI (dolní dráha) Dolní dráha je dominantní u většiny předčasně narozených dětí, zatímco horní dráha odráží klesající zátěž fokální nekrózy bílé hmoty (cystic PVL), která doprovázela pokroky v neonatální medicíně.*

#### 1.2.4.1.1 Fokální cystická nekróza

Cystická forma poranění bílé hmoty, která je svým rozsahem nejzávažnější, postihuje méně než 5 % předčasně narozených dětí narozených před 32. týdnem těhotenství a incidence stále klesá. Fokální komponenta se skládá z lokalizované nekrózy hluboko v periventrikulární bílé hmotě (proto označení PVL) se ztrátou všech buněčných elementů. Tyto nekrózy mohou mít makroskopickou velikost (několik milimetrů nebo více) a během několika týdnů se mohou vyvinout v mnohočetné cystické léze, snadno vizualizovatelné kraniální ultrasonografií a známé jako „cystická PVL“ (viz obrázek 3). Cystické poškození bílé hmoty je spojeno s klinicky významným narušením vývoje a často vede k dětské mozkové obrně, která se vyvine u přibližně 75 % kojenců s cystickým poraněním. Polovina postižených kojenců má poruchu obecné kognice a zraku a 25 % má záchvatovou poruchu (Inder et al. 2023; Volpe 2009a).

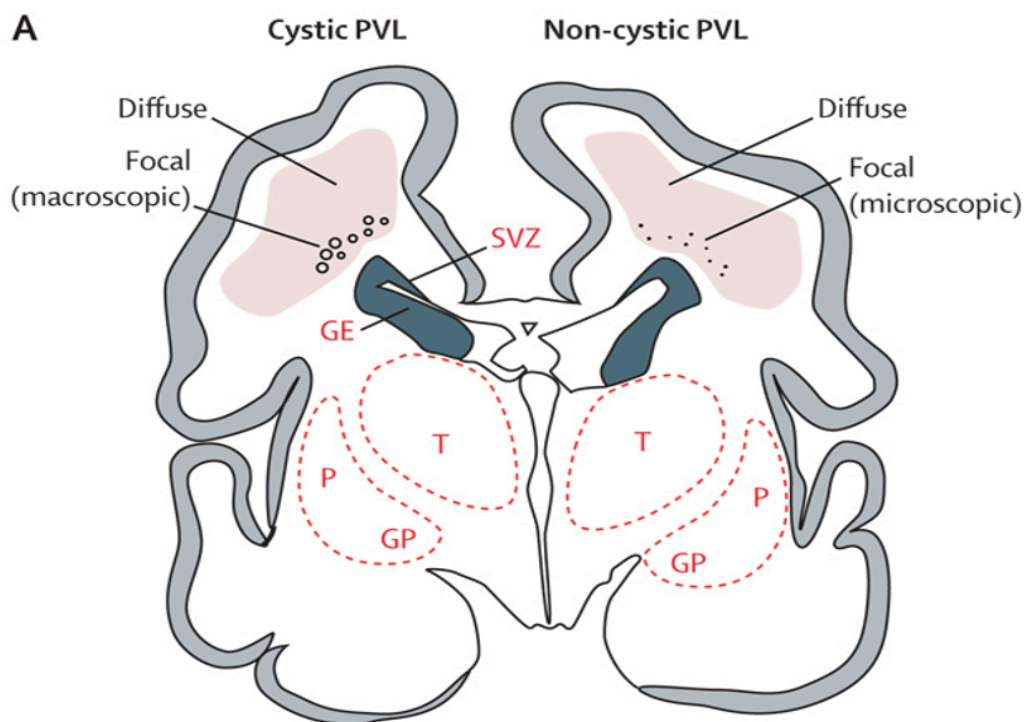
#### 1.2.4.1.2 Fokální mikroskopická nekróza

Mikroskopické fokální nekrózy, obvykle viditelné na MRI zobrazení jako tečkovité léze bílé hmoty, jsou hlášeny u 15-25 % extrémně předčasně narozených dětí (<28. gestační týden). Volpe doplňuje, že zobrazovací studie ukazují nálezy konzistentní s PVL a zjevným neuronálním/axonálním onemocněním u 50 % kojenců s porodní hmotností <1500 g. Tyto drobné fokální nekrózy se během několika týdnů vyvinou v gliové jizvy, které nejsou snadno při zobrazení viditelné. Tato forma PVL, která představuje převážnou většinu případů, se nazývá „necystická PVL“ (viz obrázek 3) (Inder et al. 2023; Volpe 2009a).

### 1.2.4.1.3 Difuzní nekrotické léze

Druhá složka PVL, která je difuzně patrná v mozkové bílé hmotě (viz obrázek 3), je charakterizována výraznou astrogliózou a mikrogliózou (reparační proces charakterizovaný zvýšeným výskytem astro a mikroglíí) a zpočátku poklesem pre-OL. Tyto změny nejsou příliš viditelné na MRI. Proces obnovy preOL a jejich osud byl již popsán v kapitole 1.2.4.1. Hypomyelinizace a úbytek bílé hmoty s ventrikulomegalií je pozdějším následkem těchto patologických procesů u téměř poloviny předčasně narozených dětí. Činí to tak difuzní WMI nejčastější pozorovanou formou WMI. Příčina zjevné poruchy pre-OL je jejich velká selektivní zranitelnost vůči hypoxicko-

ischemickému poškození, které je u předčasně narozených dětí běžné. Za klinický následek difuzních a mikroskopických nekrotóz Inder považuje nižší hladinu IQ souvisící s potížemi při vzdělávání, zvýšeným rizikem poškození motorických funkcí, potížemi s pozorností, zpracováváním informací, dále v oblasti jazykových dovedností, paměti, učení a výkonné funkci (Back 2015; Inder et al. 2023; Volpe 2009a).



Obrázek 3: *Cystická a necystická (mikroskopická) PVL (Volpe 2009a)*. Koronální řez mozku předčasně narozeného dítěte ve věku 28 týdnů. Je zobrazena dorzální mozková subventrikulární zóna (SVZ), ventrální germinativní epitel gangliové eminence (GE), thalamus (T) a putamen (P)/glubus pallidus (GP). Fokální nekrotické léze u cystické PVL (malé kruhy) jsou makroskopické velikosti a vyvíjejí se v cysty. Fokální nekrotické léze u necystických PVL (černé tečky) jsou mikroskopické velikosti a vyvíjejí se v gliové jizvy. Difuzní složka cystické i necystické PVL (růžová) je charakterizována buněčnými změnami.

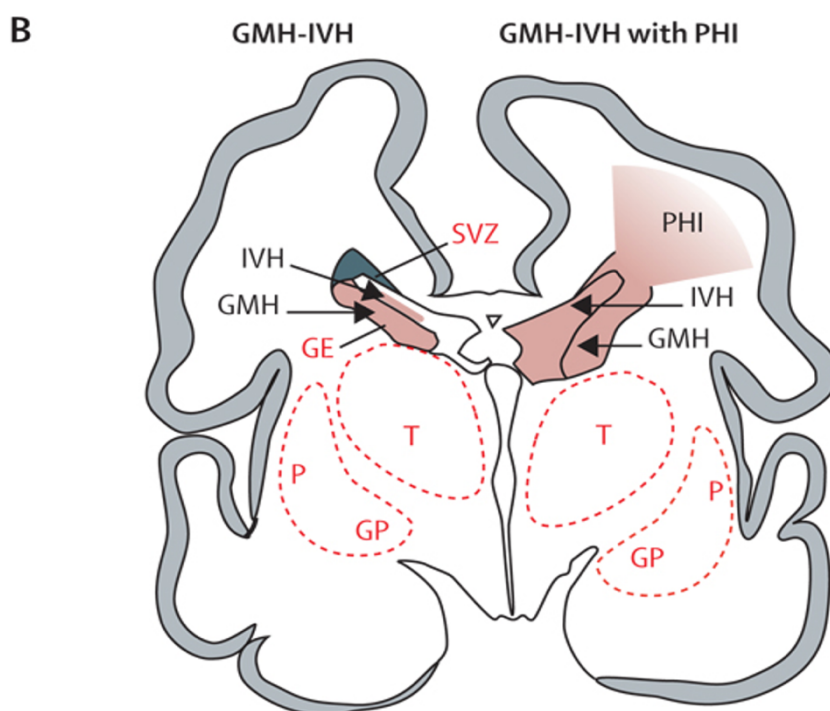
#### 1.2.4.2 Germinální matrix – intraventrikulární krvácení

Intraventrikulární krvácení do germinální (zárodečné) matrix (GMH-IVH – germinal matrix hemoragia – intraventrikular hemoragia) je nejběžnější formou neonatálního intrakraniálního krvácení a je charakteristické pro krvácení do CNS u předčasně narozených dětí. Tato forma poranění mozku postihuje přibližně 25 % všech předčasně narozených dětí s velmi nízkou porodní hmotností (<1500 g) (Inder et al. 2023).

Germinální matrix je oblast v blízkosti postranních komor (periventrikulárně) bohatá na nervové a gliové buňky. Neurony odtud migrují především do oblasti kortexu. Bohaté cévní zásobení a relativně chudá opěrná tkáň jsou příčinou vysokého rizika krvácení. Chybějící cévní autoregulace těchto dětí riziko krvácení ještě zvyšuje. Patogeneze IVH krvácení však zahrnuje komplexní interakce mnoha faktorů. Zvláště důležité jsou cerebrovaskulární faktory souvisící se stabilitou mozkového průtoku krve. Nezralá cerebrální autoregulace cév během období velké kardiorespirační nestability může vést k ischemickým i reperfuzním infarktům, které poškodí křehké germinální matrixové cévy s následným prasknutím a krvácením. Výskyt IVH ovlivňuje následný vývoj mozku mnoha způsoby. Důsledky mohou zahrnovat destrukci nezralé germinální mozkové oblasti, což vede ke ztrátě progenitorových buněk. Stlačení terminálních žil, které může vést k parenchymálnímu venóznímu hemoragickému infarktu. Navýšení poškození bílé hmoty díky oxidačnímu stresu a hydrocefalu, který může následovat po IVH a vést k atonálním a jiným poraněním. Počátek tohoto krvácení nastává v průměru 24-48 hodin po porodu a přibližně 10 % případů do 12 hodin po narození. Časnými příznaky IVH jsou změny svalového tonu, většinou ve smyslu hypotonie, vegetativní projevy (změny prokrvení, apnoe, bradykardie), křeče, pokles hematokritu a změny vnitřního prostředí, častou komplikací je porucha průtoku likvoru a vznik hydrocefalu (Inder et al. 2023; Klement in Marková a Chvílová-Weberová 2020, s. 128–130).

Závažnost IVH je klasifikovaná podle rozsahu krvácení v postranních komorách a mozkovém parenchymu stupněm 1 až 4. Stupeň 1 znamená krvácení do germinální matrix bez propagace do komor, stupeň 2 je přítomnost krve v postranních komorách, bez dilatace komor, stupeň 3 je spojen s krvácením vyplňující postranní komory s rozšířením do postranních komor a stupeň 4 je pak navíc provázen krvácením mimo komory do přilehlého mozkového parenchymu nebo může být provázen venózní hemoragickou ischemií (periventrikulární hemoragická infarzáce GMH-IVH s PHI) viz obrázek 4. Příčinou je venózní infarzáce kompresí při těžším stupni IVH (Klement in Marková a Chvílová-Weberová 2020, s. 128–130).

Nízký stupeň krvácení nemá prokazatelně zjistitelné horší neurovývojové výsledky, i když malý stupeň rizika přetrvává. Naproti tomu IVH vysokého stupně je spojeno s vysokým rizikem neurovývojového postižení. V raném dětství mají děti s vysokým stupněm IVH 6krát vyšší pravděpodobnost rozvoje DMO, 11krát vyšší pravděpodobnost poruchy zraku a 4krát vyšší pravděpodobnost oboustranné ztráty sluchu než ty děti, které IVH neměly. Důsledky IVH vysokého stupně, které jsou pozorovány v pozdějším dětství, zahrnují nízké IQ spojené s horšími studijními výsledky. Zároveň také komunikační deficity, deficity v: pozornosti, pracovní paměti, rychlosti zpracování, vizuoprostorovém uvažování, vizuomotorické integraci a exekutivních funkcí (Inder et al. 2023).



Obrázek 4: Hemoragie germinální matrix – intraventrikulární krvácení (GMH-IVH) a GMH-IVH s periventrikulárním hemoragickým infarktem (PHI) (Volpe 2009a). Koronální řez mozku předčasně narozeného dítěte ve věku 28 týdnů. Je zobrazena dorzální mozková subventrikulární zóna (SVZ), ventrální germinativní epitel gangliové eminence (GE), thalamus (T) a putamen (P)/glubus pallidus (GP). Krvácení (červená) do GE má za následek GMH, který by mohl prorazit ependymem a působit IVH (vlevo). Když je GMH-IVH velký, může dojít k PHI (vpravo).

### 1.2.4.3 Cerebelární krvácení

Stejně jako u IVH je náchylnost k cerebelárnímu krvácení u předčasně narozených dětí spojena vaskulární oblastí, která rychle zraje a je tak citlivá na ischemické poškození a rupturu cév. Incidence je v přímé závislosti na způsobu zobrazování. Identifikace cerebelárního krvácení pomocí kraniální ultrasonografie přes přední fontanelu bylo zjištěna u 3 % předčasně narozených dětí. Při zobrazení přes mastoidní fontanelu incidence vzrostla na 9 % a při použití MRI dokonce na 19 %. Patogeneze u cerebelárního krvácení



se značně překrývá s faktory IVH. Nejvýraznějšími jsou nezralost a kardiorespirační nestabilita. Poranění cerebelárního krvácení se pohybuje od jednostranného tečkovitého krvácení po rozsáhlé bilaterální léze. Klinický obraz u těchto dětí je často závažný. V přehledu izolovaného cerebelárního krvácení byla hlášena vysoká incidence poruch kognitivního vývoje (38 %), motorických funkcí (39 %), jazykových schopností (41 %) a chování (38 %). Lokalita a velikost lézí určují klinický důsledek. Dlouhodobý dopad u kojenců s malými lézemi zůstává diskutabilní (Inder et al. 2023).

#### **1.2.4.4 Sekundární mozkové dysmaturační změny**

Stále více se ukazuje, že nepříznivé neurovývojové výsledky předčasného porodu jsou zprostředkovány jak prvotním poraněním mozku, tak i následným nepříznivým vlivem tohoto poranění na vývoj bílé i šedé hmoty, označovaný jako dysmaturace a s ní spojená změna konektivity jednotlivých částí CNS (Inder et al. 2023). Poznatky z výzkumů naznačují, že aberantní (rozdílná) konektivita v rámci klíčových funkčních sítí a traktů bílé hmoty může být základem neurovývojových poruch v této populaci (Rogers et al. 2018). Obecně se předpokládá, že rozvoj neurální sítě je závislý na vytvoření strukturálních vazeb. Jedno potenciální vysvětlení porušení konektivity je poranění bílé hmoty (Smyser et al. 2016). Dříve se předpokládal klinický dopad na neurovývojové poruchy díky sníženému objemu mozkové bílé i šedé hmoty (po destruktivním inzultu poranění CNS), který je ale i tak značný. Snížení objemu v jednotlivých částech CNS má proměnlivý vztah ke klinickým dopadům. Nelze tak říct, že s sebou snížení objemu mozkové tkáně nese neurovývojovou poruchou. (De Kieviet et al. 2012). V reakci na hypoxii-ischemii zralé neurony šedé hmoty degenerují, hlavní populace nezralých neuronů šedé hmoty však nikoli, ty pak ale nedokáží dozrát. Navíc tato nezralá populace neuronů reaguje rozdílně a přežívá se zjednodušeným dendritickým trnem, který přispívá ke snížení cerebrálního růstu a abnormální synaptické aktivitě. Buněčná dysmaturace šedé a bílé hmoty může narušit kritické období rozvoje rané funkční a strukturální konektivity. Tento fakt činí předčasný mozek zranitelný vůči neurovývojovým poruchám. Zejména díky probíhajícím procesům jako je migrace neuronů, tvorba dendritického stromu, synaptogeneze, kortikální diferenciacie, myelinizace a vznik thalamokortikálních spojení (Back 2015; Rogers et al. 2018).

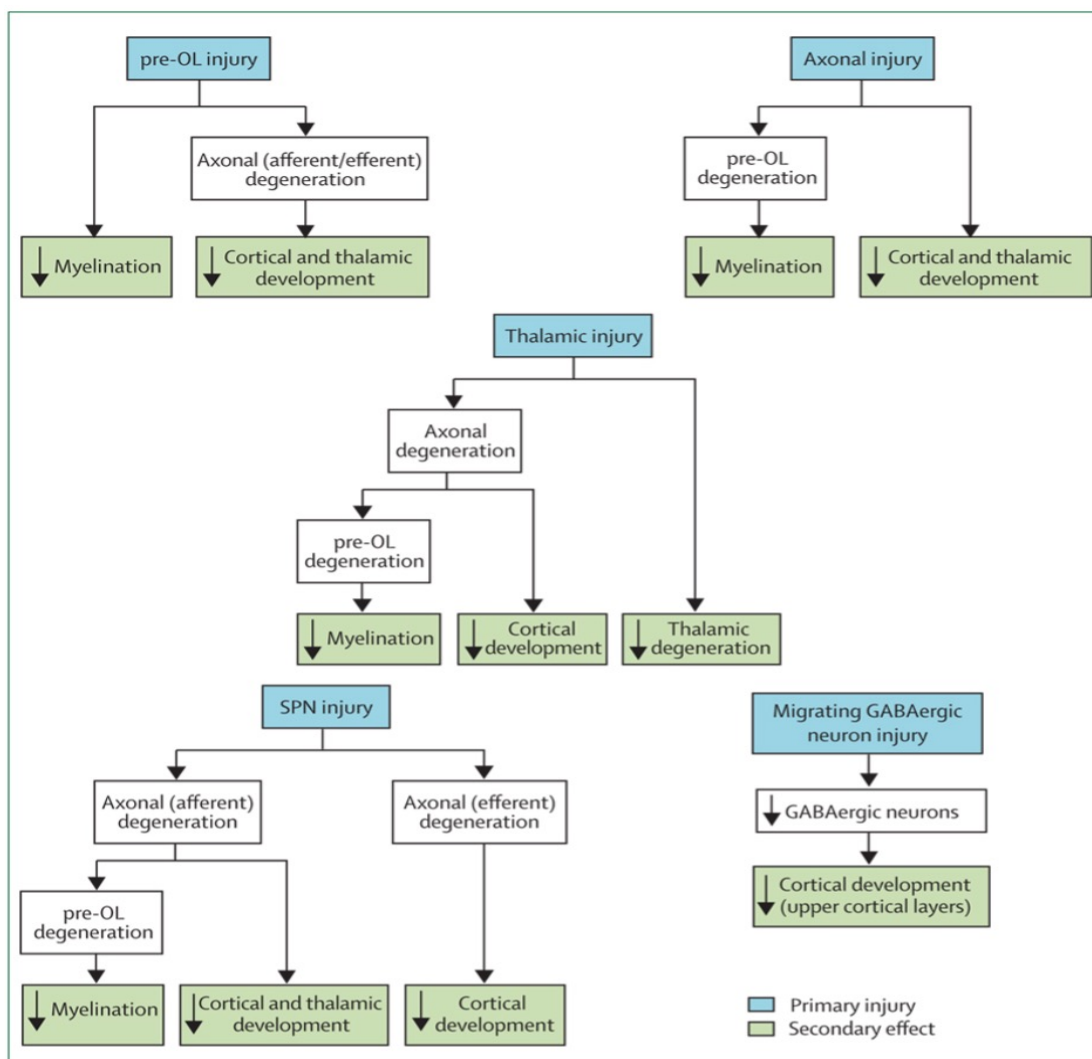
Difuzní MRI zobrazuje bílou hmotu se sníženou frakční anizotropií (snížená míra konektivity) s kortikálním otupením společně se sníženou plochou povrchu mozkové kůry. Funkční MRI ukazuje zhoršenou konektivitu, zejména thalamokortikální (Inder et al. 2023). Tento výsledek koreluje s důsledky poranění bílé hmoty. Selhání v myelinizaci

opláštění axonů způsobuje následně nejen poškození zrání samotného axonu, ale také neuronů v projekčních oblastech (na PVL nasedající neuronální/axonální onemocnění). Nastává tedy sekundárně porucha struktur šedé hmoty. Volumetrické MRI poté znázorňují snížený objem talamu, bazálních ganglií, mozkové kůry a mozečku. Tento snížený objem přetrvává až do dospělosti (Volpe 2009a). Jako další možné vysvětlení snížených objemů struktur CNS je samotná struktura nezralých neuronů, které nemohou přijímat ani vysílat signály v takové míře jako zralý neuron. Neurotrofické faktory jsou produkovány cílovými neurony na synaptických spojení. Během vývoje se předpokládá, že neurony soutěží o neurotrofní zdroje. Neurony, které vytváří účinná spojení, jsou schopny získat více neurotrofních faktorů a mají větší šanci na přežití (Stiles a Jernigan 2010).

Souhrnná hypotéza aberantní konektivity a dysmaturace šedé hmoty plynoucí z nedostatečně vyvinutých traktů bílé hmoty s největší pravděpodobností však představuje přílišné zjednodušení. Protože vztah mezi anatomickou a funkční konektivitou není nutný a také existuje mnoho příkladů funkční konektivity mezi regiony, kterým chybí přímá anatomická spojení. Funkční konektivita je navíc neuroplastická. Například kompletní řez corpus callosum vede k masivnímu snížení funkční konektivity v akutním pooperačním období, ale tento efekt je v průběhu času významně zmírněn. Experimenty na dospělých lidech naznačují, že funkční konektivita podléhá změnám intenzivního tréninkem. Plné pochopení toho, jak předčasné narození vede ke změně vnitřní konektivity, vyžaduje úvahu, že postnatální zkušenost vede k rozdílné plasticitě v neúplně vyvinutém mozku (Smyser et al. 2016). Tento názor podporují Rodgers et al tím, že neurovývojové dopady u předčasně narozených dětí s podobnými neonatálními klinickými fenotypy jsou v dlouhodobém horizontu velmi rozdílné (Rogers et al. 2018).

Studie naznačují, že dysmaturaci bílé a šedé hmoty lze do určité míry redukovat i ovlivnitelnými vlivy jako je nutriční podpora a prvotní zkušenosti novorozence. Faktory, jako je zlepšená kojenecká výživa především kojením, nižší zátěž bolestivých procedur, vystavení příjemným akustickým i optickým podnětům a dřívější behaviorální intervence rodiny (Back 2015; Belfort a Inder 2022; Inder et al. 2023).

### 1.2.4.5 Potenciální příčiny poranění CNS



Obrázek 5: **Potenciální sekvence událostí vedoucí k velkým mozgovým následkům pozorovaných u PVL (Volpe, 2009a).** Potenciální jevy jsou hypomyelinizace, narušený vývoj kortikální a talamické kůry. Pro každou sekvenci je zobrazeno počáteční primární poškození a předpokládá se, že k následným účinkům dojde v důsledku maturačních/trofických poruch, jak je patrné z textu v kapitole Poranění CNS. Jako nejpravděpodobnější ze všech sekvencí se jeví poranění vývoje linie oligodendrocytů (první z výše uvedených), která je více rozebrána v textu kapitoly Poranění bílé hmoty.

#### 1.2.4.5.1 Talamus

Je prokázáno, že talamus v přítomnosti PVL prochází ztrátou neuronů a přítomností gliózy (značící reparativní proces, po kterém dochází k tvorbě jizvy nebo fibrotické tkáně) a axonální degenerace. Tento jev byl přítomen až u 60 % případů s PVL. Takový obraz je v talamu častější než v jiných oblastech mozku. Nepodařilo se však doposud objasnit, zda dochází k primárnímu poškození neuronů talamu nebo je tento obraz sekundární na poškození bílé hmoty. Daleko pravděpodobnější je druhý případ, protože je prokazatelné narušení vývoje talamokortikálního systému, na jehož podkladě dochází k celkovému snížení objemu mozkové kůry. Zejména byl pozorována souvislost mezi talamen a

frontotemporální oblastí, ale také hippocampem a cingulárním gyrem. K této pravděpodobnosti přispívá fakt, že doposud žádná studie neprokázala primární poškození talamu (Ball et al. 2012; Volpe 2009a).

#### **1.2.4.5.2 Poranění subplate neuronů**

Subplate neurony (SPN) jsou sbírkou neuronů pod kortikální ploténkou, které dosahují svého vrcholu dopadu na vývoj ve 24.–32. týdnu těhotenství. Považují se za nejranější a přechodnou buněčnou populaci neokortexu (Gopagondanahalli et al. 2016). Klíčovou rolí subplate neuronů je sloužit jako místa synaptických kontaktů pro tzv. „čekací“ aferenty z ještě nedozrálých nervových traktů vstupujících do kůry ale i z kůry do subkortikálních struktur. Další rolí je usnadnění organizace mozkové kůry a také poskytovat podporu axonálního vedení (Volpe 2009a). Slouží tedy jako předběžná struktura pro budoucí spojení, řídí migraci neuronů, čímž pak ovlivňují a organizují vývoj mozkové kůry.

Dle období vrcholu funkce SPN je zřejmé, že se předčasně narozené děti se rodí právě v tomto období. Zde jsou tyto neurony společně s preOL výjimečně citlivé na prozánětlivé cytokiny, hypoxii a oxidační stres (Gopagondanahalli et al. 2016). Stěžejní role SPN ve vývoji mozkové kůry a hlubokých jader lidského předčasného mozku naznačuje, že poškození těchto klíčových přechodných buněk by mohlo mít dalekosáhlé sekundární trofické/maturační účinky. Počáteční údaje ukazují zvýšenou apoptózu v SPN u kojenců s PVL. Pokud by se jednalo o primární destruktivní událost, sekundární účinky by následovaly formou deficitů na axonech bílé hmoty a také na neuronech v mozkové kůře a talamu (Volpe 2009a; 2009b). Ztráta SPN má tak za následek abnormální talamokortikální konektivitu, což přímo ovlivňuje dvě nejdůležitější dráhy v mozku. Jedná se o dráhy talamokortikální (TC) a kortikotalamické (CT), které přenáší senzomotorické informace. TC přenáší senzorické a motorické informace z receptorů v sítnici, kochle, svalů nebo kůži do senzomotorických oblastí neokortexu prostřednictvím hlavního subkortikálního senzomotorického relé, talamu. Dráha CT dokončuje zpětnovazebnou smyčku přenosem informací z kůry zpět do talamu. Tyto základní dráhy se u lidí začnou tvořit v pozdější části druhého trimestru a jsou dokončeny ve 26. týdnu těhotenství. Jak již bylo řečeno, SPN hrají zásadní roli při vytváření těchto cest. Když axony TC dorazí do vyvíjejícího se kortexu během 22. týdne těhotenství, nenavazují okamžitě spojení s neurony, ale spojují se s právě s SPN. Spojení trvá přibližně 4 týdny. Během této doby SPN poskytují jakousi navigaci pro neurony TC směřující do kůry. V nepřítomnosti signalizace SPN se nevyvinou normální vzorce konektivity mezi TC axony a kortikálními neurony. Podobný vzorec instruktivní konektivity je vidět ve vývoji CT dráhy směřující do talamu.

Jakmile jsou dráhy TC a CT kompletní, SPN stahují svá spojení a samotné buňky postupně odumírají (Stiles a Jernigan 2010). Deficity TC a CT drah mohou vést k senzomotorickým odchylkám u předčasně narozených dětí (Gopagondanahalli et al. 2016).

#### **1.2.4.5.3 Pozdě migrující neurony**

Ačkoli je možné, že dorzální telencefalická subventrikulární zóna je poškozena u PVL, podpůrné údaje u lidských kojenců chybí. Tato zóna však produkuje GABAergní neurony, které přispívají zejména k tloušťce horních kortikálních vrstev. Otupení nebo pozdní migrace by mohlo mít důležité strukturální a funkční důsledky na mozkovou kůru. Důkazy o tomto vlivu však nejsou dohledatelné (Volpe 2009a; 2009b).

#### **1.2.4.6 Další sekundárně postižené struktury CNS**

##### **1.2.4.6.1 Mozeček**

Mozečkové (cerebellum) poranění u nedonošených dětí je předmětem zájmu již řadu let. Především kvůli tomu, že je tato oblast zapojená do motorické koordinace, poznávání, učení, paměti a sociální komunikace. Mozeček je zvláště zranitelný jednak kvůli samotnému předčasnému porodu, protože klíčové vývojové procesy mozečku probíhají ve třetím trimestru a také kvůli jeho sekundárnímu poškození (Iskusnykh a Chizhikov 2022).

Selhání růstu mozečku u předčasně narozených dětí se téměř omezil na děti narozené dříve než ve 32. a nejčastěji ve 24.–28. týdnu těhotenství. Za přímé účinky se považuje narušení proliferace granulárních prekurzorových buněk zodpovědných za tvorbu a uspořádání granulární vrstvy mozečku, jakožto základní funkční jednotky, včetně diferenciací a migrace neuronů. Tento proces je zásadní pro správnou funkci cerebella (Iskusnykh a Chizhikov 2022; Volpe 2009a; 2009b).

Cerebelární léze předčasně narozených dětí lze rozdělit do dvou hlavních skupin: cerebelární nedostatečné vyvinutí (atrofie/hypoplazie) a destruktivní cerebelární léze (primární fokální poranění, projevující se jako krvácení nebo infarkt) (Spoto et al. 2021).

- a) Atrofie nebo hypoplazie jsou jednou z nejčastějších komplikací u předčasně narozených dětí spojených se špatným neurovývojovým výsledkem. Hypoplazie je neúplný vývoj, často v důsledku zástavy vývoje. Zatímco atrofie je způsobena degenerací již existujících buněk ve vytvořené struktuře, která vede ke zmenšení velikosti orgánu nebo tkáně. Protože obě formy vedou ke snížení objemu mozečku, je obtížné rozlišit pravou příčinu. Cerebelární hypoplazie spojená s nedonošeností může zasáhnout celkové nebo lokální snížení objemu mozečku. 25 % případů koexistuje s pontinní hypoplazií a lze připsat genetickým příčinám. Potenciálními

příčinami nedovyvinutí mozečku je více. Mezi nejvýznamnější patří krevní produkty zejména hemosiderin pocházející z různých druhů krvácení postihující mozeček přímo nebo přilehlé struktury (intraventrikulární a subarachnoidální krvácení). Hemosiderin produkuje reaktivní poškozující formy kyslíku, které mohou poškodit okolní tkáň. Mezi další faktory patří perinatální expozice glukokortikoidům, které se využívají k podpoře zrání plic nedonošenců. Glukokortikoidy narušují proliferaci progenitorových buněk cerebella, což vede k apoptóze a ztrátě neurální funkce. Opioidy u předčasně narozených dětí běžně užívané proti bolesti během pobytu na JIP jsou spojeny s poškozením buněk a následnou redukcí objemu mozečku. Nedostatečná výživa jak matky, tak postnatálně u novorozence hraje také roli ve vývoji všech částí mozku. Patologie spojené s infekcí, zánětem, hypoxicko-ischemická poškození byly již rozebírány v kapitole Poranění CNS. Bylo zjištěno, že samotné poranění jako je PVL, PHI a posthemoragický hydrocefalus, může nepřímo dysfunkcí v neurálních sítích vyvolat dysfunkci v kontralaterálním mozečku. Tento mechanismus funguje i obráceně, protože při primární mozečkové lézi byl pozorován stav globální kortikální dysfunkce (Spoto et al. 2021). Děje se tak díky interakcím mezi mozečkem a mozkovou kůrou prostřednictvím kortikopontinních traktů a následně pontocerebelárních spojení, které mají vliv i na vývoj mozečku. Interakce mezi mozečkem a kůrou se dějí i prostřednictvím dráhy cerebello-rubro-thalamo-kortikálních. A vzhledem k talamickým deficitům uvedených dříve, může i tento důvod být jedním z mnoha vysvětlení dysmaturace mozečku (Volpe 2009a; 2009b).

- b) Za destruktivní cerebelární léze se považují cerebelární krvácení nebo infarkt. Incidence cerebelárního krvácení u předčasně narozených novorozenců je v rozmezí 2,2 - 37 % s vyšším rizikem u dětí narozených před 28. týdnem. Za široký rozsah incidence odpovídá rozdílnost v diagnostice (UZ, MRI a jejich přístupů). Globálně se však incidence považuje za vzácnou. Příčina cerebelárního krvácení je vaskulární z důvodu narušené autoregulace, která byla vysvětlena v kapitole Poranění CNS. Rozsah mozečkového krvácení může být od masivního vedoucí k atrofii až po tečkovité krvácení, které se klinicky většinou neprojevuje. Infarkt mozečku je dalším typem přímé léze. Zdá se, že souvisí se stejným patogenetickým mechanismem, který je základem nezralosti cévních stěn v důsledku rychlé angiogeneze, na které s větší pravděpodobností nasedá poranění mozku. Navíc nedonošenci často mají nižší krevní tlak, který může ovlivnit průtok krve mozkiem

(Spoto et al. 2021; Volpe 2009a). Hypoxicko-ischemický infarkt určuje ztrátu neuronů, což vede k fokální atrofii cerebelárního parenchymu. Cerebelární infarkt také souvisí s abnormalitami bílé hmoty, značící společnou patogenezi (Volpe 2009a).

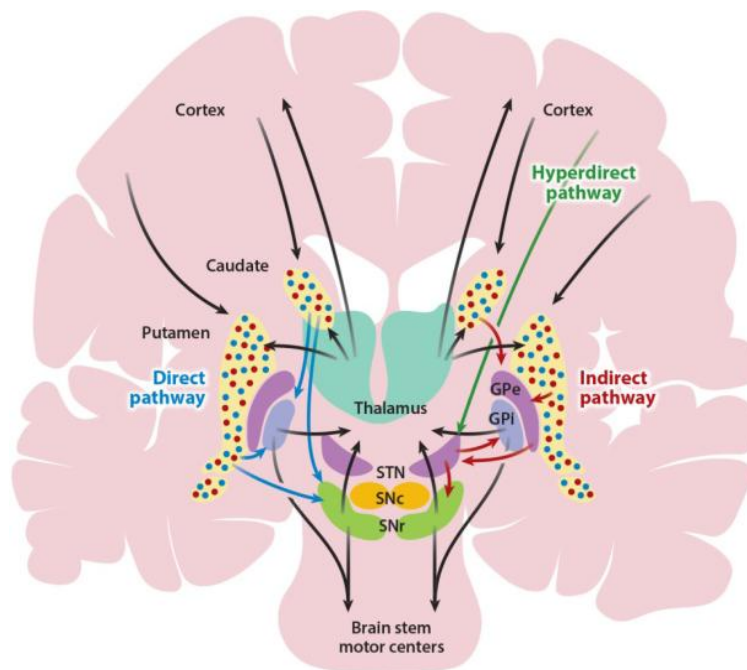
Vzhledem k centrální roli mozečku v senzomotorické kontrole, držení těla, vlivu na svalové napětí, exekutivních funkcí, jazykových schopnostech a regulaci chování není překvapující, že existuje korelace mezi cerebelárními lézemi (přímé i nepřímé) a zhoršením neurovývojového výsledku (Gano a Barkovich 2019). Zmenšený cerebelární objem (<19 cm<sup>3</sup> po 40. týdnu života) byl spojen se 7násobným zvýšením pravděpodobnosti hypotonie trupu a 9násobnou pravděpodobností posturální nestability (Tam et al. 2019). Z hlediska důsledků vycházejících z krvácení je fakt, že čím větší je krvácení, tím horší jsou účinky na motoriku, kognici, jazykové dovednosti a chování. Motorické postižení po masivním krvácení zahrnuje především dětskou mozkovou obrnu. Menší tečkovitá krvácení mohou přinášet změny svalového tonu, síly a reflexů. Izolovaně však drobné mozečkové léze vedou k motorickým dysfunkcím jen vzácně. Zatímco souběžně s lézemi typu PVL je popisován různý stupeň motorických dysfunkcí často (Gano a Barkovich 2019). Avšak celkově lze říct, že mohou být ovlivněny informace o korekci průběhu pohybu jdoucí z cerebella i jejich integrace v mozkové kůře dané aberantní konektivitou. Krom motorických deficitů se u cerebelárních poranění také vyskytují poruchy v oblasti komunikace, sociálně-behaviorální a také poruchy autistického spektra (Spoto et al. 2021).

#### **1.2.4.6.2 Bazální ganglia**

Bazální ganglia (BG) jsou souborem hlubokých jader šedé hmoty mozku v hloubi bílé hmoty mozkových hemisfér. Skládají se ze striata (caudatum a putamen), globus pallidus (vnitřní a vnější), subthalamického jádra a substantia nigra (pars reticulata a pars compacta). Spolu s dalšími oblastmi mozku, včetně mozkové kůry, talamu a několika jader mozkového kmene, tvoří BG konektivní síť v různých funkčních okruzích (viz obrázek 6). Svou funkcí zodpovídají za regulaci motorických funkcí (provádění pohybu), motorické plánování, motorické učení a regulace kognitivních procesů (Nelson a Kreitzer 2014). Především v těchto funkcích je důležitá konektivita mezi mozkovou kůrou, BG a talamem. Bazální ganglia plní zejména roli inhibiční, kdy selektují pouze ty motorické informace, které vstoupí do mozkové kůry a budou následně provedeny. Při patologii BG může být inhibice nedostatečná, což koreluje s klinickým obrazem předčasně narozených dětí především v neobratnosti a nadbytečných pohybech při jeho provádění (Thompson et al. 2020).

Striatum a subtalamičké jádro jsou primárními vstupními jádry BG přijímající informace z téměř každé kortikální oblasti. Integrují tak kognitivní, senzomotorické a limbické signály a dále je reprodukují. Striatum také přijímá excitační vstup z talamu, amygdaly a hippocampu. Subtalamičké jádro přijímá relativně omezený kortikální vstup z primární motorické oblasti a premotorické kůry, je tak zapojeno do nepřímé dráhy/okruhu BG (viz obrázek 6).

Mezi výstupní jádra se řadí globus pallidus internus a substantia nigra pars reticularis jejichž součástí je i jádro retikulární formace v mozkovém kmene. Tato spojení BG a mozkového kmene jsou evolučně zachovalou a jedinou přímou výstupní cestou pro regulaci motorického chování. BG ve svých okruzích vyžadují vždy smyčku zpět do kůry. Druhá část globus pallidus, globus pallidus externus, se řadí spíše do jader vnitřních okruhů BG přijímající vstupy z neuronů striata a také excitační vstupy z subtalamičkého jádra. Výstup BG je také zaměřen na několik jader mozkového kmene, včetně colliculus superior důležitý pro regulaci pohybů očí a orientaci. (Nelson a Kreitzer 2014).



Obrázek 6: Zjednodušené schéma obvodu bazálních ganglií (Nelson a Kreitzer 2014). Jádra bazálních ganglií a jejich hlavní spojení, zobrazeno v sagitálním pohledu. Přímá dráha zobrazena modře, nepřímá červeně a hyperpřímá dráha zeleně. Černé šipky představují spojení sdílená více cestami. Modré a červené tečky v caudatu/putamen představují střední ostnaté neurony. Zkratky: GPe (globus pallidus pars externa), GPi (globus pallidus pars interna), SNc (substantia nigra pars compacta), SNr (substantia nigra pars reticulata), STN (subtalamičké jádro).

Dopad předčasného porodu na vývoj BG se zdá být na stejných podkladech jako u ostatních řešených struktur CNS. Díky poškození bílé hmoty dochází k poruše vývoje BG a jejich konektivity v neuronální síti CNS. Strukturální MRI studie poukazují na zmenšený objem BG, často souvisící se zmenšeným objemem talamu. Glióza značící možnou



následnou atrofii buněk BG se vyskytuje u 50-60% předčasně narozených dětí s PVL, přímá ztráta neuronů se objevuje v 15-30% (Volpe 2009a). Z hlediska konektivity jsou často poškozeny dráhy mezi mozkovou kůrou a striatem, talamokortikální trakt, které následně přispívají k motorickým a kognitivním deficitům. Nejsilnější souvislost s optimálním neurovývojem z hlediska motorického fungování je silná konektivita mezi putamen, talamem a caudatum v traktech spojující prefrontální kůru a motorické kortikální oblasti. Tato konektivita mezi motorickou kůrou, caudatum a talamem je u předčasně narozených dětí snižena. Je to tedy opět poškození bílé hmoty, která zajišťuje konektivitu čímž lze částečně vysvětlit motorické deficity (Thompson et al. 2020).

#### **1.2.4.6.3 Mozková kůra**

Důležité období změn na mozkové kůře je mezi 24. a 32. týdnem těhotenství, kdy talamokortikální axony spolu s komisurálními a asociačními vlákny vstupují do mozkové kůry po synapsích na SPN (viz Poranění subplate neuronů). Po vstupu těchto synapsí začíná diferenciací mozkové kůry, která vede ke čtyřnásobnému zvýšení objemu spolu s rozvojem gyrifikace. Tento proces u donošených novorozenců trvá až do 40. týdne těhotenství. Je tedy zjevné, že předčasný porod vstupuje do této kritické fáze vývoje mozkové kůry (Volpe 2009a). Období třetího trimestru je z pohledu kortikální neurogeneze a migrace z velké části dokončeno, ale na řadě jsou masivní expanze subkortikální bílé hmoty, tvorba dlouhých spojení a rozsáhlá kortikální gyrifikace. Všechny tyto procesy mohou tak být u předčasně narozených dětí vysoce deficitní (Zhang et al. 2015).

Hypotézou tedy je, že narušení talamokortikálního vývoje (poškozením bílé hmoty) je základem pro strukturální i funkční změny šedé hmoty, tedy i mozkové kůry. Objem talamu plně souvisí jak s konektivitou z něj vycházející, tak s objemem kůry samotné, který je u předčasně narozených dětí redukován až o 10%. Objem talamu a kortexu pravděpodobně odráží talamokortikální konektivitu a je závislý na růstu a integritě spojovacích drah bílé hmoty. Specificky jsou nejvíce zasaženy sníženým objemem a také deficitní konektivitou oblasti frontoparietální a temporální mozkové kůry (Ball et al. 2012; Zhang et al. 2015). Častým jevem u předčasně narozených dětí je také abnormální kortikokortikální konektivita. Asociační vlákna a synaptický vývoj realizující tuto konektivitu tak hrají důležitou roli v kortikálním růstu. Zvýšení objemu kůry a konektivity vyžaduje delší kortikokortikální spojení, zvýšenou hustotu spojovacích vláken a funkční konektivitu. Aberantní kortikální vývoj může být substrátem pro abnormální neurovývojové poruchy u předčasně narozených dětí (Kapellou et al. 2006). Stejná studie

přichází se zjištěním, že destruktivní mozkové léze typu krvácení, fokální PVL aj. odpovídají více za neuromotorické postižení včetně DMO, ale aberantní kortikální vývoj souvisí spíše s neurokognitivním postižením (Kapellou et al. 2006).

Temporální kůra se podílí na plánování pohybu skrze integraci zvukových informací. To je velice důležité při integraci okolních změn a reakci na ně. Je také spojena s pamětí, jazykovými schopnostmi a sociální kognicí (zpracování sociálních informací a reakce na ně) (Zhang et al. 2015).

Frontální mozková kůra je spojena s kontrolou pohybu, plánováním, rozhodováním a jinými vyššími kognitivními funkcemi. Léze frontální oblasti spíše zahrnuje poruchu konektivity s ostatními oblastmi CNS jako jsou limbické oblasti, striatum, prefrontální kůra a další asociační oblasti. Tato spojení jsou zodpovědné za plánování a modifikace pohybu na základě motivace a změn vnějšího prostředí (Biotteau et al. 2016b; Irie et al. 2021; Zhang et al. 2015).

Parietální kůra je zodpovědná za sensorické vnímání, zrakově-prostorovou orientaci a také somatognozii (vnímání vlastního těla). Poškození somatognozie s sebou může nést narušené vnímání dotyku, teploty, vibrace, bolesti i propriocepce. Porucha parietální oblasti se v praxi může manifestovat narážením do objektů, zakopáváním, omezenou schopností házet a chytat, trefovat se do letících předmětů aj. (Irie et al. 2021; Wilson et al. 2017).

### **1.3 Kategorizace motorických obtíží, jedná se o DCD?**

Děti s drobnými vývojovými motorickými poruchami jsou dlouhá léta studovány odborníky různých oborů (pediatři, neurologové, psychologové, fyzioterapeuti, aj.). A tak vznikalo spousta termínů používaných k označení těchto stavů: minimální mozková dysfunkce, vývojová apraxie či dyspraxie, sensorická integrativní dysfunkce nebo vývojová porucha koordinace. Z důvodu povšechné zmatečnosti v definicích se na mezinárodním konsenzuálním setkání v roce 1994 ustanovil termín „vývojová porucha koordinace“ (DCD – developmental coordination disorder) (Polatajko et al. 1995). DCD obecně označuje děti s normální inteligencí, ale se špatnou motorickou koordinací bez známek neurologické patologie, jako je například dětská mozková obrna nebo svalová dystrofie. Výhodou zastřešujícího termínu DCD je, že zahrnuje všechny děti s motorickými problémy, které zasahují do každodenního života. Velkou nevýhodou však je nespécifičnost termínu DCD. V praxi je čím dál jasnější, že děti s DCD tvoří heterogenní populaci s různými typy motorických dysfunkcí (Hadders-Algra 2002).

Oficiálně dle Mezinárodní klasifikace nemocí (MKN-10) se řadí mezi specifické vývojové poruchy motorické funkce (SDDMF – F82.0 nebo F82.1.). DCD je zde definováno jako porucha, jejíž hlavním rysem je vážné narušení vývoje motorické koordinace, které nelze vysvětlit jakoukoli získanou nebo vrozenou neurologickou poruchou nebo mentální retardací. Přesto ve většině případů pečlivé klinické vyšetření prokáže výrazné neurovývojové nezralosti. Nejvhodnější definiční kritéria jsou podle diagnostického a statistického manuálu duševních poruch (DSM-IV), kde je DCD definují následující kritéria:

- A. Výkon v každodenních činnostech, které vyžadují motorickou koordinaci, je podstatně nižší, než se očekává vzhledem k chronologickému věku osoby a naměřené inteligenci. Nebo dochází k výraznému opoždění motorických milníků, „nemotornosti“, špatným sportovním výkonům nebo špatnému rukopisu,
- B. narušení popsané v kritériu A významně narušuje studijní výsledky nebo aktivity každodenního života,
- C. porucha není způsobena obecným zdravotním stavem (např. DMO, hemiplegie nebo svalová dystrofie) a nesplňuje kritéria pro pervazivní vývojovou poruchu (The Leeds Consensus Statement se domnívá, že existuje vysoký výskyt komorbidit v rámci neurovývojových poruch a že není vhodné vyloučit možnost duální diagnózy DCD s pervazivní vývojovou poruchou/poruchou autistického spektra),
- D. pokud je přítomna mentální retardace, motorické obtíže převyšují ty, které jsou obvykle spojeny s mentální retardací.

Jak vyplývá z kritéria C, v případě potřeby by měla být stanovena duální diagnóza DCD a dalších vývojových poruch nebo poruch chování (např. poruchy autistického spektra, poruchy učení, ADHD) (Blank et al. 2012).

DCD se běžně projevuje jako „nemotornost“ a pomalost nebo nepřesnost motorických dovedností, vadné osvojování a provádění koordinačních schopností, které narušují aktivity každodenního života (American Psychiatric Association 2013). Je však důležité poznamenat, že motorické obtíže u předčasně narozených dětí nemusí vždy odpovídat tradiční definici DCD, protože tyto obtíže mohou být součástí širšího spektra neurologických poruch (Skranes 2019). Jsou proto často označovány jako „drobné neurologické poruchy“ (MND – minor neurological dysfunctions). Je to široká škála drobných neurologických poruch, které mohou ovlivňovat motorické dovednosti, sensorické vnímání, pozornost a chování. MND nemusí být spojeno s jednoznačnou diagnózou a může se projevovat různě (Ferrari et al. 2012). Proto je nutné vzít u předčasně

narozených dětí v potaz širší kontext těchto obtíží a jejich potenciální vztah k dalším i když drobným neurologickým poruchám. Katschmarsky et al. 2001 při zkoumání základních organických defektů u předčasně narozených dětí považoval tento stav za parietální dysfunkci, kterou dával do kontextu právě s diagnózou MND. Avšak poté uvedl, že to je jen opět vyšší předpoklad k pravděpodobnějšímu vývoji DCD. Většina studií tak předčasně narozené děti s jistým motorickým deficitem, který je prokazatelně testován, pokládá jako děti s DCD. To potvrzuje i Marková tvrzením, že za posledních 20 let je patrný nárůst deficitu motorických funkcí u dětí s perinatální zátěží, které nevykazují sníženou intelektuální úroveň a nejsou zatíženy dědičným nebo neurologickým postižením. Tyto děti tak začínají spadat pod diagnostická kritéria DCD (Marková a Chvílová-Weberová 2020, s. 406). Celková prevalence v populaci je 5–6 % u dětí ve věku 5–11 let s větší pravděpodobností u mužů (American Psychiatric Association 2013). Dle výzkumů je zřejmé, že předčasně narozené děti jsou vystaveny zvýšenému riziku DCD s různou prevalencí. Evensen et al. 2020 ve své metaanalýze uvádí velký rozptyl prevalence 8-37 % s tím, že pravděpodobnost je 6-8krát vyšší než u dětí narozených v termínu. Spittle et al. 2021 udává klesající tendenci DCD s věkem u předčasně narozených dětí. Prevalence klesala ze 48 % v pěti letech, na 28,5 % v sedmi a 27,8% ve 13 letech. Nejnovější metaanalýza z roku 2023 uvedla prevalenci pro předčasně narozené děti s DCD na 21 % a jen 2krát vyšší riziko rozvoje DCD než u dětí narozených v termínu. Tato různorodost výsledků studií značí velkou heterogenitu studií (Panceri et al. 2023).

K zamyšlení však je, že již dříve byla zaznamenána souvislost u dětí s nízkou porodní hmotností < 2500g a výskytem tzv. „soft signs“ (měkké znaky), které jsou definovány jako odchylky v motorické, sensorické a integrační funkci. Nejčastěji se vyskytují v oblastech řeči, rovnováhy, koordinace, chůze, selektivních opakovaných pohybů, svalového napětí, grafestezii, astereognozie, přidružených asociovaných pohybů a zdrcadlových pohybů. Soft signs se často vyskytují s MND. Neznamenají lokalizovanou (fokální) mozkovou dysfunkci, ale jsou spřezané s nefokální těžko identifikovatelnou dysfunkcí. Jak již bylo uvedeno, nefokální tedy difuzní poruchy bílé hmoty jsou nejčastější lézí předčasně narozených dětí. Ve vybrané studii zkoumající 837 dětí s nízkou porodní hmotností zjistili dvojnásobnou pravděpodobnost soft signs oproti novorozencům s fyziologickou hmotností a přetrvává i v 6 letech dětského věku. Navíc polovina jedinců se soft signs měla kognitivní deficit v poklesu IQ na 85 a méně. Zároveň byla u dětí zaznamenána porucha učení a psychiatrické problémy (Breslau et al. 2000). Velkou zajímavostí je, že mezi soft signs a skóre nejčastěji užívanější hodnotící baterii testů MABC nebyla nalezena žádná

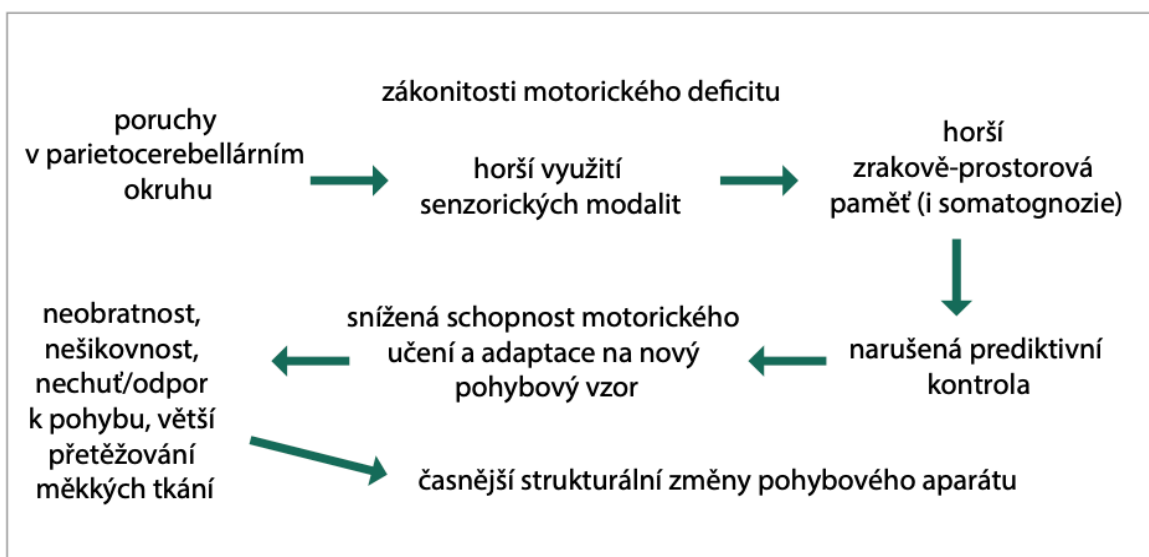
korelace ( $>0,2$ ). Prostřednictvím soft signs tedy nelze spolehlivě určit DCD. Několik starších studií však uvedlo spolehlivou souvislost mezi soft signs a dětmi s ADHD a motorickým postižením. Diagnostika popsaných dysfunkcí se dá odečíst nejdříve kolem věku 3-5 let (s přísnějším kritériem pod 5. percentil ve 3 letech), aby se mohl odlišit optimální, zpomalený nebo právě abnormální motorický vývoj (Blank et al. 2012).

### **1.3.1 Neurofyziologický průsečík mezi dětmi s DCD a předčasně narozenými**

Ze studií vyplývá, že děti s DCD a předčasně narozené děti vykazující podobné neuropatofyziologické změny v CNS, jak zasaženými oblastmi, tak vzájemnou deficitní konektivitou (detailně popsáno v kapitole Poranění CNS) (Zhang et al. 2015).

Biotteau et al ve svém přehledu zobrazovacích studií o neurálním obsahu DCD dokazují, že cerebellum a BG jsou nepochybně spojeny s DCD, ale podílí se obecně na neurovývojových poruchách. Proto není plně definovaná přesná role těchto struktur v DCD. Zatímco další regiony jako parietální kůra, mediální occipitotemporální kortex (vizuální zpracování a rozpoznávání objektů), dorzolaterální prefrontální kortex (vyšší kognitivní funkce – plánování, rozhodování, pracovní paměť, sociální kognice) jsou již více pravděpodobněji a specificky zapojené do obrazu DCD. V poslední řadě ukazují, že limbická kůra (resp. cingulární kůra a parahipokampální gyrus) jsou více aktivní, což by mohlo ukazovat na kompenzační mechanismy v reakci na deficity ve výše zmíněných korových oblastech u DCD pro udržení dobré úrovně výkonu. U složitějších motorických úkonů již tato kompenzace nestačí a projeví se klinický obraz DCD. Je tedy více než pravděpodobné, že všechny vyjmenované struktury a jejich deficitní zapojování je spojené s DCD (Biotteau et al. 2016b). Další studie s podobným záměrem zkoumala mozkovou aktivitu, která je základem nešikovnosti u dětí s DCD. Prokázali sníženou aktivitu oboustranně v talamu, sníženou konektivitu primární motorické kůry se střední temporální kůrou a zadní cingulární kůrou, omezení konektivity primární motorické oblasti s cerebellem a BG. Také bylo zjištěno snížení objemu šedé hmoty v pravé horní a mediální frontální kůře a celkově nižší frakční anizotropii značící horší konektivitu obecně v traktech bílé hmoty (Irie et al. 2021). Tuto alteraci bílé hmoty v souvislosti s DCD zkoumala studie s otázkou, jestli neurofyziologické abnormality přetrvávají až do dospělosti. Výsledky prokázaly nižší konektivitu v kortikospinálním traktu a horním i dolním podélném fascikulu, což naznačuje sníženou integritu bílé hmoty v parietofrontálních a kortikospinálních traktech. Motorické obtíže spojené s DCD u dětí až v 70% případů přetrvávají až do dospělosti (Williams et al. 2017). Bylo také zjištěno,

že problémy u dětí s DCD byly často spjaté s obtížností úlohy. Neurozobrazovací metody odhalily sníženou tloušťku orbitofrontální kůry a změněné vzorce konektivity zahrnující prefrontální, parietální a cerebelární oblasti mozku. Také potvrdily sníženou organizaci bílé hmoty zahrnující senzomotorické struktury. V praxi mohou tyto neurofyziologické souvislosti ovlivnit předvídané plánování (spojený s feed-forward, který zahrnuje mechanismy předpovídající a plánující pohyb na základě předchozích zkušeností) a snížit automatizaci pohybových dovedností, což vede k většímu spoléhání se na pomalejší kontrolní a kompenzační strategie založené na zpětné vazbě (aktualizace informací o okolí jdoucí do mozku) (Wilson et al. 2017). Roli cerebella jako jedné z mnoha deficitních oblastí CNS se zabývá ve své studii Zwicker et al. Zjistili, že motorický projev je chybně modifikován aktualizací vnitřních modelů pohybu umístěných v cerebellu na základě chybového signálu vytvořeného při motorickém učení. V praxi to může znamenat horší motorickou adaptaci při modifikaci naučených motorických vzorců v reakci na okolní změny. Ve srovnání s dětmi bez DCD také pomalejší, méně přesné a méně variabilnější výkony v motorických úlohách. V návaznosti tato drobná patologie může ovlivnit i samotné motorické učení (Zwicker et al. 2009).



*Schéma 1: Schématické znázornění podstaty podmiňující klinické příznaky i dlouhodobé důsledky DCD (Papáček a Opavský 2022). Strukturální i funkční změny v okruzích CNS způsobují klinické příznaky, které z dlouhodobého hlediska urychlují degenerativní změny pohybového aparátu*

## 1.4 Motorické učení

Ačkoli stále není naprosto zřejmé, jak vlastně motorické učení funguje a z čeho se skládá, Krakauer nastínil dvoudílnou definici, která se zdá být nejbližší představám o motorickém učení.

- a) Osvojování dovedností – procesy, kterými jedinec získává schopnost rychle identifikovat vhodný pohybový cíl daný konkrétním kontextem úkolu, zvolí správné motorické akce, jedinec dostane smyslový podnět a/nebo aktuální stav těla a provede tuto akci s přesností a precizností,
- b) udržování dovedností – schopnost udržovat úroveň výkonnosti stávajících dovedností za měnících se podmínek.

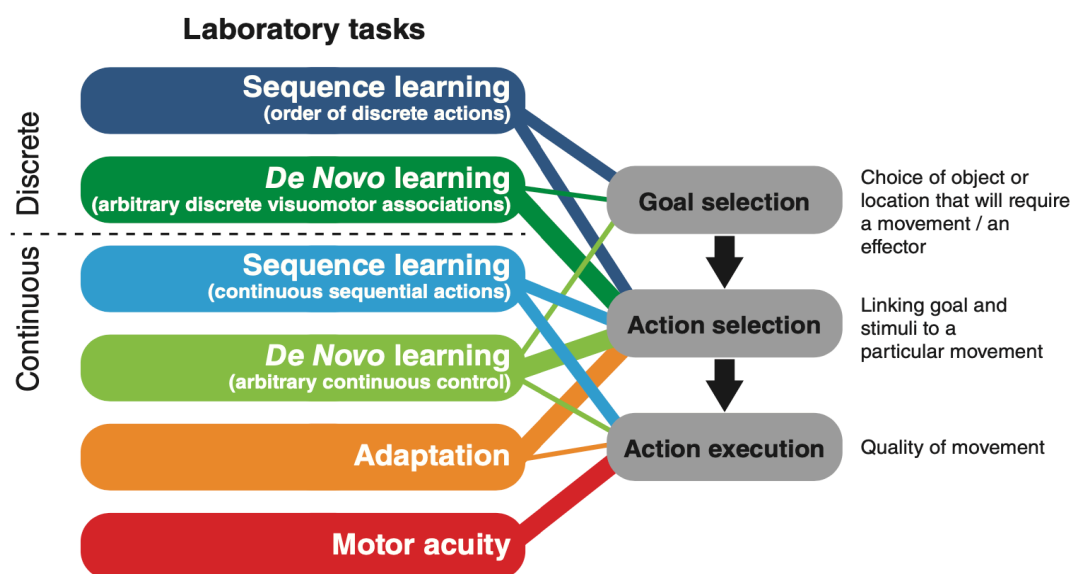
Tyto dva aspekty motorického učení jsou důležité samy o sobě a pravděpodobně sdílí překrývající se nervové obvody (Krakauer et al. 2019).

Jednodušší definice motorického učení jsou například: Motorické učení je soubor procesů spojených s praxí nebo zkušeností vedoucí k relativně trvalým změnám ve schopnosti kvalifikovaného výkonu (Biotteau et al. 2016a). Jiná definice definuje motorické učení jako vytvoření vnitřního modelu, který představuje přesnou shodu mezi vnímanými senzoryckými a motorickými informacemi. Během rané fáze motorického učení jsou pohyby nekvalifikované, vysoce závislé na zpětné vazbě a vyžadují velké nároky na pozornost. S praxí se přesnost a rychlost akcí zvyšuje, zatímco zpracování zpětné vazby se stává méně důležité (Halsband a Lange 2006).

Učení motorických dovedností zahrnuje dva odlišné procesy učení, kterými si lze osvojit motorické dovednosti. Jedná se o explicitní a implicitní učení. Implicitní učení odkazuje na učení bez vědomých znalostí a zákonitostí o dané dovednosti. Je relativně nezávislé na věku a IQ a probíhá v nepřítomnosti kognitivní fáze a závislosti na pracovní paměti. Jasným příkladem může být vývoj kojenců. Explicitní učení odkazuje na učení, při kterém učenci mají explicitní znalosti k vytvoření motorické dovednosti. Jasně se popisuje daná dovednost, cíle a po celou dobu činnosti se nabízí jednoznačná vysvětlení. Explicitní učení naopak koreluje s věkem, IQ a je v něm obsažena kognitivní fáze učení. Ačkoli se zdá, že tyto dva procesy probíhají v různých fázích učení a různých učebních situacích, nedávno se ukázalo, že se se procesy překrývají (Biotteau et al. 2016a; Jongbloed-Pereboom et al. 2012).

Motorické učení je charakterizováno dvěma fázemi (pomalou a rychlou), které souvisí s dřívějšími představami z roku 1968 o kognitivních, asociativních a konsolidačních fázích učení. Kognitivní fáze, ve které se jedinec snaží porozumět dovednosti, vytváří nové senzomotorické asociace a objevuje prvotní strategie úlohy. Tato fáze vyžaduje vysokou úroveň kognitivní aktivity, pozornosti a pracovní paměti. Kognitivní činnost je nezbytná pro zpracování přichozích senzoryckých, vizuálních, prostorových a kinestetických informací a pro produkci vhodného motorického výstupu. S praxí a opakováním nastává

druhá fáze asociativní, ve které se dále zpřesňuje zvolená strategie pro získanou dovednost. Závislost na kognitivní aktivitě se zmenšuje a zvyšuje se rychlost provádění činnosti. Ve třetí fázi autonomní se kognitivní kontrola zmenšuje a dovednost se zautomatizuje. Tyto tři fáze nejsou zcela odlišné a jedna přechází postupně do druhé (Fitts a Posner 1968). V rámci první fáze (rychlé učení) lze během jediného tréninku pozorovat výrazné zlepšení výkonu. Během druhé fáze (pomalé učení) lze pozorovat konsolidaci a poté stabilizaci výkonnostních pokroků během několika tréninků, dokud není dosaženo automatizace. Jakmile je motorická dovednost jednou naučena, lze ji poté snadno vybavit a provádět přiměřeně dobře, bez únavy a vědomé kontroly. Poté je možný přenos dovednosti do nové komplexní situace (př. míčové hry) (Seidler 2010). Zpětná vazba se zdá být zásadním prvkem úspěchu v obou fázích učení. Vztahuje se k informacím, které jedinec dostává při provádění pohybového úkolu nebo po dokončení pohybu. Jedná se o informace o pohybu získané interpretací smyslových vjemů (vnitřní) a vnější informace poskytované během pohybu nebo po něm (vnější nebo rozšířená zpětná vazba). Během procesu učení se mění rovnováha mechanismů založených na zpětné vazbě a dopředných mechanismů, které usnadňují rychlost, flexibilitu a adaptabilitu díky prediktivního řízení (Wilson et al. 2013).



Obrázek 7: Kategorie motorického učení a jejich vztah: výběr cíle, výběr programu/akce, provedení (Krakauer et al. 2019). Být zručný v motorickém úkolu vyžaduje efektivní výběr cíle (př. kam se přesunout), efektivní výběr motorického programu/akce (jaký pohyb může dosáhnout zvoleného cíle) a přesné precizní provedení této akce. Zlepšení v kterékoli fázi této cesty lze popsat jako motorické učení. Různé úkoly motorického učení kladou důraz na zlepšení v různých fázích.

Uvedené kategorie (motorická adaptace, sekvenční učení, de novo učení a motorická ostrost) se pravděpodobně během motorického učení překrývají, ale je možné je jednotlivě implementovat do určité fáze na cestě motorického učení. Adaptaci lze považovat za



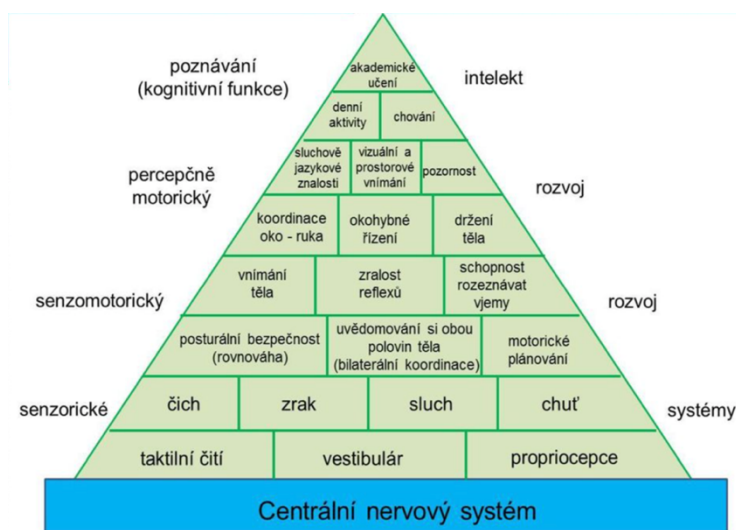
rekalibraci motorických programů na změnu prostředí a více se u tohoto vlivu zapojuje mozeček. Sekvenční úlohy lze v praxi vidět u moha činností, jako je šití, hraní na hudební nástroj, psaní, jízda na kole, pohybové stereotypy při sportu, aj. Tedy schopnost vybírat a provádět dílčí motorické programy, které vyžadují určitou posloupnost a precizní kontrolu. Tuto schopnost v motorickém učení reprezentují BG s přidruženou motorickou kůrou. Avšak takto popsané sekvenční úlohy a jejich učení nelze striktně vnímat. Jsou součástí dříve vnímaných paradigmat o motorickém učení, které byly vztaženy pouze na sekvenční učení a motorickou adaptaci, ukazuje se však, že tato představa je milná (viz kapitola 1.4.3). Mnoho komplexních dovedností, jako je jízda na kole, nelze sestavit z již existujících dílčích dovedností a vyžadují sestavení nového „ovladače“. Proto se popisuje tzv. de novo učení, které se vysvětluje jako úprava stávajícího motorického vzoru na vliv prostředí s výběrem vhodné akční reakce. Což se již považuje za získání nové dovednosti, které se cvičením automatizuje, proto de novo učení. Důležité je, že tato nová situace představuje velmi odlišnou výzvu k získávání dovedností přepracováním existující dovednosti, například naučit se používat tenisovou raketu, když již umíme používat squashovou raketu. Další z nověji uvažovaných kategorií oproti starším paradigmatům je zlepšení motorické „ostrosti“, tedy zvýšení rychlosti a přesnosti provedení vybrané akce závislé na opakováním pohybu. Motorická ostrost je doprovázena změnami v primární a premotorické kůře i mozečku. Tyto formy učení byly relativně méně studovány a jejich základ je méně zřejmý (Krakauer et al. 2019).

Pro zlepšení dané schopnosti hraje nespornou roli vysoká plasticita CNS, příznivé morfologické a somatické možnosti, vysoká pohybová aktivita, rozvíjející se intelekt, psychické i sociální podmínky. Nezastupitelně důležitá je i přítomnost geneticky daných individuálních předpokladů (Véle in Kohoutek et al. 2005, s. 46). Mimo vnitřní faktory má na efektivitu motorického učení také vliv druh a způsob osvojování. Mezi proměnné patří například blokový/kontinuální trénink, nahodilé/organizované cvičení, různá délka trvání, drilová/herní forma, motivující/neutrální prostředí, přímý/nepřímý nácvik. Do procesu (senzo)motorického učení zasahují také deklarativní (vědět, jak to dělat) a procedurální (vědět, co dělat) procesy. Osvojování pohybových dovedností je také neoddelitelně spjaté s kognitivními, percepčními nebo lingvistickými dovednostmi a zároveň se do něj promítají předešlé zkušenosti s učebním procesem (Schlegel et al. 2021).

### 1.4.1 Senzorický pohled na motorické učení u předčasně narozených dětí

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.1.2, více než periferní poškození jednotlivých smyslů se zdá být deficitní zpracování těchto informací poškozeným CNS vedoucí k poruše sensorického zpracování. To také souvisí s brzkým mimoděložním vývojem a ranými zkušenostmi vedoucím ke změnám v oblastech sensorické integrace CNS, což následně vede k deficitům neurovývoje. Výsledkem je 50% výskyt poruch sensorické integrace u předčasně narozených dětí. Porušená sensorika a senzitivita je nedílně spjatá s negativním motorickým vývojem (De Paula Machado et al. 2019; Ryckman et al. 2017). Senzitivní dráhy (hmat, bolest, propiocepce (polohocit, pohybocit)) se sbíhají v talamu a pokračují do senzitivní mozkové kůry. Kolaterály vedou do mozečku, retikulární formace, k jádrům mozkového kmene a limbickému systému. Sensorické dráhy putují do talamu (krom čichové, která vede přímo do mozkové kůry), odkud poté do příslušné korové oblasti (Hudák a Kachlík 2017, s. 450–467). Většina těchto oblastí CNS zpracovávající senzitivní a sensorické podněty je součástí encefalopatie nedonošených, jako komplexního amalgámu primární destruktivní poruchy a sekundárních poruch zrání a trofiky spojených s deficitní konektivitou (Volpe 2009b; 2009a).

Z předešlého odstavce tedy plyne, že předčasně narozené děti mají příjem a zpracování sensorických a senzitivních informací více či méně negativně modifikovaný. Na základě zpracování těchto informací je však vytvářena adaptační odpověď (akce nebo myšlenka) na konkrétní situaci. Adaptační odpovědi mají zásadní vliv na kvalitu učení a chování jedince. S tímto principem pracuje přístup sensorické integrace dle Ayres, která jej pokládá za základ pro budoucí optimální vývoj „vnitřních smyslů“ (propriocepce, vestibulární aparát a taktilní čítí).



Obrázek 8: Pyramida učení (Williams and Shellenberger 1996).

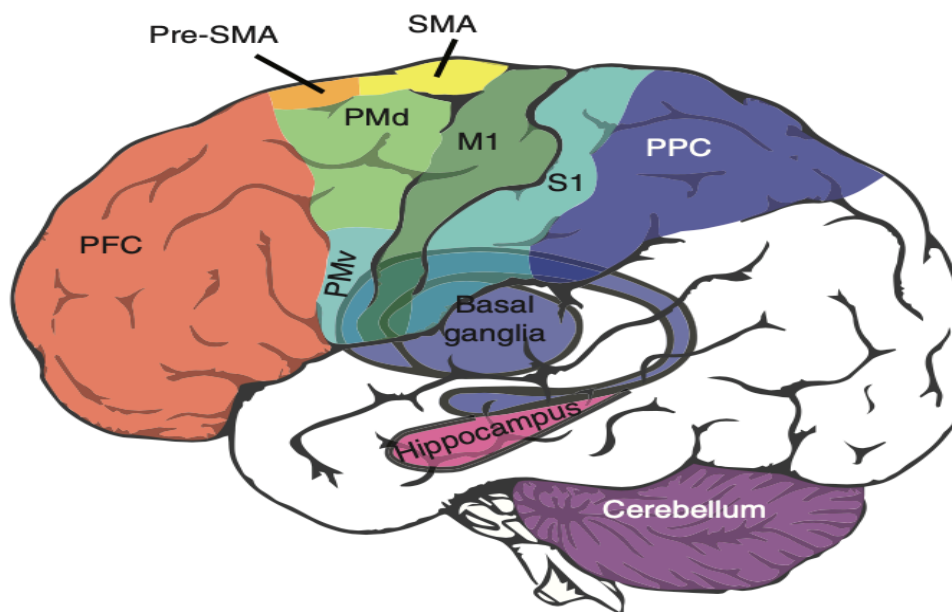
Taktilní systém je v průběhu vývoje spojen s emoční stabilitou, ovlivňuje kvalitu motoriky (schopnost manipulace s předmětem), ADL nebo sociální interakci. U předčasně narozených dětí je tento systém zvýšeně dráždivý nebo naopak sníženě reaktivní. Důsledkem může být dyspraxie, obtíže v procesu motorického plánování nebo dysfunkce jemné i hrubé motoriky. V oblasti hry se dítě bude vyhýbat určitým předmětům a strukturám nebo je naopak bude nadměrně vyhledávat, to má za následek obtíže v pozornosti a také později v soběstačnosti. Zvýšená reaktivita může mít i vliv na učení se chůze neoptimálním došlapem nohy.

Vestibulární systém ideálně přináší stabilitu, a to jak fyzickou v určitých pozicích, tak emoční. Schopnost ovládnout rovnováhu napomáhá k pocitu bezpečí a sebedůvěry, což vede k míře životní aktivity a objevování. U předčasně narozených dětí často chybí vestibulární stimulace z posledních měsíců v děloze, která naruší rozvoj rovnováhy jak ve smyslu fyzickém, tak emočním. Po narození postupně dochází ke spolupráci zraku, hmatu, propiocepce s vestibulárním systémem, z které plyne uvědomování si těla v prostoru, pohybu vůči gravitaci, bilaterální dovednosti a prostorová orientace. Když je určitým způsobem tato spolupráce deficitní, pojí se to u dětí s poruchami učení, pozornosti, problémy řeči i emočními problémy.

Propriocepce je v doslovném překladu cítění vlastního těla. Když CNS vysílá nesprávné signály do těla, projevuje se to nedostatečnou kontrolou nad vlastním tělem, v poruchách pohybu i řeči. CNS se v průběhu pohybu snaží tento pohyb napravit, ale přijímá již zkreslené signály, tudíž nelze aby zpětně vysílal správné. Propriocepce z hlediska motorického učení napomáhá budovat tělesné schéma, motorickému plánování a sebekontrolu. Předčasně narozené děti se díky deficitům v propiocepci jeví jako neobratné, mají problém s koordinací, plynulostí pohybu, změněné svalové napětí, při činnostech využívají nepřiměřenou sílu. Kompenzačně můžou tento nedostatek kompenzovat ostatními smysly nebo jinými pohybovými strategiemi (Haškovcová in Marková a Chvílová-Weberová 2020, s. 409–420).

#### **1.4.2 Zapojení jednotlivých oblastí CNS**

Je důležité si uvědomit, že pro fyziologické motorické učení je zapotřebí optimální integrace níže popsaných oblastí CNS, které se jej účastní. Jak již bylo detailně popsáno v kapitole Poranění CNS, předčasně narozené děti vykazují v mnoha těchto oblastech primární nebo sekundárně dysmaturační změny, čímž je nepochybně proces motorického učení ovlivněn.



Obrázek 9: **Oblasti mozku zapojené do motorického učení (Krakauer 2019).** Vliv jednotlivých částí CNS na motorické učení bude diskutován v následujícím textu. Vysvětlivky ke zkratkám: PFC (červená): prefrontální kůra, SMA (žlutá): suplementární motorická oblast, pre-SMA (oranžová): presuplementární motorická oblast, PMd (světle zelená): dorzální premotorická kůra, PMv (azurová): ventrální premotorická kůra, M1 (tmavě zelená): primární motorická kůra, S1 (azurová): primární somatosenzorická kůra, PPC (modrá): zadní parietální kůra, hippocampus (růžový), mozeček (fialový), bazální ganglia (modrá)

### Prefrontální kůra

Aktivace prefrontálních oblastí je běžně hlášena během počátečních fází explicitního motorického učení, což je v souladu s jejich zapojení do rozhodování, výběru pohybů a zpracování pozornosti. Zejména dorzolaterální frontální kortex zjevně hraje specifickou roli v učení díky senzomotorické asociaci a pracovní paměti. Kritická role prefrontálního kortexu v počáteční fázi motorického učení je pravděpodobně způsobena učením se spojení mezi vizuálními a motorickými příkazy podle libovolných pravidel. Prefrontální kortex je dočasné úložiště libovolných senzomotorických asociací pro použití v blízké budoucnosti (Halsband a Lange 2006). Krakauer podporuje tuto hypotézu a vyzdvihuje především zapojení prefrontální kůry během přípravného období motorického učení, kdy současně odráží všechny budoucí sekvence, které budou následně provedeny. Do prefrontálních oblastí se hojně promítá presuplementární motorická oblast, což odpovídá přípravné fázi motorického učení (Krakauer et al. 2019).

Jedinci s vyšší aktivací ve frontálních oblastech vykazují lepší kognitivní zpracování, což umožňuje efektivněji zvládat náročnější úkoly skládající se například ze dvou činností. Byly pozorovány signifikantní rozdíly především v aktivitě dorzolaterální frontální kůry mezi dvěma skupinami během plnění úkolu skládající se ze dvou činností, přičemž skupina dětí bez deficitu vykazovala vyšší aktivaci ve srovnání se skupinou dětí s DCD. U jedinců

s DCD to může odrážet snížení kognitivní kapacity ovlivňující interoceptivní vstup během učení a plnění úkolů (Al-Yahya et al. 2023).

### **Presuplementární motorická oblast (pre-SMA)**

Nachází se v přední oblasti SMA. Na rozdíl od vlastního SMA se pre-SMA primárně promítá do prefrontálních oblastí než zpět do primární motorické kůry nebo do míchy. Pre-SMA má tendenci být neaktivnější během prvotní fáze explicitního učení při prvotní reakci před novým pohybem, ale je méně aktivní, jakmile se pohyb již naučí. Účastní se tak prvotního plánování pohybu v reakci na podnět a je silně propojena se strukturami BG. Inaktivace pre-SMA způsobuje zvýšené chyby při provádění nových pohybů, ale nemá žádný dopad na provádění již naučených pohybů oproti SMA, která je aktivní během provádění již naučených pohybů (Halsband a Lange 2006; Krakauer et al. 2019).

### **Suplementární motorická oblast (SMA)**

Tato oblast hraje zásadní roly v činnostech se sekvenčním charakterem, které vyžadují přesné načasování. Aktivace SMA je ve všech fázích motorického učení a s opakováním pohybu se zvyšuje, jak v implicitním, tak v explicitním učení. SMA stejně jako ostatní premotorické a suplementární motorické oblasti je zapojena do přípravy pohybu. Konkrétně SMA je silně propojena s thalamem (Halsband a Lange 2006; Krakauer et al. 2019). Silné poruchy reprodukce rytmických pohybů byly dokumentovány u pacientů s poškozením v SMA (Halsband a Lange 2006).

### **Premotorická kůra**

Aktivace v premotorické kůře je výhradně během raných fází učení a také úzce souvisí s prostorovým zpracováním během raného motorického učení. Zvýšení aktivity v těchto oblastech souvisící s učením bylo pozorováno u úkolů, které vyžadují interakci s prostorem, jako je sledování pohybu, vizuálně vedené úkoly při napodobování, rotační napodobování a také úkoly kreslení a psaní. Premotorické oblasti hrají kritickou roli v senzorickém podmíněném motorickém učení a je stěžejní pro smyslové navádění pohybu v motorickém učení. Navíc přibývá důkazů o tom, že ventrální premotorická kůra obsahuje takzvané „zrcadlové neurony“, které se projevují při napodobování pohybu. Je zajímavé, že stejné nervové struktury se také zdály být aktivní, když má někdo jiný napodobovat stejný pohyb a dotyčný tento počín sleduje (Halsband a Lange 2006).

Pacienti trpící premotorickými lézemi nejsou schopni spojit senzorické podněty s dříve naučenými pohyby. V případech, kdy je soubor vizuálních podnětů spojen s libovolným gestem, pacienti se nejsou schopni naučit tuto asociaci, přestože jsou schopni každé

jednotlivé gesto provést. Zdá se tedy, že premotorická kůra je nezbytná pro učení čistých vizuomotorických asociací a stejně tak vizuálně prostorových asociací, ale ty se lze naučit i nezávisle na premotorické kůře (Krakauer et al. 2019; Halsband a Lange 2006).

### **Parietální kůra**

Přední dolní parietální kůra a horní zadní kůra mají odlišné funkce. Zatímco přední dolní parietální kůra je aktivní během počátku motorického učení díky integraci všech sensorických informací z těla a zpracování zpětné vazby. Z konkrétních modalit parietální oblasti výlučně pravé hemisféry integrují například prostorovou orientaci v raných fázích motorického učení. Oproti tomu zadní horní parietální kůra je aktivní v pozdějších fázích motorického učení. Podílí se především na ukládání (konsolidaci) získané dovednosti. Aktivace v této části parietální kůry může nastat až několik hodin po aktivitě, kdy se naučená dovednost ukládá k uchování.

S lézemi parietální kůry souvisí i syndrom apraxie neboli DCD. Pacienti s parietální apraxií vykazují nejvýraznější poruchy v činnostech učení, které se vztahují k jejich vlastnímu tělu (somatognozie) (Halsband a Lange 2006). Bylo zjištěno, že narušení zadního parietálního kortexu nemá žádný vliv na ranou fázi adaptace, ale místo toho vedlo k významnému snížení úrovně adaptace již dosažené (Krakauer et al. 2019).

### **Mozeček**

Fyziologicky mozeček řídí skutečně prováděný pohyb zpětnou vazbou díky sensorické integraci pomocí nejen propioceptivních a vizuálních informací (Halsband a Lange 2006). Avšak mozeček také reprezentuje dopředný model řízení motoriky a má podíl na plánování a koordinaci pohybů. Na základě těchto informací pak generuje nebo koriguje motorický vzor v průběhu pohybu, který je v podobě signálů odeslán do kůry k provedení. Na podporu této myšlenky se zdá, že cerebelární jádra mohou transformovat kinematickou předpověď na motorický příkaz (Krakauer et al. 2019). Stejně tak detekce a korekce chyb během pohybu je podstatnou rolí mozečku v řízení motoriky. Tuto korekční roli mají za úkol neocerebelární struktury (včetně hemisfér, vermis a jader).

Silná aktivace v cerebelárních oblastech byla konzistentně uváděna v počátečních fázích motorického učení, a to díky vysoké závislosti na zpracování zpětné vazby v této fázi učení. Bylo to zjištěno díky vysoké aktivitě mozečku při zařazení nové vizuomotorické situace (součást smyslové integrace), kdy se zvýraznila jeho role při opravování chyb pohybu. Konkrétně se jednalo o největší aktivitu v levé mozečkové hemisféře, které tedy lze přisoudit hlavní roli během počátečního motorického učení (Halsband a Lange 2006). Po naučení se určité dovednosti je třeba si své dovednosti udržet

ve stále se měnícím prostředí (motorická adaptace), což je v motorickém učení zásadní. I zde hraje kritickou úlohu mozeček. Ačkoli je korekce pohybového automatismu podporující adaptaci závislá na mozečku, ve většině případů se také zapojují další mechanismy učení, jako jsou explicitní kognitivní strategie (Krakauer et al. 2019).

Aktivace v mozečku zůstává i po naučení se motorické dovednosti, což naznačuje roli v ukládání získaných dovedností, konkrétně v pravém nucleus dentatus. Toto jádro a pravá hemisféra mozečku jsou struktury, které se podílí na ukládání získaných dovedností a také ukazují na roli mozečku při řízení rychlosti pohybu (Halsband a Lange 2006).

Zobrazovací studie zjistily, že vyšší cerebelární aktivita koreluje s přítomností chyb, které mohou vést k adaptaci oproti pokusů bez chyby. Pacienti s cerebelární degenerací vykazují omezené motorické učení při pokusech bez chyby, kdy dostávají chybové signály z mozečku. Dlouhodobá teorie cerebelárního učení popisuje silné výboje ze šplhavého vlákna nesoucí informace o chybě nezbytné k aktualizaci vnitřního modelu, který je zakódován v synaptickém spojení vláken. Pacient bez mozečku není schopen prediktivního řízení pohybu. Konkrétně bylo za úkol chytit padající míč do koše a pacient bez mozečku nebyl schopen změnit motorický vzor chytání tak, aby míč zůstal v koši po chycení. Je však zajímavé, že u pacientů s degenerací mozečku zůstává prediktivní řízení nedotčené. Vykazují tak snížené implicitní učení k přizpůsobení se změněné situaci. Proto k učení u cerebelárních pacientů pravděpodobně dochází prostřednictvím jiného mechanismu učení. Tyto výsledky společně naznačují, že i když predikce dopředného modelu může být užitečná pro počáteční učení, není vždy nezbytná pro prediktivní řízení zejména u dobře nacvičených pohybů (Krakauer et al. 2019).

Během motorické adaptace, která zahrnuje modifikaci již naučených motorických vzorů v reakci na aktuální změny situace byl zjištěn negativní vliv mozečku na motorické učení u dětí narozených předčasně s porodní hmotností <1500 g, které vykazovaly atrofii mozečku. Motorická akce je modifikována aktualizací vnitřních modelů pohybu na základě vysílaného chybového signálu z cerebella, což narušuje motorického učení. Zdá se ale, že jsou děti tyto chyby schopné rozpoznat a upravit svou vnitřní neurální mapu. To může naznačovat zpomalení procesu motorického učení u těchto dětí (Zwicker et al. 2009).

### **Primární motorická kůra (M1)**

Starší studie naznačují, že M1 má roli při motorickém učení jednak v průběhu explicitního motorického učení závislém na rychlosti a také při implicitním učení při trénování úkolů v sekvencích, kdy byla tato dovednost trénována po dobu čtyř týdnů. Výsledkem bylo rozšíření aktivovaných oblastí v M1 značící pomalu se vyvíjející,

dlouhodobou reorganizaci dospělé primární motorické kůry, která může být základem osvojení a udržení motorických dovedností (Karni et al. 1995). Novější studie Yokoi et al přiznali sice M1 její nezastupitelnost pro vytváření pohybu v učení se sekvence. Tato nezastupitelnost je logická a vychází ze samotné funkce M1, což je zodpovědnost za řízení volního pohybu. Do M1 se sbíhají signály z ostatních částí mozku potřebné k provedení pohybu a po sléze dá M1 signál k provedení. Avšak role v motorickém učení sekvence jako takové (např. při hře na klavír) je již méně jasná. Pomocí analýzy fMRI prokazují aktivitu M1 v jednotlivých pohybech prstů, zatímco v učení se sekvence nikoli. Zásadnější roli v tomto typu učení přisuzují spíše premotorické oblasti (Yokoi et al. 2018). Shrnutí role M1 v motorickém učení je převážně na úrovni provádění pohybu, obecně hraje spíše podřízenou roli. Stále se však potvrzuje role M1 na udržení naučených pohybů prostřednictvím jejich opakovaného provádění. Zejména několik modelů motorického učení považuje svalové synergie za nástroj snížení variability pohybu v pozdním učení, aby bylo možné zlepšit úroveň výkonu. M1 tedy může hrát roli v motorickém učení prostřednictvím mechanismů při řízení jednotlivých pohybů (Hardwick et al. 2013).

Z hlediska patologie této oblasti u dětí s DCD byla prokázána pouze změněná funkční konektivita mezi M1 a oblastmi, které jsou zapojené do motorického fungování a senzomotorického zpracování informací (Irie et al. 2021).

### **Primární somatosenzorická kůra (S1)**

Přesná senzorická zpětná vazba zahrnuje důležitou složku dopředného modelovacího procesu, o kterém se předpokládá, že je základem motorického učení prostřednictvím korekce chyb. Zachování této funkce má na starost S1 (v parietálním laloku mozkové kůry), která zpracovává a interpretuje senzorické informace přicházející z kůže, svalů, kloubů. S1 tak přispívá k motorickému učení zpracováním senzorické zpětné informace relevantní pro mechanismy učení prostřednictvím detekce a opravy chyb.

Na zvířecích modelech bylo prokázáno, že somatosenzorické léze zhoršují získávání nových motorických dovedností. Studie u lidí prokázaly, že narušení normální funkce S1 může interferovat s motorickým učением (Hardwick et al. 2013). U dětí s DCD byly zkoumány tři hlavní dráhy bílé hmoty (corpus callosum – spojení obou hemisfér, cingulum – zpracování senzorické zpětné vazby a horní podélný fasciculus – role v integraci senzorických, motorických a kognitivních funkcí), které jsou základem S1. Zároveň byli nalezeny mikrostrukturální abnormality v těchto traktech bílé hmoty, které byly jedinečné pro skupinu dětí s DCD. Tyto změny jsou funkčně a regionálně odlišné a mohly by odrážet neurobiologický základ pro poruchy motoriky a pozornosti u dětí (Langevin et al. 2014).



U dětí s DCD bylo také zaznamenáno odlišné propojení SM1 s bazálními ganglii a mozečkem (Irie et al. 2021).

### **Bazální ganglia (BG)**

Bazální ganglia, a zejména striatum (caudatum a putamen), hrají zásadní roli při plánování, učení a provádění nově učeného motorického vzorce. BG se skládají ze série subkortikálních jader, která jsou organizována do senzomotorických, asociativních a limbických oblastí na základě jejich anatomické konektivity a funkcí. Vstupní jádra přijímají hlavní aferentní spojení z mozkové kůry, středního mozku a thalamu. Výstupní jádra posílají zpět informace (př. motorický vzor pro danou dovednost) do frontálních korových oblastí přes talamická jádra. Důkazy na podporu role BG v učení motorických dovedností pochází z poškození u pacientů s dysfunkcí striata (př. Parkinsonský syndrom nebo Huntingtonova choroba), kteří obecně vykazují deficit v získávání nových motorických sekvencí (Doyon et al. 2009).

Na tomto místě je nutné vysvětlit dynamickou plasticitu mozku ve striatu a cerebellu, stejně jako funkční interakce mezi těmito dvěma kortiko-subkortikálními systémy. Ta byla hlášena v závislosti na fázi procesu učení, povaze (tj. nové versus naučené motorické chování), plánované akci a typu získané dovednosti (MSL – motorické sekvenční učení, MA – motorická adaptace). Za motorické kortikální oblasti v síti těchto systému se považují především oblasti prefrontální a parietální kůry jako: premotorické oblasti, SMA, pre-SMA, přední cingulum a také hippocampus.

Striatum ve spolupráci s kortikálními motorickými oblastmi hraje kritickou roli při tvorbě a „škátulkování“ motorických programů během implicitního sekvenčního učení. K této funkci sekvenčního učení však neoddělitelně patří i mozeček. Během provádění dané dovednosti při prvotním učení probíhají dynamické funkční interakce mezi striatem, mozečkem a jejich kortikálními oblastmi (kortiko-striální a kortiko-cerebelární systém), dokud se nedosáhne maximálního výkonu. Aktivace kortiko-cerebelárního systému je největší od počátku učení a postupně klesá až do bodu, kdy jsou sekvenční pohyby dobře naučeny. Striatum je aktivováno jak z počátku učení (zesílení senzomotorických asociací vytvořených v prefrontálním kortexu, který je úzce propojen s BG), tak i po dosažení maximálního výkonu v této rané fázi učení (během prvního tréninku). Po určité automatizaci již mozeček není nezbytný a převládá výhradně kortiko-striální systém, který je tak zásadní pro dlouhodobé ukládání a udržení dobře naučených sekvencí pohybů a zároveň jejich zapojení do reálného života. Před provedením sekvenční motorické dovednosti (již po naučení) je třeba přesně plánovat a časovat jednotlivé pohybové prvky

do uspořádané sekvence. Taková schopnost je klíčová, protože umožňuje předvídat, vybírat pohyby, specifikovat jejich řazení a kontrolovat pohyb v reálném čase. To vše má na starost kortiko-striatální systém.

Učení motorických sekvencí zpočátku závisí na jejich opakování, ale vyvíjí se také po ukončení tréninku. Během této latentní fáze se paměť motorického zážitku transformuje do trvalejšího stavu, což je proces zvaný „konsolidace paměti“. V tomto procesu hraje důležitou roli spánek, kdy dochází k funkční interakci mezi striatem a hipokampem. Pokud se však jedná o motorické dovednosti vyžadující velké změny v senzomotorickém směru, konsolidaci paměťové stopy má na starost více systém kortiko-cerebelární a není příliš závislý na spánku. Po zautomatizování dané dovednosti v motorickém repertoáru, jednotlivé motorické oblasti pak fungují efektivněji a vyžadují méně energie. (Doyon et al. 2009; Halsband a Lange 2006)

Za učení prostřednictvím motorické adaptace (MA) je primárně zodpovědný mozeček se svým kortiko-cerebelárním systémem. Je zapojen v kódování, konsolidaci a dlouhodobém ukládání adaptovaných pohybů. Podpora tohoto tvrzení pochází z klinických populačních studií, které prokázaly, že zatímco pacienti s Parkinsonovou nebo Huntingtonovou chorobou vykazují intaktní výkon v měření MA, ti s poškozením mozečku mají deficit. Funkční interakce mezi dvěma subkortiko-kortikálními systémy při provádění tohoto typu MA úkolu odhalily vzorec nálezů opačný k tomu popsanému výše u MSL. Plasticita závislá na zkušenostech během MA byla nejprve charakterizována přechodným celkovým zvýšením konektivity v rámci rozsáhlé sítě cerebrálních struktur zahrnujících oba systémy. Po rané fázi učení, jakmile je úkol dobře naučen, zůstává zapojen pouze systém kortiko-cerebelární. Mozeček je tedy dostatečný k udržení této dovednosti, jakmile je dobře naučena. Po několikadenních opakování (24) jedinci dosáhli určité úrovně automatizace dané motorické dovednosti, což korelovalo se souvisící aktivitou kortiko-cerebelárního systému. Specificky byla aktivita v předních cerebelárních oblastech spojena s rychlostí jedince při provádění dovednosti, zatímco zadní oblasti souvisely s přesností, se kterými byly pohyby prováděny.

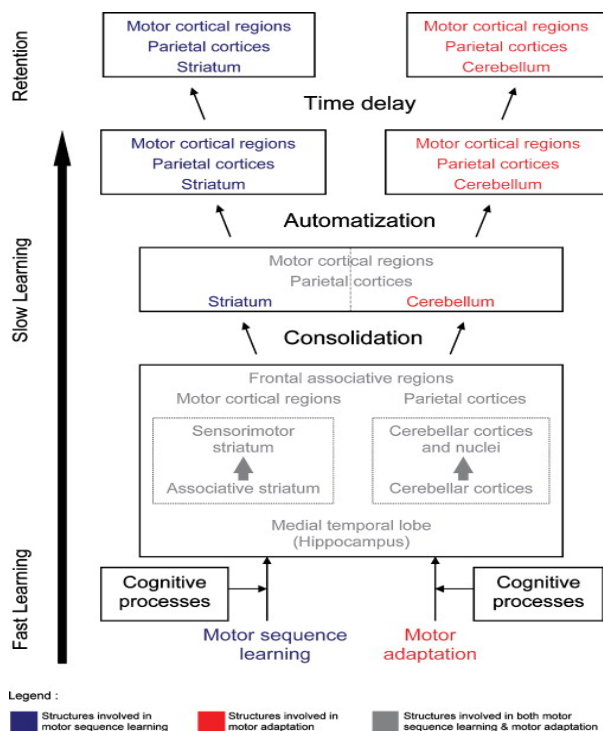
Po konsolidaci v závislosti na typu učení se svými predisponovanými systémy, jak bylo popsáno výše, jedinec dosáhl maximálního výkonu a jeho výkon se stal automatickým. Neurální reprezentace nové motorické dovednosti je pak distribuována v síti struktur kortiko-cerebelárního nebo kortiko-striatálního systému. Když je znovu vyvoláno dobře naučené motorické chování, dokonce i po dlouhé prodlevě bez praxe, model předpokládá,

že jsou znovu aktivovány stejné kortiko-subkortikální systémy (Doyon et al. 2009; Krakauer et al. 2019).

## Hippocampus

Hipokampus umístěný v temporální laloku je součástí limbického systému a hraje zásadní roli v mnoha aspektech kognitivních funkcí, včetně deklarativní paměti a prostorové orientace. Dle studií se ale ukazuje, že je hipokampus také zapojen v procesu implicitního sekvenčního učení, a to konkrétně v raných fázích učení a jeho aktivace v průběhu učení klesá. V raných fázích dochází k získávání znalostí o fragmentech pohybové sekvence, tedy více deklarace, která postupem času přechází v automatizaci s čímž souvisí pokles aktivity hipokampu. Krakauer et al doplňují, že je hipokampus tím více zapojen, čím daná učená dovednost obsahuje více asociací, které se musí v průběhu učení řešit (deklarativní vlastnost hipokampu). Zdá se však, že jeho role je spíše podpůrná za mozečkem, BG a jejich kortikálními systémy. Především je hipokampus aktivní, když je učení spojeno s pamětí a prostorovou orientací (Gheysen et al. 2010; Krakauer et al. 2019). Nejdůležitější role hipokampu ve spolupráci se striatem je však v konsolidaci paměťových stop nově naučených sekvencí pohybů ve spánku (Doyon et al. 2009).

### 1.4.3 Zjednodušený model motorického učení a diskuse nad jeho nedostatky



Obrázek 10: Model učení dle (Doyon et al. 2009) popisující cerebrální plasticitu v kortiko-striálním a kortiko-cerebelárním systému v průběhu učení, zjednodušený na MA a MSL typ učení

Role jednotlivých částí CNS i mechanismů tohoto modelu je vysvětlena v textu výše. Doplnění tohoto modelu a tím jeho nedostatků nabízí Krakauer et al. ve funkční disociaci mezi BG a mozečkem. BG se podílí na optimálním výběru a kontrole pohybů, z hlediska potřebného úsilí a odměn spojených s prováděním motorických dovedností. Mozeček je důležitý pro předvídání smyslových důsledků motorických příkazů prostřednictvím vytvoření interních modelů. Motorické učení v kortiko-striatální a kortiko-cerebelární smyčce je vedeno prostřednictvím signálů odměn a chyb. BG jsou kritické pro „zesílení učení“, které by se řídilo signálem odměny zakódovaným v dopaminergních neuronech ze substantia nigra. Je tedy možné, že při aktivaci BG v motorickém učení hrají roli motivační účinky na provedení učené dovednosti. Zatímco mozeček hraje klíčovou roli při „učení pod dohledem“, které by bylo modulováno chybovým signálem zpracovaným ve šplhacích vláknech. Celkově lze říct, že přesný princip motorického učení se všemi konsekvencemi a jeho neurálním podkladem není stoprocentně objasněn a mnohé zůstává nejasné (Doyon et al. 2009; Krakauer et al. 2019).

U předčasně narozených dětí byla nalezena nižší konektivita v kortiko-striatálních a talamo-kortikálních traktách spojujících motorické oblasti s BG a talamem společně s menšími objemy a porušenými neurony v těchto oblastech. Příčinou je dysmaturace prostřednictvím snížené dendritické arborizace (jak bylo diskutováno v kapitole Poranění CNS). Díky funkci těchto traktů se lze domnívat, že mohou mít ovlivněné jak motorické učení, tak inhibici motorických reakcí díky nižší konektivitě, která má příčinu v poškození bílé hmoty (viz kapitoly Poškození bílé hmoty a Bazální ganglia) (Thompson et al. 2020).

#### **1.4.4 Kvantifikace motorického učení**

Motorické učení bylo rozděleno do dvou širokých experimentálních kategorií: sekvenční učení a motorická (senzomotorická nebo percepčně-motorická) adaptace. Pro hodnocení sekvenčního učení je nejvíce široce používaným paradigmatickým úloha sériového reakčního času (SRTT): podněty se zobrazují postupně na různých místech v opakujících se sekvencích a účastníci na každou reagují stisknutím odpovídajícího tlačítka s postupným zlepšováním reakční doby a počtu chyb v čase. Motorická adaptace se týká učení se novým souvislostem mezi zrakem a pohyby rukou a spočívá v úpravě motorického výkonu na vyvolané změny (např. změna prostředí). Měří se tak, že jednotlivci upravují své pohyby, aby se přizpůsobili změnám v sensorickém vstupu nebo motorického výstupu. Cílem adaptace je tedy snížit systematické chyby způsobené poruchou. Ke zkoumání schopnosti motorické adaptace byly použity dvě varianty. Statická

kinematická adaptace, kde je senzorická zpětná vazba pohybů ovlivněna přemísťujícími se předměty a dynamická adaptace, kdy se například očekávaná propriocepce mění během pohybů na cíle (Biotteau et al. 2016a).

Avšak získávání motorických dovedností v reálném světě (př. stát se zkušeným tenistou) může trvat tisíce hodin. Většina výzkumů motorického učení se však zaměřuje na elementárnější formy učení, jako je adaptace pohybů a sekvenční učení. Tento adaptační proces trvá jen minuty, než dosáhne jedinec svého aktuálního maxima. Existují však vůbec společné principy spojující podobně jednoduché formy motorického učení s dosahováním reálných komplexních dovedností? Krakauer et al navrhují, že i když jednoduché učební úkoly nemusí umožnit plně porozumět tomu, jak se složité dovednosti v reálném světě učí, tyto úkoly poskytují základní vhled do složek učení, které jsou pravděpodobně nezbytné, aby bylo možné vysvětlit, jak se působivější dovednosti učí (Krakauer et al. 2019).

#### **1.4.5 Motorické učení u předčasně narozených dětí a u dětí s DCD**

Z klinického hlediska mají děti s DCD potíže s učením a automatizací každodenních pohybových aktivit. Je pro ně charakteristické pomalé motorické učení a také shledávají učení se novým motorickým dovednostem významnou výzvou. Proto se v literatuře prezentuje tato vývojová porucha jako porucha motorického učení. I když tato pojmenování mohou být relevantní, je třeba poznamenat, že snížená schopnost motorického učení je pouze nepřímým předpokladem podle různých vydání diagnostického a statistického manuálu duševních poruch. Biotteau et al. 2016a proto upozorňují na riziko záměny a nepochopení vlastností DCD. Zatímco deficity motorických dovedností u DCD byly dobře zdokumentovány, empirické důkazy o deficitu motorického učení jsou stále neobjasněné. Navzdory formálnímu uznání motorických poruch učení v každodenním životě, velmi málo studií prozkoumalo motorické učení v DCD pomocí úkolů (viz kapitola Kvantifikace motorického učení) a ještě méně z nich prozkoumalo fáze učení motorických dovedností (počáteční trénink, konsolidace a stabilizace, automatizace a/nebo přenos). Přestože jedna studie (Gheysen et al. 2011) uváděla poruchu u dětí s DCD ve srovnání s dětmi bez deficitů avšak pouze v sekvenčním učení (motorická adaptace nebyla deficitní), další studie našly implicitní schopnosti učení u dětí s DCD zachované.

DCD tak neznamená neschopnost naučit se motorické dovednosti. Děti mohou být sice méně výkonné (jejich motorické učení často začíná na nižší úrovni, je neobratné a nepřesné) a pravděpodobně potřebují více času a praxe pro naučení se motorické dovednosti k dosažení uspokojivé motorické úrovně. Schopnost motorického učení ale

mají zachovanou bez ohledu na typ učení nebo jednotlivé fáze motorického učení (Biotteau et al. 2016a).

Při studii zkoumající implicitní i explicitní MSL u předčasně narozených dětí a možné role zrakové pracovní paměti byla popřena podmínka, že pracovní paměť je zapojena pouze v explicitním učení a nikoli v implicitním. Dalším výsledkem studie bylo dosažení srovnatelných výsledků jak v implicitním, tak v explicitním učení v porovnání s dětmi narozenými v termínu. Rozdílná motorická zdatnost, která byla horší u předčasně narozených neovlivnila MSL, zato vizuální pracovní paměť ano. Čemuž odpovídá i předpoklad stejného autora, že předčasně narozené děti budou mít pravděpodobně deficity kapacity pracovní paměti. Děti s lepší zrakovou pracovní pamětí podávaly rychlejší výkony v implicitním i explicitním učení a dělaly menší počet chyb v explicitním. I když implicitní učení je podvědomý proces, vyžaduje také kognitivní zpracování. Při implicitním učení je zapojena dorzolaterální prefrontální kůra, která se rovněž podílí na procesech pracovní paměti. Je ale zároveň zapojena do mnoha procesů, včetně selektivní pozornosti, vizuoprostorového a vizuomotorického zpracování obecně. Které procesy a nervové dráhy jsou zapojeny do implicitního a explicitního motorického učení a jak je zapojena pracovní paměť, není dosud jasné (Jongbloed-Pereboom et al. 2017). I když se předpokládá, že odchylky v motorickém učení jsou zapříčiněny dysfunkcí v parietální a dorzolaterální prefrontální kůře a také v cerebellum (Biotteau et al. 2016a).

Krom různých částí CNS, které zodpovídají za motorické učení je důležité připomenout, že všechny informace jsou vedeny pomocí drah bílé hmoty a jak již bylo rozebráno v kapitole Poranění CNS, tyto trakty jsou u předčasně narozených dětí často deficiční. Synaptická plasticita je základním buněčným mechanismem učení a paměti a nedávný výzkum odhaluje, že se na ní podílí také glie tvořící myelin, oligodendrocyty. OL mohou detekovat aktivitu nervových impulsů a modifikovat tvorbu myelinu podle funkce nervového okruhu a smyslové zkušenosti. Rychlost a synchronizace šíření akčního potenciálu jsou zásadní. Kromě toho se struktura myelinu může během učení měnit pro změnu rychlosti přenosu impulsu. OL tak přispívají k učení a paměti tím, že ovlivňují synaptický přenos, excitabilitu axonů a myelinizací modifikují rychlost vedení impulsů.

Učení a paměť zahrnují kódování, ukládání a vyhledávání informací v nervových okruzích a OL přispívají ke každému z těchto procesů svým vedením. Synapse, které jsou aktivovány současně v synchronizaci jsou posilovány a ty které nejsou synchronizovány ve své aktivitě jsou oslabeny. Tvorba nového myelinu a remodelace zralého myelinu mění zpracování informací a přispívá tak k dlouhodobé paměti.

Vysoká přesnost a stabilita nervového přenosu jsou nezbytné pro funkci neurální sítě, což bylo vždy uznáváno jako primární funkce myelinu. Ale je také nezbytná optimalizace přenosu prostřednictvím komplexních neurálních sítí závislá na zkušenostech. OL ovlivňují kódování, ukládání a vyvolávání informací tím, že modifikují akční potenciál a synaptický přenos. Prostřednictvím modifikací se myelinizace závislá na aktivitě podílí na dlouhodobé paměti, konsolidaci paměti a vybavování si v mnoha typech a fázích učení. Současné důkazy nejlépe podporují zapojení myelinové plasticity do učení, které zahrnuje opakované pokusy a je nejsilněji spojeno s pomalejšími a déletrvajícími účinky na učení a paměť, jako je konsolidace paměti a vybavování. To je v souladu s tím, že myelinizace je pomalejší děj, na rozdíl od synaptické plasticity, která funguje v rámci milisekund (Munyeshyaka a Fields 2022).

#### **1.4.5.1 Dopad rozdílného motorického učení**

Deficit motorického učení – nedostatek dostatečné praxe? Je zde možný předpoklad horšího motorického učení na základě nedostatečného generování zkušeností nebo deficitem účasti na aktivitách. Děti s DCD si dobře uvědomují své odlišnosti a deficity v motorických dovednostech. Sebevnímání je v tomto ohledu důležitým hybatelem účasti na fyzické aktivitě. Opakující se selhání a potíže s prováděním motorických činností vedou ke ztrátě motivace k fyzické aktivitě. Děti s DCD proto mají tendenci snižovat své motorické vytížení a adaptují se na méně aktivní způsob života, což vede k redukovanému času při účasti na fyzických aktivitách než děti bez DCD. Z této redukce plyne menší příležitost pro zlepšení a vzhledem k tomu, že tyto děti potřebují více času na učení, přináší to navazující konsekvence jako zpoždění v osvojených dovednostech, které jsou nezbytné pro ty navazující (Poulsen et al. 2007). Jejich motorické poruchy pak mohou omezit výkon v činnostech každodenního života, hře, volném čase i akademických dovednostech. Evensen ve své metaanalýze nazývá tyto konsekvence začarovaným kruhem, kdy rozdílná motorická koordinace předčasně narozených dětí je jeho příčinou, na kterou navazuje nižší fyzická aktivita a účast při sportování, nižší přítomnost svalové hmoty a celkové fyzické zdatnosti, která vede k nižšímu sebevědomí a subjektivně vnímaným deficitům v motorických dovednostech (Evensen et al. 2020).

#### **1.4.6 Senzitivní období**

Existuje všeobecně akceptovatelný konsensus o tom, že dětský organismus nereaguje na didaktické podněty v každém věku stejně a v určitém období vývoje reaguje na vnější vlivy intenzivněji než jindy výraznějšími vývojovými změnami. Takové období je

označováno jako senzitivní. Tato časově omezená vyšší pohotovost je specifická jak z hlediska podnětů, tak i z hlediska reakcí. Dokonce se uvádí, že existují i tzv. období kritická, které pokud se nevyužije, příslušného efektu již není možné dosáhnout (Schmidt in Kohoutek et al. 2005, s. 37–38). Za zásadní senzitivní období se považuje věk 7-11 let, u chlapců až 12 let, v tomto období je dosažena většina koordinačních schopností, což jsou obecné prostředky a předpoklady k pozdějším již specifickým motorickým dovednostem (např. hod míče). Proto je období mladšího školního věku 6-12 let považováno za zlatý věk motorického učení a osvojování koordinace, na které navazují jednotlivé motorické činnosti (Hirtz in Kohoutek et al. 2005, s. 21–45). Ve stejné publikaci se však doporučuje tyto schopnosti rozvíjet co možná nejdříve, aby byla vybudována pestrá a bohatá základna pro navazující dovednosti (Winter in Kohoutek et al. 2005, s. 47–48).

Teorii senzitivních období konfrontovali a posuzovali Schlegel et al z hlediska dostupných důkazů pro tento všeobecně uznávaný fakt. Ve své studii našli 27 relevantních zdrojů na základě kterých nelze potvrdit existence senzitivních období pro rozvoj koordinačních schopností. Rezultem je „pouze“ zlepšování, které je vázáno na přirozený vývoj organismu a zrání nervové soustavy. Děti se totiž velmi rychle učí novým dovednostem, ale pravděpodobně proto, že jsou vystavovány těmto podnětům ve svém prostředí, což následně může působit dojmem zvýšené citlivosti. Na důkaz uvádí několik příkladů, kdy se výsledky vymykají teorii senzitivních období. Při hodnocení pohybu segmentů těla a úspěšnosti výdrže na slackline byli dospělí výrazně úspěšnější než 8leté děti, při hodu míčem byl doložen kontinuální pokrok až do 17 let, při házení šípkou nebo frisbee nebyla potvrzena zvýšená citlivost ve věku 6-12 let aj. Ve studiích byla zároveň pozorována vysoká míra učenlivosti u adolescentů a dospělých. Jednoznačná zlepšení v tomto věku oproti období před nebo po byla spíše výjimkou a byl naznačen potenciál adaptace až do období mladé dospělosti (cca do 30 let). Ze studie tedy plyne, že na základě objektivních informací nelze potvrdit teorii senzitivního období, kdy by děti ve věku 6-12 let vykazovaly zvýšený potenciál adaptace oproti ostatním. (Schlegel et al. 2021).

## **1.5 Hodnocení motorických deficitů**

Specifické hodnocení předčasně narozených dětí v dětském věku zohledňující komplexitu deficitů není z literatury a odborných článků patrné. Proto se využívá standartních testovacích metod pro běžnou populaci vzhledem k věku. Jak Marková předestírá, za posledních 20 let je patrný nárůst deficitu motorických funkcí u předčasně narozených dětí s perinatální zátěží a tak začínají spadat pod diagnostická kritéria DCD



(Marková a Chvilová-Weberová 2020, s. 406). S tímto faktem souvisí i výběr testovacích metod. Autoři se shodují, že nejčastěji používaným testem v hodnocení motoriky je hodnotící baterie MABC-2 a poté Bruininks-Oseretsky Test -2 (BOT-2) (Blank et al. 2012; Evensen et al. 2020; de Kieviet et al. 2009; Kobesová a Kolář 2014; Spittle a Orton 2014), mimo tyto nejužívanější testy se dále hojně používají například Bayley scale III nebo Test rozvoje hrubé motoriky – 2 (TGMD-2) (Griffiths et al. 2018). Pro předčasně narozené děti je velmi validní test Zurich Neuromotor Assessment (ZNA) zkoumající motorické schopnosti dětí ve věku 5-18 let zejména ve Švýcarsku. Není však diagnostický pro DCD ani nekoreluje s MABC-2, ale zaměřuje se i na testování soft signs, což je velkou výhodou s ohledem na řešenou problematiku v kapitole Kategorizace motorických obtíží v samostatné kapitole (Blank et al. 2012).

### **1.5.1 Movement Assessment Battery for Children 2nd edition**

MABC byla navržena Hendersonem a Sudgenem v roce 1992 a později byla revidována v roce 2007 na MABC-2. V průběhu času se stala nejznámějším a nejpoužívanějším testem pro identifikaci pohybových obtíží dětí a dospívajících ve věku 3 roky 0 měsíců –16 let 11 měsíců. Test kvantifikuje motorického fungování dětí a dospívajících napříč úkoly jemné a hrubé motoriky včetně možného kvalitativního popisu. Jedná se o standardizovaný test obsahující 24 subtestů rozdělených do 8 činností. Aktivity jsou rozděleny do tří složek: manuální dovednosti, míření a chytání, rovnováha. Účelem testu je vytvoření komplexního obrazu o motorické výkonnosti dítěte. Použití MABC-2 je navrženo v European Guidelines on Coordination Development Disorder jako součást procesu hodnocení v případech podezření na DCD. Evropské směrnice zároveň upozorňují, že problémy s pozorností mohou významně narušovat výkon v MABC-2 (Blank et al. 2012).

Pokud jde o psychometrické vlastnosti testu, z dostupných studií vyplývají následující údaje (hodnoty blíží se k 1 jsou brány jako spolehlivé):

- Validita (platnost), respektive obsahová validita, jestli test měří to, co z jeho podstaty tvrdí, tedy motorické dovednosti u dětí byla v rozmezích 0,76-0,92. Konstrukční validita se zabývá tím, jestli test měří ty motorické dovednosti, které se týkají dětského věku a vývoje s hodnotami 0,65-0,76 u jednotlivých subtestů. Z hlediska validity jsou tyto hodnoty brány jako uspokojivé až vynikající. Je třeba ještě zmínit, že MABC-2 jako jeden ze dvou testů má i prediktivní validitu s hodnotami 0,67-0,88. Což znamená, že výsledek testu může předpovídat budoucí motorický vývoj dítěte, jak uvedli (Griffiths et al. 2018), kteří ve svém přehledu

- porovnávali vlastnosti nástrojů pro posuzování hrubé motoriky. Tuto prediktivní vlastnost potvrdili (Kwok et al. 2019), kteří zjišťovali predikci DCD již ve 3 letech,
- Reliabilita (spolehlivost) se týká konzistence/stability výsledků testu při opakování měření. MABC-2 má v této metrice výborné výsledky a s hodnotou 0,83-0,90 se řadí opět mezi nejlepší testy. Jednotlivé komponenty a jejich reliabilita je od 0,59-0,91 respektive 0,81-0,88 (Najafabadi et al. 2022; Wuang et al. 2012),
  - Specificita MABC-2 značí schopnost testu identifikovat děti bez motorických poruch, čím vyšší hodnota tím vyšší pravděpodobnost správné identifikace dětí bez motorických obtíží. Griffiths et al. 2017 uvádí vysokou hodnotu 93 %. Zatímco Najafabadi et al. 2022 pouze 46 %. Kwok et al. 2019 střední hodnotu 69 %,
  - Senzitivita MABC-2 identifikuje děti s motorickými poruchami, vyšší senzitivita znamená, že test správně identifikuje větší počet dětí s těmito deficitem. Griffiths et al. 2017 uvádí hodnotu 79 %. (Najafabadi et al. 2022; Kwok et al. 2019) uvádí vynikající hodnotu 90 %,
  - Falešná pozitivita a negativita označují dítě s motorickými deficitem i přes to, že je ve skutečnosti zdravé (pozitivita) respektive test nedokáže identifikovat dítě s motorickým deficitem, který ve skutečnosti má (negativita). Kwok et al. 2019 při srovnání výsledků dětí ve 3 a 4,5 letech uvedl hodnotu 97 % pro falešnou negativitu značící spolehlivou identifikaci předčasně narozených dětí k DCD. Ovšem hodnota falešné positivity byla pouze 38 %, což odhaluje častou možnost zařadit zdravé děti do diagnózy DCD. Najafabadi et al. 2022 uvádí pro děti od 4 do 8 let falešnou pozitivitu 69 % a negativitu 81 %,
  - SEM vyjadřuje standartní chybu měření, která byla stanovena na 0,52, což opět podpořilo vysokou spolehlivost testu (Wuang et al. 2012),
  - MDC (minimální detekovatelná změna) a MID (minimální důležitý rozdíl, který vyšetřující i testovaný vnímají jako signifikantní) popsali Wuang et al. 2012 při měření před a po 6 měsíční intervenci. Zjistili, že MDC bylo 1,21 bodu a MID 2,5 bodu. Tyto parametry mohou vyšetřujícímu umožnit rozlišovat mezi skutečnou změnou a změnou způsobenou chybou měření.

Dle výsledku hodnotící baterie MABC-2 spadají testovaní do 3 výkonnostních pásem:

- 1. pásmo – žádné motorické obtíže > 15. percentil,
- 2. pásmo – předpoklad rizika motorických obtíží, 5-15. percentil,
- 3. pásmo – významné motorické obtíže ≤ 5. percentil (Psotta 2014).

Nejběžněji užívanou hranicí pro diagnostiku DCD je právě 3. pásmo, tedy ≤ 5. percentil.

Prevalence DCD u předčasně narozených dětí již byla diskutována v samostatné kapitole Kategorizace motorických obtíží. Je však důležité poznamenat, že hranice 2. pásma tedy <15. percentil s sebou nese ještě větší prevalenci než samotná DCD u těchto dětí. Evensen et al v metaanalýze uvádí velký rozptyl 12-70 % dán metodikou velkého počtu studií (Evensen et al. 2020). Konkrétnější studie uvádí prevalenci 25-50 % respektive 20-40 % (Ferrari et al. 2012; Williams et al. 2010).

Celkově lze potvrdit, že MABC-2 je právem nejběžněji používaným testem hodnotící motoriku dětí pro detekci DCD. V porovnání s ostatními testy má nejlepší psychometrické vlastnosti. Nelze však říct, že by MABC-2 brala v potaz vyšetření soft signs (např. selektivní izolované pohyby, střídavé pohyby, svalové napětí nebo stereognozie) spolu s vyšetřením deficitních schopností, které jsou u předčasně narozených dětí klinicky přítomné jako např. somatognozie, prostorová orientace, síla při provádění úkolů souvisící s relaxací, aj. (Blank et al. 2012; Haškovcová in Marková a Chvilová-Weberová 2020, s. 409–420). Zároveň netestuje klinické důsledky lézí jednotlivých částí CNS, kde obecně děti s DCD, ale i předčasně narozené děti mají deficity. Příkladem můžou být mozečkové funkce a jejich vyšetření taxe nebo diadochokineze (Biotteau et al. 2016b).

## 1.6 Způsoby intervence

Dle dostupných zdrojů neexistuje žádná literatura popisující specifické intervence pro předčasně narozené děti v dětském věku redukující motorický deficit v kontextu komplexního spektra deficitů určující jejich klinický obraz. Výsledkem je v literatuře jejich zařazení do skupinky dětí s DCD, což může být zapříčiněno všeobecně užívaným hodnotícím testem MABC-2, který je první metodou volby při diagnostice motorických deficitů v celkové dětské populaci. Další text tedy bude odrážet aktuální literaturu o intervenčních přístupech k dětem s DCD. Smits-Engelsman et al jen zmiňují, že přestože u neurovývojových poruch je komorbidita výrazná, žádná studie nehodnotila možné rozdíly v účinku nebo přístupu mezi skupinami dětí se současně se vyskytujícími jinými poruchami (např. např. DCD +/- ADHD) a bez nich. Souběžně se vyskytující poruchy mohou vážně ovlivnit výsledky (Smits-Engelsman et al. 2018). Což je nepřímý popis klinického obrazu předčasně narozených dětí.

Dřívější koncept dělení přístupů pocházel z teoretického základu motorického řízení, kdy byly rozlišeny dvě hlavní skupiny přístupů: top-down (shora-dolů) orientovaný na úkoly (úkolově orientovaný) a bottom-up (zdola-nahoru) orientovaný na procesy (také nazývaný deficitně orientovaný) (Blank et al. 2012). Dle aktualizovaných mezinárodních

doporučení pro DCD z roku 2019 vzešla nová taxonomie založená na terminologii ICF (mezinárodní klasifikace funkčních schopností). Přístupy jsou nově seskupeny do tří kategorií:

1. orientované na tělesné funkce a strukturu, kde je aktivita navržena tak, aby zlepšila cílené tělesné funkce považované za základ uváděného funkčního motorického problému (dříve procesně/deficitně orientovaný přístup),
2. zaměřené na činnost, která je navržena tak, aby se zlepšil výkon v této činnosti (dříve úkolově orientovaný přístup),
3. zaměřené na participaci, kde je aktivita navržena tak, aby zlepšila účast na této aktivitě v každodenní životní situaci (Blank et al. 2019; Smits-Engelsman et al. 2018).

Dokonalý příklad k porozumění rozdělení intervencí do těchto oblastí je následující. Pokud se navlékání korálek používá jako aktivita během intervence s primárním cílem zlepšit koordinaci oko-ruka u dítěte s potížemi se psaním, byl by to přístup orientovaný na tělesné funkce. Pokud by u jiného dítěte bylo cílem navlékání korálek zlepšit samotnou dovednost, bylo by to nazýváno aktivitou zaměřenou na činnost. A nakonec kdyby bylo cílem navlékání korálek zdokonalení činnosti pro vyrábění dekorací se svými kamarády, jednalo by se o přístup orientovaný na aktivitu a participaci (Smits-Engelsman et al. 2018).

### **1.6.1 Přístupy orientované na tělesné funkce a strukturu**

Dřívější přístupy se přikláněly k neurovývojové teorii, která ctí hierarchii motorického řízení, kdy vyšší centra nervového systému plánují pohyby, po nichž následuje provádění pohybů nižšími centry. Z tohoto modelu vychází procesně orientovaný přístup, kdy se intervence zaměřuje na složky nebo tělesné funkce potřebné k provádění činností. V případě DCD je hypotéza, že zlepšení tělesných funkcí, jako je vnímání, sensorická integrace, svalová síla, zrakově-motorické vnímání aj., vede k lepšímu výkonu dovedností (Blank et al. 2012). Nejnovější přehledy ukazují, že některé z těchto přístupů mohou být účinné, ale existují jen omezené důkazy především o velikosti účinku. Intervence, které se zaměřují na zlepšení tělesných funkcí a struktur, mohou být účinné, ale zdá se, že jsou méně účinné u dětí s DCD než přístupy orientované na úkoly. Vzhledem k nejasné účinnosti se doporučujeme nejvýše tento přístup užívat v modelu, kdy přístupy orientované na tělesné funkce aplikují/trénují získanou funkci i v rámci aktivit, které mají být zdokonalovány (Blank et al. 2019; Hillier 2007). Yu et al ve své metaanalýze doporučují víceúrovňový přístup, který bere v úvahu přístupy orientované na úkoly i

funkci a to kvůli skutečnosti, že postižení DCD má variabilní povahu navíc s množstvím komorbidit (Yu et al. 2018).

Mezi tyto přístupy se v největší míře řadí: SIT (sensory integration therapy), kinestetický trénink, PMT (percepčně-motorický trénink) nebo jejich kombinace, na pomezí přístupů je pak MIT (motor imagery training).

#### **1.6.1.1 Percepčně – motorický trénink**

PMT je založen na myšlence, že percepční kvality a motorické schopnosti jsou funkčně propojeny. Podporuje učení prostřednictvím pozitivní zpětné vazby při vykonávání pohybu se sensorickým inputem. Například rovnovážná cvičení, cvičení s vizuálními a zvukovými podněty nebo taktilní cvičení s různými strukturami a povrchy. Aktivita jsou kombinací hrubých a jemných percepčních motorických aktivit s množstvím pomůcek a vybavení jako balanční plochy, kladiny, lana, trampolíny, míče, kreslířské vybavení aj. Významná evidence objasňující výrazné účinky tohoto přístupu však není známa (Blank et al. 2012; Wilson et al. 2016).

#### **1.6.1.2 Senzorická integrace a kinestetický trénink**

SIT vyvinula v 70. letech 20. století v USA ergoterapeutka Jean Ayres. Terapie poskytuje sensorickou stimulaci pro podporu motorického vývoje a vyššího kortikálního učení. Tato metoda je nejvíce užívána v ergoterapii, kde se očekává, že pomůže dětem poskytováním proprioceptivní, taktilní/kinestetické a vestibulární stimulace zaměřené na nápravu sensorického deficitu. Na zlepšení integrace smyslových vjemů navazuje zlepšená motorická činnost. Při provedení metaanalýzy se však dospělo k závěru, že byl zaznamenán jen malý účinek při rozvoji motorických dovedností oproti přístupům na rozvoj specifických dovedností (Blank et al. 2012; Pless a Carlsson 2000).

Kinestezie je důležitým faktorem při ovládnutí motoriky a učení pohybů. Konkrétně je to schopnost vnímat své vlastní tělo při pohybu. Bylo navrženo, že dítě s motorickými obtížemi má nedostatek kinestetického vnímání a že náprava těchto kinestetických obtíží zlepšit motorickou výkonnost. Prvky kinestetického tréninku mohou být například tělesné mapování, učení se pohybových sekvencí, jóga a tai-či. Ze studií však nevyplývá výrazný pozitivní účinek tohoto přístupu. Systematický přehled však shrnuje čtyři studie s pozitivními účinky bez výpočtu velikostí účinků (Blank et al. 2019; Hillier 2007).

#### **1.6.1.3 Trénink motorických představ**

MIT je kognitivní přístup, který využívá vnitřní modelování pohybu, které dítěti usnadňuje předvídat důsledky jednání při absenci pohybu. Je tedy cílem zlepšit motorickou

koordinaci jedince pomocí „cvičení v představě“, aniž by se fyzicky pohyboval. Dochází tak k vizualizaci pohybu na základě představy nebo sledování. Děti v průběhu času a opakování využijí znalosti vztahu mezi zrakem a uvědoměním pohybu, aby vhodně předpovídaly důsledky vlastních pohybů. Konkrétně redukcí chyb v dopředném plánování. MIT se ve studiích nejčastěji skládá z video pozorování dané dovednosti, mentální reprodukce pozorovaného pohybu z pohledu 3. osoby a vnitřní simulace z pohledu 1. osoby. Tyto studie prokázaly pozitivní účinky tréninku motorických představ na zlepšení pohybových dovedností u dětí s DCD hlavně v kombinaci s aktivním tréninkem myšleno jako příprava na něj (Wilson et al. 2002; 2016). Neurofyziologicky dochází při těchto úkonech k aktivaci oblasti důležité pro zrakové zpracování prostoru a mohou se facilitovat specificky deficitní oblasti dětí s DCD, které byly již diskutovány (Irie et al. 2021).

MIT je na pomezí přístupů, ale vzhledem k tomu, že se u něj fyzicky pohyb nevykonává a slouží spíše k vnitřnímu modelování jsem jej zařadil k přístupům orientovaným na tělesné funkce (dříve na proces), ačkoli má své prvky přístupu spojeným s konkrétní činností i úkolem. V zásadních zdrojích této problematiky je řazený k ostatním nebo podpůrným přístupům (Blank et al. 2012; 2019; Smits-Engelsman et al. 2018).

### **1.6.2 Přístupy zaměřené na činnost a participaci**

Novější teorie o motorickém vývoji přikládá zásadní vliv zkušenosti jedince a zahrnuje model dynamických systémů a teorii výběru neuronových skupin. Teorie dynamických systémů popisuje motorické řízení a motorický vývoj jako výsledek složitějších interakcí, kde je zpětná vazba interpretována CNS a vhodné pohybové strategie vznikají z interakce mezi úkolem, osobou a prostředím. Teorie výběru neuronových skupin říká, že mozek je dynamicky organizován do vzájemně propojených sítí neuronů, tzv. neuronových skupin. Jejich struktura a funkce je vytvářena vývojem a chováním, což vytváří individuální mapu. Úkolově orientované přístupy jsou ovlivněny těmito teoretickými modely zahrnující funkční, úkolově specifické a kognitivní přístupy. Úkolově specifické přístupy se zaměřují přímo na funkční dovednosti. Konkrétní úkol je rozdělen do kroků, které lze procvičovat samostatně a propojit je tak, aby byl splněn celý úkol. Lze použít techniky z behaviorální teorie, jako je řetězení nebo kognitivní strategie z kognitivní teorie. Pro aktivní řešení problémů se používá kognitivní přístup (Blank et al. 2012; Hadders-Algra 2018).

Tyto přístupy se zaměřují na zlepšení konkrétního úkolu/činnosti a následně předpokládají větší participaci nejen při této činnosti v každodenním životě, ale také podporují větší participaci dítěte v domácnosti, škole, volném čase a sportu. Kognitivní

přístup, který je v této intervenci často přítomen přenos na větší participaci podporuje (Pless a Carlsson 2000). Zároveň v sobě obsahuje efektorově specifický typ motorického učení, kdy se jedinec zlepšuje přímo tréninkem dané činnosti, což přináší největší přínos. Zároveň se jedinec musí zlepšovat v činnosti, která je přiměřená jeho věku (Blank et al. 2012). Závažnost motorického postižení ovlivňuje nejen obraz dětí s DCD, ale také jejich participaci na aktivitách, což je důležité zjištění pro léčbu. U dětí školního věku mohou být specifické problémy s jemnou motorikou důležitější kvůli školním výsledkům. Na druhé straně hrubé motorické problémy jsou důležité pro účast ve hrách, sportu a trávení volného času, kde se rozvíjí sociální kontakt s vrstevníky (Blank et al. 2019).

Větší účinnost těchto přístupů přináší lepší výsledky funkční výkonnosti s následně usnadňující participaci. Je důležité si vytyčit jasný cíl zaměřený na konkrétního jedince společně se zapojením rodičů do tohoto procesu. Systematické metaanalýzy poskytují dostatek důkazů pro zařazení těchto přístupů zahrnující přímý trénink příslušné dovednosti u intervencí dětí s DCD, což se však nedá říct o výsledcích participace. Jmenovitě se jedná o tradiční Neuromotor Task Training (NTT), Cognitive Orientation to Daily Occupational Practice (CO-OP) nebo novější intervence jako virtuální hry s konzolemi. (Offor et al. 2016; Smits-Engelsman et al. 2018). Preston et al jednoznačné stanovisko o důkazech tohoto přístupu nesdílí a ve svém systematickém přehledu randomizovaných studií uvádí, že studie, ze kterých se toto stanovisko usuzuje nebyly dostatečně metodologicky robustní. NTT společně s MIT, který má také prvky orientace na činnosti, však považuje za nejúspěšnější přístupy intervencí u dětí s DCD (Preston et al. 2017).

### **1.6.2.1 Neuromotor Task Training**

NTT byl vyvinut v Nizozemsku v roce 2000 s první pilotní studií v roce 2003. Jedná se o úkolově orientovaný tréninkový program pro děti s DCD na základech motorického učení. Dovednosti se vyučují pomocí analýzy, při které se určí pravděpodobný deficit dítěte. Analýza úkolu zahrnuje plánování (co dítě o úkolu potřebuje vědět), provádění (co musí udělat, aby úkol splnilo) a hodnocení (zpětná vazba). Na tomto základě se následně přizpůsobuje úkol tak, aby se dítě mohlo učit. Například dítě neví, jak vyřešit daný úkol, použije se kognitivní strategie pro lepší představu o úkolu. Nebo se dítě bojí strachu ze selhání, má problém s pozorností nebo má čistě motorický deficit, úkol se přizpůsobí tak, aby tyto faktory byly eliminovány. Učené dovednosti se poté postupně znáročňují prostřednictvím přidávání úkolů, změnou prostředí, časovém omezení úkolu, dual-taskingem, aj. V celém procesu je poskytnuto mnoho času na cvičení daného úkolu a jeho opakování, využívá se také úkolů do domácí terapie. Konečným cílem léčby není pouze

zlepšit funkční výkonnost během léčby, ale také přenést naučené dovednosti do každodenního života (Schoemaker et al. 2003; Smits-Engelsman et al. 2018). Konkrétním příkladem zvyšování náročnosti je úkolově orientovaná randomizovaná studie na stabilitu a transport z hlediska tréninku funkčních úkolů u dětí s DCD. Konkrétně byla obtížnost úkolu zvýšena variabilitou změn opěrných ploch, odstranění vizuálního vstupu, změnou směru, rychlosti a vzorcem pohybu, přidání multitaskingu nebo změnou prostředí, které bylo v pohybu a neustále se měnilo (např. chůze po přeplněné chodbě) (Au et al. 2014).

### **1.6.2.2 Cognitive Orientation to Daily Occupational Practice**

CO-OP vyvinuly Helene Polatajko a Angela Mandich v Kanadě na konci 90. let. Je to mezinárodně uznávaný přístup, který vede jednotlivce k samostatnému objevování a rozvoji kognitivních strategií při provádění nezbytných úkolů každodenního života, jako je oblékání, sebe úprava, psaní, jízda na kole, plavání, psaní na pc a další dovednosti. Tento přístup je vysoce individualizovaný a děti jsou v něm vedeny ke kognitivnímu řešení problémů a objevování nových strategií, které umožní nové a efektivní způsoby dosažení jejich individuálně zvolených cílů. Zaměřuje se na vykonávání činností, které dítě potřebuje nebo chce aktuálně zvládnout. CO-OP v průběhu terapie zlepšuje znalosti o úkolu, využívá kognitivní strategie, principy učení a výuky, sebe učení, adaptaci prostředí a zahrnuje rámec Goal-Plan-Do-Check (cíl-plán-výkon-kontrola). Vychází také z přesvědčení vedení dítěte při řešení problému verbálně, čímž se naučí regulovat své chování v řešení problému. Naučí se také identifikovat cíl, vypracovat plán a vyhodnotit úspěšnost tohoto plánu. Postupně se tato schopnost řešení problému při učení a vykonávání činností zlepšuje a přidává se k tomu školení rodičů do domácí terapie a hlavně přenos této schopnosti do každodenního života (Polatajko et al. 2001).

### **1.6.2.3 Virtuální realita a videohry**

Využívání aktivních videoher se neustále rozrůstá jako oblíbená forma zábavy a hry a nachází své místo v pohybové rehabilitaci mimo jiné i u dětí s DCD (Blank et al. 2019). V rozsáhlé metaanalýze bylo uvedeno, že studie věnující se intervenci videoher (například platforma Nintendo Wii) nebo virtuální realitě u dětí s DCD měly v nejlepším případě mírný až střední pozitivní účinek léčby. Ve srovnání s NTT je zde přínos pro děti jen drobný. Existuje však hypotéza, že motorické dovednosti vyvinuté v prostředí virtuální reality se nejlépe přenesou do reálného světa, pokud existuje přirozené spojení mezi trénovanými úkoly a kontexty reálného světa. Pro podporu této hypotézy je však zapotřebí další zkoumání (Bonney et al. 2017; Smits-Engelsman et al. 2018). Bonney et al uvádí, že



děti s DCD mohou na základě rychlé posturální adaptace a opravě chyb získávat a zlepšovat své dovednosti díky perfektní zpětné vazbě od obrazovky. Zlepšují se tak v motorickém učení. Zároveň je to i nevýhodou v riziku, že výkon bude závislý pouze na zpětné vazbě, která je v reálných situacích obvykle nedostupná (Bonney et al. 2017). Možné slibné vyhlídky s efekty videoher u intervencí například zlepšení rovnováhy zastihuje otázka přenosu do každodenního výkonu a participace, která je stále nezodpovězena. Aktivní videohry lze však doporučit jako užitečný doplněk k tradičnějším intervencím zaměřeným na aktivitu a participaci u dětí s DCD (Blank et al. 2019).

#### **1.6.2.4 Obecně zlepšující intervence na zdraví**

Vzhledem k nízké úrovni síly a kondice u dětí s DCD by měly být zváženy intervence ke zlepšení obecné zdatnosti (kardiorespirační zdatnosti a funkční síly), posílení a zapojení do sportovních aktivit v každodenním životě. Takové intervence byly totiž hlášeny jako účinné u dětí s DCD (Blank et al. 2019). Celkově lze říct, že různé motorické intervence ať už jde o trénink zaměřený na úkoly, trénink obecných dovedností, trénink dovedností související se sportem/hrami, vedly ke střednímu až silnému zlepšení kondičních metrik a změnám pohybových dovedností. Pro minimalizaci rizika dlouhodobých zdravotních problémů spojených se špatnou pohybovou koordinací (např. přibývání na váze, menší participace na pohybu, kardiovaskulární problémy) se doporučuje podpora aktivního životního stylu a tréninku dovedností potřebných ve sportu (např. agility, dovednosti s míčem) (Smits-Engelsman et al. 2018).

### **1.6.3 Klinické doporučení pro intervenci**

#### **1.6.3.1 Časová dotace**

Existuje velká mezera ve znalostech o tom, jak lze optimalizovat volbu terapie pro jedince s DCD s dalšími komorbiditami, pokud jde o dávkování, načasování, plánování a obsah intervence. Tréninkové protokoly ukázaly velkou variabilitu v rozvrhu a dávce napříč studiemi. Zatímco průměrná délka intervence byla relativně krátká, kolem 9 týdnů, rozptýl se pohyboval mezi 4 a 18 týdny. Studie, které byly v delším rozmezí (10–16 týdnů) a častější (2–3 týdně), byly skupinové programy zaměřené na konkrétní sportovní dovednosti nebo obecnou kondici (fotbal, vytrvalostní nebo silový trénink). Pokud je dítě trénováno v úkolech každodenního využití, může mít i relativně krátké období kolem 9 týdnů okamžitý přínos a to jak s přístupem orientovaným na činnost tak v kombinaci s přístupem na tělesné funkce (Smits-Engelsman et al. 2018). Z další metaanalýzy o efektivitě intervencí vyplývá, že trvání intervence se velmi různí (1-36. týdnů) a doba

jednoho cvičení se pohybovala od 20 minut do 2 hodin, přičemž skupiny s NTT vykazovaly zaznamatelné výsledky již po 9 týdnech. Delší trvání znamená více praxe a tím vyšší šance uchovat a uložit informace a dovednost do dlouhodobé paměti. To by bylo výhodné pro děti s DCD, protože by si své zlepšení mohly udržet po delší dobu a bylo by pro ně lépe vybavitelné (Offor et al. 2016). Preston et al v přehledu randomizovaných studií uvádí intervence trvající 5–12. týdnů, jedenkrát až pětkrát týdně, jednotlivá cvičení trvala 30 až 60 minut (Preston et al. 2017). V oficiálně aktualizovaných mezinárodních doporučení pro děti s DCD se uvádí přibližně 10 cvičení jako hranice s prokazatelným pozitivním účinkem. Průměrná doba trvání nových účinných studií byla 10 týdnů. Současné nejsou jasná doporučení ohledně intenzity, trvání a načasování, protože chybí srovnávací studie. Celkově se dlouhé tréninkové protokoly (20–30 hodin) nezdají být účinnější než kratší (10–15 hodin), když se měří pomocí standardizovaných testů hodnotící tělesné funkce/aktivitu. Tyto testy však nemusí zachytit přenos dovedností do složitých situací a míru automatizace potřebnou v každodenním životě (Blank et al. 2019).

### **1.6.3.2 Individuální nebo skupinový přístup**

Nebyl zaznamenán výrazný rozdíl mezi účinností individuální a skupinové intervence. Skupinová intervence zaznamenala dokonce nepatrně vyšší účinnost na motorický výkon. Silný efekt skupinové intervence naznačuje, že to může být kvalitní volba s ekonomickým benefitem, přičemž je zachována individuální léčba přizpůsobená potřebám jednotlivých dětí. Doporučení ohledně ideální velikosti skupiny nelze na základě dat určit, ale ví se, že byly použity skupiny 4 až 6 dětí, které jsou zvládnutelné a efektivní s jedním terapeutem a případným asistentem. Malé skupiny umožňují sledovat jak skupinovou dynamiku, tak individuální pokrok. Je možné, že děti s velmi špatnou motorikou mohou pociťovat větší úzkost ve větší skupině. Výběr vlastních cílů a společné hraní může snížit úzkost z výkonu a podpořit zapojení do úkolů. Kromě toho hraní her (jak na počítači, tak ve skutečnosti) ve skupinách může zlepšit adherenci, a to jak z krátkodobého, tak dlouhodobého hlediska (Smits-Engelsman et al. 2018). Ve skupinovém designu intervence se ale musí brát ohled na věk respondentů, závažnost poruchy, členy skupiny a cíl intervence, aby nebyl výsledek kontraproduktivní (Blank et al. 2019).

### **1.6.3.3 Ostatní doporučení pro intervence**

#### **Vychází z deficitního motorického učení dětí s DCD**

Množství zkušeností je často považováno za nejdůležitější determinant zlepšení motorických dovedností učení. Tím lze jinak nazvat **důležitost času na učený úkol**

(**trvání, opakování, intenzita**), který je důležitou složkou úspěchu léčby, pokud jde o zlepšení učení motorických dovedností u dětí. Dětem s DCD trvá déle naučit se motorické dovednosti. Tedy pouze procvičování v každodenním životě nebo během intervence pravděpodobně není dost na zvýšení výkonu. Aby se zlepšila motorika učení, **děti s DCD potřebují procvičovat během intervencí, ale také doma**, aby byla zajištěna účinnost léčby a přenos toho, co se naučili, do každodenního života. Zdá se být také důležité **zvýšit motivaci dětí například výběrem cíle v jednotlivé intervenci**. K tomu je důležité vzít v úvahu zachované schopnosti a osobní motivace, které jim dávají příležitosti procvičit své motorické dovednosti zábavnou hrou. U dětí s DCD je snižená schopnost učit se ze svých chyb, což má za následek přetrvávání nesprávných strategií. Jedním způsobem pomoci postiženým dětem by proto byla pomoc při **monitorování jejich výkonů, odhalování nebo identifikaci zdrojů chyb a samozřejmě jejich opravování** jako samostatné instruktážní intervence (Biotteau et al. 2016a).

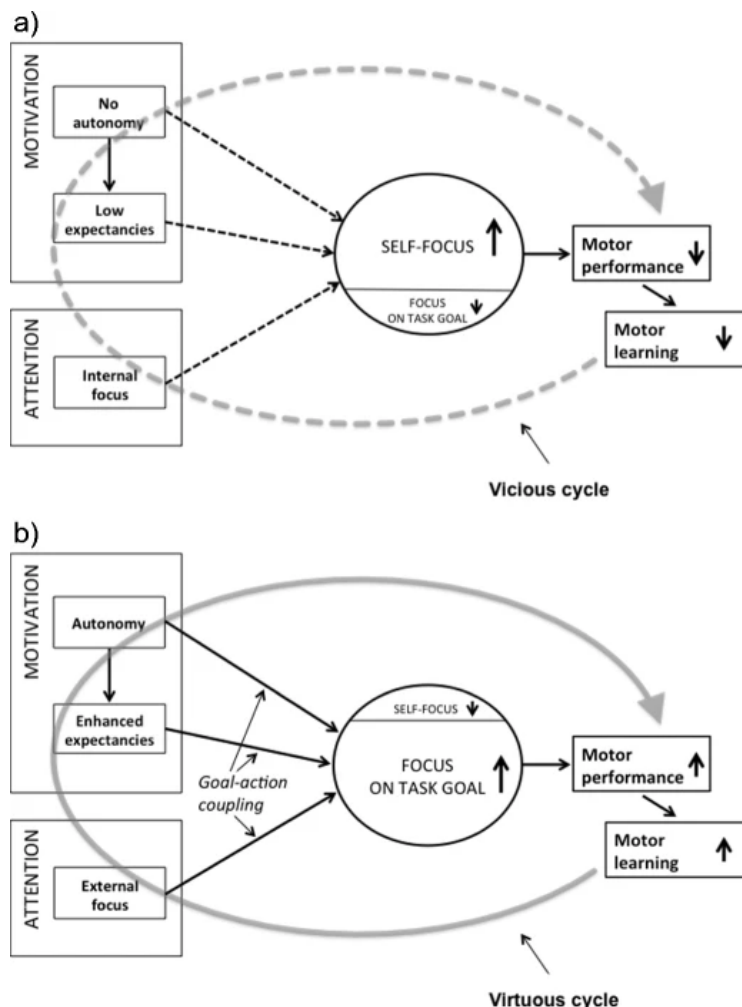
Mezi další doporučené prvky pro intervenci patří:

- **náhodné pořadí jednotlivých oblastí cvičení** zlepšuje motorické učení více ve srovnání se striktně nastaveným cvičením,
- **motorické představy a pozorování akcí** mohou úspěšně doplnit koncept intervence,
- **dostatečný čas na úkol (trvání, opakování, intenzita) a nápaditost úkolu**, které jsou dobrými prediktory progresu rozvoje motorických dovedností,
- **zařazení rodičů** do konceptu intervence pro nastavení adekvátní příležitosti k procvičování dovedností vycházející z intervence v domácích podmínkách (Smits-Engelsman et al. 2018),
- **zábavné vybavení, úprava prostředí, hravé pomůcky** a sociální podpora mohou zlepšit účinky intervence (Preston et al. 2017),
- **zkušenost neúspěchu** v průběhu intervence má vliv na sebevědomí dětí a tím na vlastní negativní účinnost, je tedy důležité **pěstovat motivaci a podporu**,
- **hlavní cíle stanovit na úrovni činností a participace** (Blank et al. 2019).

#### 1.6.3.3.1 Přístup k motorickému učení OPTIMAL

V poslední době se výzkum motorického učení zaměřuje na důkazy prokazující motivační a pozornostní účinky na výkon a učení, jako jsou například: **podmínky**, zvyšující očekávání výkonu, **proměnné**, které ovlivňují autonomii učenců a **vnější zaměření pozornosti** na zamýšlený pohybový efekt. Teorie OPTIMAL (Optimizing Performance through Intrinsic Motivation and Attention for Learning/Optimalizace Výkonu prostřednictvím Vnitřní Motivace a Pozornosti k Učení) navrhuje, aby motivační

faktory a faktory pozornosti přispívaly k výkonu a učení posílením propojení mezi cílem a činností. Důsledky této teorie zahrnují nalezení správných přístupů k posílení nebo podpoře pozitivní motivace a směřování pozornosti na efektivní vnější soustředění. Na následujícím obrázku 11 a textu bude vysvětlen mechanismus teorie OPTIMAL v praxi.



Obrázek 11: Začarovaný kruh neoptimálního učení (a), „virtuózní“ cyklus vylepšeného motorického učení (b) (Wulf a Lewthwaite 2016).

V prvním scénáři instruktor vybírá úkoly, které mají být procvičovány s jejich vysvětlením, dává nápravnou zpětnou vazbu a pokyny týkající se koordinace pohybů těla. Instruktoři navíc často zapomínají zvýšit očekávání učenců, nepodporují jejich potřebu autonomie a vyvolávají vnitřní zaměření pozornosti (obrázek 11 a). Důsledkem je nízká autonomie učence, malé nebo žádné pozitivní očekávání, zvýšené zaměření dovnitř sebe a omezená schopnost soustředit se na cíl úkolu. Nepřímým důsledkem vyplývající ze špatného výkonu nebo malého zlepšení vede k začarovanému kruhu zmíněných inkompetencí. V konečném důsledku může tento scénář vést k nezájmu o procvičování nebo učení se novým dovednostem a možnému vyhýbání se aktivitě. Naproti tomu je

scénář, ve kterém instruktor dává studentovi na **výběr**, poskytuje mu **zpětnou vazbu**, **chválí pozitivní aspekty** plnění úkolu a většinou ignoruje chyby, vyhýbá se zmínkám o pohybech těla a místo toho **zaměřuje pozornost učence externě na cíl úkolu** (obrázek 11b). V tomto případě by zvýšená očekávání a vnímání autonomie (tedy touhy se zdokonalovat) pravděpodobně zvýšilo sebevědomí učenců. Důvěra v jejich schopnost podávat dobrý výkon v kombinaci s instruovaným externím zaměřením by měla usnadnit úspěšné pohybové výsledky, což dále podpoří vlastní autonomii a pozitivní očekávání, které pomáhá upevnit dobrý výkon, což má za následek „virtuózní cyklus“ s celkově pozitivními důsledky pro učení a motivaci (Wulf a Lewthwaite 2016). Tento mechanismus je u dětí s DCD zvláště výhodný kvůli jejich psychosociálním faktorům jako je pocit inkompetence nebo nižší sebevědomí (viz kapitola Dopad rozdílného motorického učení).

Externí orientace pozornosti (EFA – external focus attention) je zaměření pozornosti na zamýšlený pohybový cíl (př. na terč při odhodu) zatímco vnitřní orientace pozornosti (IFA – internal focus attention) je soustředění pozornosti na pohyby vlastního těla (např. zaměření na pohyb ruky při pohybu). Podle hypotézy je nevýhoda IFA ve srovnání s EFA způsobena tím, že IFA indukují vědomější způsob řízení, který vede k narušení automatického řízení. Naopak EFA může snížit zaměření člověka na sebe sama, což vede ke zvýšení motorické automatiky a funkční variability, které se promítá do zlepšeného výsledku. Ukazuje se, že prvek EFA je účinný na výkon i u dětí s DCD. Při studii dělaly děti vertikální skoky s IFA (pozornost na švih paží) a EFA (pozornost na strop, ke kterému se přibližovaly). Výsledky ukázaly, že bez ohledu na motorické schopnosti dětí byla výška skoku a vertikální rychlost vzletu vyšší s EFA ve srovnání s IFA, zároveň byla vyvinuta maximální svalová síla (Psotta et al. 2020). Ve shrnujícím schématu tyto mechanismy přehledně shrnuje (Papáček a Opavský 2022), kde jsou jednotlivé prvky sloučeny do možné intervenční podoby.



Schéma 2: Přístupy, které se podílí na zvýšení efektivity motorického učení (Papáček a Opavský 2022).

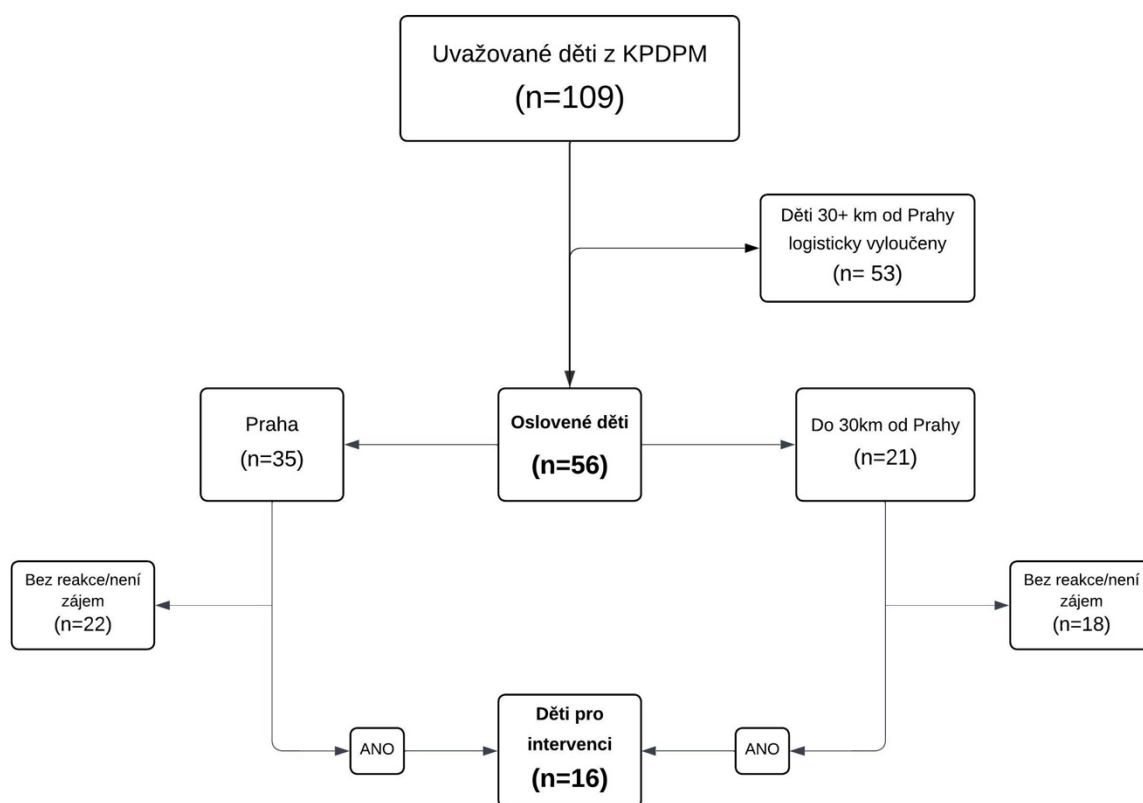
## **2 CÍLE A HYPOTÉZY**

Cílem práce je detailně popsat příčiny výhradně motorických obtíží předčasně narozených dětí, na které budou navazovat způsoby intervence. Následně sestrojít, poskytnout a zhodnotit longitudinální skupinovou intervenci u předčasně narozených dětí s perinatální zátěží ve věku 8-17 let, která vzejde z teoretické části.

Hlavní hypotézou diplomové práce je zlepšení dětí ve všech testovaných komponentech i celkovém výsledku hodnotící baterie MABC-2. Na základě zlepšení v oblasti motorické koordinace a dovedností dále předpokládáme zvýšený rozvoj již specifických pohybových činností a výraznější participaci v běžných aktivitách v rámci sociálního světa dětí. Vedlejší hypotézou je negativní vliv anamnestických údajů (nižší gestační týden narození a nižší porodní hmotnost) na pokrok po podstoupení intervence.

### 3 METODIKA

V součinnosti s Centrem komplexní péče pro děti s perinatální zátěží na Klinice Pediatrie a dědičných poruch metabolismu Všeobecné fakultní nemocnice v Praze bylo pracováno s poskytnutou databází předčasně narozených dětí, které jsou v centru vedeny a pravidelně sledovány. Po logické úvaze bylo v listopadu roku 2023 osloveno 56 dětí prostřednictvím rodičů formou elektronického dopisu e-mailem (viz příloha Dopis rodičům a dětem), případně telefonicky. V případě zájmu se účastnit, rodiče s dětmi vybrali preferovaný termín z nabídky v dopisu. Z výše uvedeného postupu vzešlo 16 dětí ve věku 8-17 let .



Vývojový diagram 1: *Proces výběru probandů, (n=počet)*

Následně v lednu roku 2024 začala longitudinální intervence, přičemž při prvním a posledním setkání (tato setkání se nepočítala do 9týdenní intervence) byly děti testovány hodnotící baterií testů MABC-2.

#### 3.1 Design a cíl

Z teoretické části práce (přehled poznatků) vzešel design a z části charakteristika metodiky práce. Jedná se o longitudinální experimentální intervenční výzkum s opakovaným měřením. Konkrétně 9týdenní skupinová intervence s frekvencí 1x týdně

60 minut. Děti byly pro maximální efektivitu rozděleny do 5 skupin po 3-4 dětech v každé skupině, kdy v jednotlivých skupinkách byly děti podobného věku nebo podobné motorické úrovně. Intervence probíhala v uzavřeném prostoru tělocvičny. Cílem metodiky bylo vytvořit intervenci na základě teoretických poznatků a následně zhodnotit její efekt pomocí statistických nástrojů.

### **3.2 Charakteristika**

Intervence byla dětem i rodičům představena jako pestrý pohybový kroužek pro předčasně narozené děti, který má za cíl rozvíjet jejich pohybový potenciál a redukovat konkrétní pohybové deficity formou hry. Z přehledu poznatků o teoretickém podkladu intervence bylo rozhodnuto pro fúzi přístupu orientovaného na tělesné funkce (menší zastoupení) a přístupu orientovaného na činnost a participaci (větší zastoupení) (Blank et al. 2019; Yu et al. 2018). Důvodem fúze je variabilita DCD a také množství komorbidit, hrající velkou roli v klinickém obrazu, které předčasně narozené děti bezpochyby mají. Z hlediska konkrétních přístupů se v naší intervenci objeví prvky PMT, MIT, NTT a CO-OP, kdy největší zastoupení zaujímá NTT.

Celá intervence je provázena dále uvedenými prvky vyplývající z přehledu poznatků: důležitost času na učený úkon (trvání, opakování, intenzita), udržování motivace například vhodným výběrem cíle každého úkolu (Biotteau et al. 2016a), náhodné pořadí jednotlivých oblastí cvičení, snaha o nápaditost úkolu (Smits-Engelsman et al. 2018), zábavné vybavení, úprava prostředí, hravé pomůcky (Preston et al. 2017), nevyvolávat zkušenost neúspěchu a naopak pěstovat motivaci a podporu (Blank et al. 2019), dávat možnost výběru prováděného úkonu, poskytovat zpětnou vazbu, chválit pozitivní aspekty plnění úkolu a neupozorňovat ve velké míře na chyby, vyhýbat se zmínkám o pohybech těla a zaměřovat pozornost učence externě (EFA) na cíl úkolu, pěstovat autonomii a tím sebevědomí učenců (Wulf a Lewthwaite 2016), začlenění rodičů do procesu intervence (vedení dětí k pohybu a také k domácí terapii po obdržení domácího úkolu z intervence) (Biotteau et al. 2016a; Smits-Engelsman et al. 2018).

Jelikož nejsou v literatuře příliš známy specifické intervence pro předčasně narozené děti v pozdějším dětském věku a metodiky intervenčních studií pro DCD z hlediska přesného popisu „cvičení“ jsou strohé a nepřesné, pozornost byla zaměřena na tzv. fundamental motor skills (FMS). Ty jsou považovány za základní kameny pro složitější dovednosti potřebné ve sportu, hrách a dalších činnostech v dětství i dospělosti. Rozvoj těchto základních motorických dovedností souvisí se zdravotními přínosy z hlediska



fyzické aktivity, zdatnosti nebo vnímané autonomie. Konkrétně došlo k inspiraci programem „Multimove for Kids“, který byl s úspěchem implementován do škol, sportovních zařízení nebo dětských center dětem ve věku 3-8 let ve Flandrech ve Vlámském regionu v Belgii. Podobný intervenční přístup byl v pozitivním smyslu aplikován u dětí s motorickými obtížemi. FMS bylo rozděleno do 12 základních motorických okruhů (6 v případě dřívější studie). Během každé cvičební lekce děti prováděly 2-3 okruhy, z nichž každý se procvičoval 15-30 minut (Bardid et al. 2013; 2017).

Pro potřeby této práce byly zvoleny následující okruhy s přidáním vlastní fantazie přizpůsobené potřebám dětí (16): běh, lezení, klouzání, otáčení a reakce, skákání, chytání a házení, tlačení a tahání, zvedání a nošení, údery, kopání, driblování, rytmus a tanec, zaujetí pozice, rovnováha, manuální dovednosti a celkové koordinační hry. Tyto okruhy motorických dovedností tvoří základní kostru metodiky intervence. Každý z okruhů začíná na základní úrovni 1 a postupně se během 9 týdnů úroveň zvyšuje až na subjektivně nastavenou 3. úroveň (podle principů NTT). V kontextu 2-3 motorických okruhů v každé lekci by mohla například lekce vypadat následovně: skákání level 2, rytmus a tanec level 3, zaujetí pozice level 1. Zároveň je přihlédnuto náročností úkolů k motorickým dovednostem jedince a celé skupinky. Do motorických okruhů jsou během intervence implementovány principy a prvky NTT (celá intervence je vedena jako NTT), MIT, CO-OP a automaticky PMT vyplývající z povahy některých okruhů. Co se týče přímo jednotlivých úkonů a činností, inspirací byla vlastní fantazie a zkušenosti, YouTube kanály Little Learners, Move&Learn, Little Sports (Amy 2017; CPL 2020; Roberta's gym 2019).

Pro úplnost uvedu příklad jednoho motorického okruhu (skákání), na kterém bude znázorněn princip průběhu intervence.

- level 1 skákání na místě + další úkol: jumping jack ve frontální a sagitální rovině s prvky MIT (sledování video, poté cvičení v představě a následné provedení), skákání snožmo do tvaru dle výběru dětí (číslo, geometrický tvar, písmeno, znak,...), přeskoky z jedné nohy na druhou vpřed a do stran přes čáru s prvky EFA na čáru, running man, body extension – příprava na skok do dálky, skákání panáka, skákání z jedné nohy na dvě s tlesknutím, poskoky na 1DK s barevnými terčíky a žebříkem s prvky EFA, step back jacks, skok daleký soutěž snožmo i z jedné nohy, shoulder tap ve dvojici, skoky s odhadem na vzdálenost k čáře s verbálními prvky CO-OP,
- level 2 skákání v pohybu: skok podle zvířátek dle výběru dětí, hop and jump s kužely s prvky EFA, kombinace skoků z levelu 1 do zapamatovatelné sestavy, skok přes

rostoucí řeku, přeskoky přes lavici se zapojením rukou, kondiční skákání formou kruhového tréninku (př. přeskoky, panák se žebříkem, jumping jack), arrow jump skákání na šipky s otočkou s prvky EFA, skoky z a na nestabilní podložky (s prvky PMT), hopscotch do rytmu, spell words dle výběru dětí,

- level 3 skákání složitější koordinace: odpalování nafukovacího balónku s variabilními poskoky (prvky EFA) nebo skoky na airex (PMT), ski hops s videem a prvky MIT, skákání po čáře s překážkami (EFA), skoky s rozdělováním a skládáním kelímků v každém skoku po dráze s prvky CO-OP, chytání míče ve skoku a odhození po dopadu, koordinace oko-ruka při skákání v dráze – na každý skok jiné umístění rukou a nohou (forma hry twister v pohybu) s barevnými variantami, různé typy skákání v dráze z kuželů – v místě setkání kompetitivní úkol (kámen-nůžky-papír) a prohraný jde na začátek, skákání ve vyrůstající pavučině, cross skákání po čáře.

Po absolvování cvičební lekce dostanou děti instrukce k domácímu úkolu, který je v podobě aktivity, která dítěti nejvíce dělala obtíže. Tato informace byla u mladších dětí předána rodičům s edukací do domácí terapie.

### 3.3 Sběr a analýza dat

Data z hodnotící baterie MABC-2 před a po intervenci byla přepsána do aplikace Microsoft Excel a Jamovi, kde byla provedena analýza dat a statistické zpracování. Jako první byla provedena deskriptivní statistika pro popis experimentálního souboru. Následně inferenční statistika pro vyhodnocení kvality výsledků a jejich závislých či nezávislých faktorech. Distribuce dat byla určena z hodnot Shapiro-Wilk testu normality, kdy ( $p > 0,05$ ) znamená normální distribuci dat a ( $p < 0,05$ ) nenormální distribuci. V případě normální distribuce dat byl zvolen parametrický Párový T-test pro porovnání výsledků před a po intervenci. V opačném případě neparametrický Wilcoxonův příznakový test (Wilcoxon's Signed Rank test). Výsledkem párových testů byla hodnota  $p$ , jako ukazatel statistické významnosti výsledku. ( $p < 0,05$ ) značí statistickou významnost dané hodnoty. Taktéž byla uvedena hodnota Cohenova  $d$  pro posouzení věcné významnosti a efektu intervence. Pro zjištění vlivu anamnestických údajů na pokrok při intervenci byl zjištěn Pearsonův korelační koeficient  $r$ . Hodnoty  $r$  nabývají hodnoty od  $-1$  do  $+1$ . Hodnoty od  $-0,6$  resp.  $+0,6$  do  $-1$  resp.  $+1$  lze označit za silně negativní/pozitivní korelaci měřených hodnot.

## 4 VÝSLEDKY

### 4.1 Charakteristika experimentálního souboru

	Věk (rok)	Dokončený GT (týden)	Porodní hmotnost (g)
<b>n</b>	16	16	16
<b>Průměr</b>	12.8	26.3	951
<b>Medián</b>	12.0	27.0	985
<b>SD</b>	2.5	1.7	225
<b>Rozsah</b>	9	5	700
<b>Minimum</b>	8	24	570
<b>Maximum</b>	17	29	1270

Tabulka 1: Popis experimentálního souboru dětí, n=počet dětí, GT-gestační týden, SD-směrodatná odchylka

	MD 1	MD 1 percentil	MD 2	MD 2 percentil	MCH 1	MCH 1 percentil	MCH 2	MCH 2 percentil	BAL 1	BAL 1 percentil	BAL 2	BAL 2 percentil	CTS 1	Percentil1	CTS 2	Percentil 2
<b>Průměr</b>	21.0	16.0	23.3	28.1	16.4	30.8	19.1	44.6	25.6	31.4	27.7	38.8	62.9	19.4	70.1	33.0
<b>Medián</b>	21.5	9.0	21.0	7.0	14.0	9.0	18.5	37.5	27.5	31.0	29.0	37.0	64.5	9.00	74.0	31.0
<b>SD</b>	6.5	20.1	8.7	36.4	6.2	35.1	5.5	32.0	6.5	23.1	3.9	23.1	14.5	27.1	14.5	30.1
<b>Rozsah</b>	24.0	74.5	24.0	94.0	21.0	97.0	21.0	97.0	25.0	62.9	11.0	58.0	51.0	94.5	53.0	97.5
<b>Minimum</b>	10.0	0.5	14.0	1.0	8.0	1.0	8.0	1.0	6.0	0.1	20.0	5.0	42.0	0.50	43.0	0.50
<b>Maximum</b>	34.0	75.0	38.0	95.0	29.0	98.0	29.0	98.0	31.0	63.0	31.0	63.0	93.0	95.0	96.0	98.0
<b>Shapiro- Wilk W</b>	0.98	0.76	0.90	0.70	0.92	0.78	0.96	0.91	0.78	0.89	0.80	0.85	0.97	0.73	0.97	0.91
<b>Shapiro- Wilk p</b>	0.91	<.001	0.02	<.001	0.138	0.002	0.720	0.108	0.002	0.066	0.003	0.013	0.772	<.001	0.854	0.096

Tabulka 2: Deskriptivní statistické zpracování hodnocení dle MABC-2, MD-manuální dovednosti, MCH-měření a chytání, BAL-rovnováha, CTS-celkový testový skóre + jejich percentilové umístění

Ze Shapiro-Wilk p určující normální distribuce dat vyplývá, že pouze dvojice dat MCH 1, MCH 2 a CTS 1, CTS 2 s hodnotami ( $p \geq 0,05$ ) jsou data parametrická a lze pro ně použít Párový T-test. Ostatní dvojice dat ke srovnání obsahují vždy alespoň jednu hodnotu ( $p \leq 0,05$ ), data jsou tedy neparametrická a bude u nich využít Wilcoxon's Signed Rank test.

## Párový T-test

		statistika	p	Průměrný rozdíl	SE rozdílu		Effect Size
MCH 1	MCH2	-2.35	0.016	-2.75	1.17	Cohenovo d	-0.59
CTS 1	CTS 2	-2.83	0.006	-7.19	2.54	Cohenovo d	-0.71

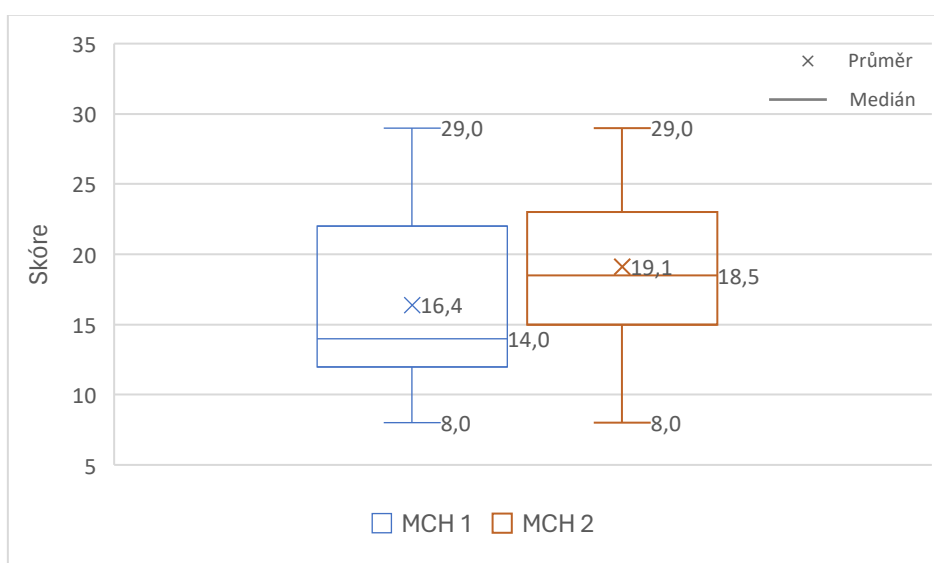
$$H_0 \text{ měření 1} - \text{měření 2} < 0$$

Tabulka 3: **Párový test pro parametrická data MCH1,2 a CTS 1,2**, hypotéza: měření 2 > měření 1, statistika – hodnota T-testové statistiky měřící rozdíl středních hodnot srovnávaných dat, p – ukazatel statistické významnosti výsledku, průměrný rozdíl mezi porovnávanými hodnotami, SE rozdíl – standartní chyba rozdílu, effect size – velikost efektu

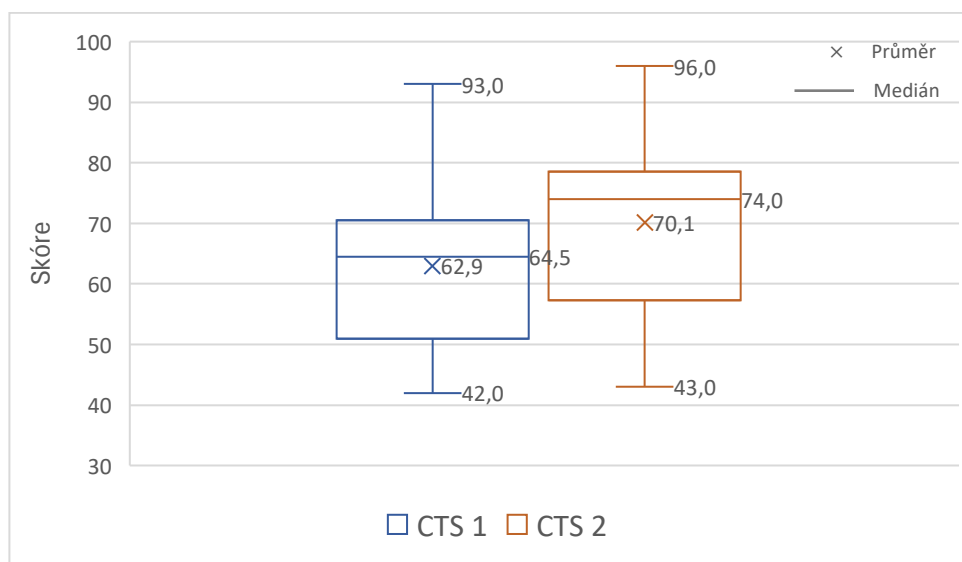
Výsledkem párového T-testu pro parametrická data (Tabulka 3) byl statisticky významný rozdíl mezi MCH 1 – MCH 2 i CTS 1 – CTS 2, což znamená signifikantní zlepšení dětí po intervenci v těchto měřených hodnotách. Efekt intervence byl v tomto případě střední až velký (0,59 resp. 0,71) ukazující na významný rozdíl před a po intervenci s potenciálním přínosem pro praxi.

	Průměr	Medián	SD	SE
MCH 1	16.4	14.0	6.2	1.5
MCH 2	19.1	18.5	5.5	1.4
CTS 1	62.9	64.5	14.5	3.6
CTS 2	70.1	74.0	14.5	3.6

Tabulka 4: **Deskriptivní ukazatele charakterizující soubor dat MCH 1,2 a CTS 1,2**, SD – směrodatná odchylka, SE – standartní chyba



Graf 1: **Hodnoty Měření a Chytání před a po intervenci**



Graf 2: Hodnoty Celkového testového skóru před a po intervenci

Data v tabulce 4 popisují hodnoty výsledků míření a chytání a celkový testový skór před a po intervenci pomocí základních deskriptivních statistických ukazatelů. Grafické znázornění stejných výsledků je zobrazeno v Grafu 1,2. Prokazatelně pomocí zvyšujících se hodnot je prokázán účinek intervence. Pro MCH se průměr hodnot zvětšil o 2,7 bodů a CTS o 7,2. Tyto výsledky lze vyčíst i z tabulky 3.

Nyní (Tabulka 5) budou uvedeny výsledky Wilcoxonova příznakového testu pro neparametrické dvojice porovnávaných se dat, ze kterých lze vyčíst, že statisticky významný výsledek nebyl u pokroku v manuálních dovednostech ( $p = 0,06$  resp  $0,07$ ). U ostatních měřených dovedností: MCH, BAL i Celkového percentilu byl pokrok signifikantní ( $p < 0,05$ ). Efekt intervence byl střední až velký ( $0,63 - 0,93$ ), největší byl zaznamenán u rovnovážných dovedností.

#### Wilcoxonův příznakový test

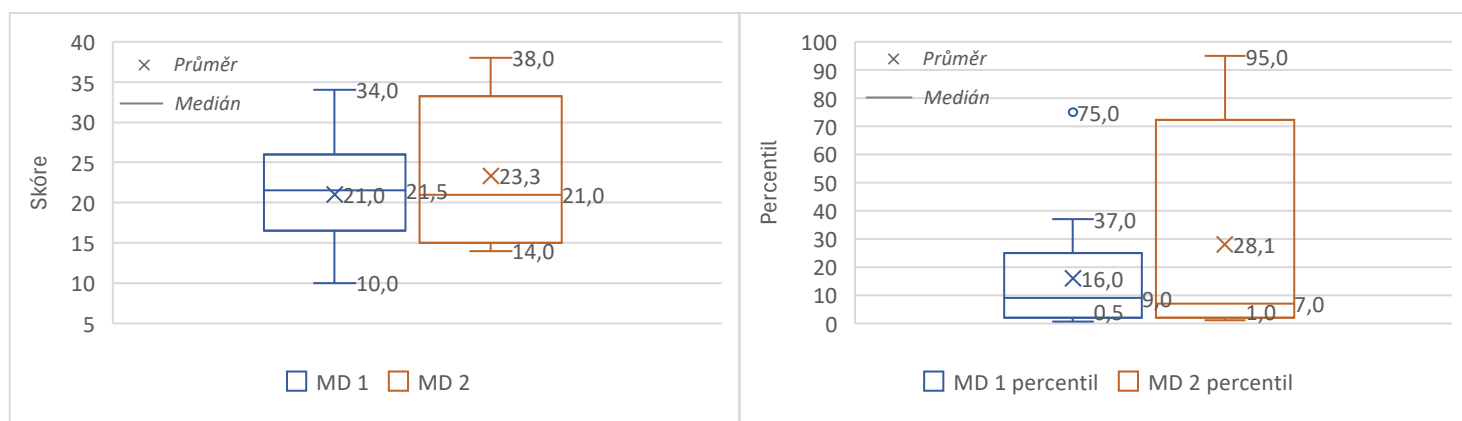
		Statistika	p	Průměrný rozdíl	SE rozdílu	Effect Size
MD 1	MD 2	38.0	0.06	-2.0	1.4	-0.44
MD 1 percentil	MD 2 percentil	24.0	0.07	-8.0	6.9	-0.47
MCH 1 percentil	MCH 2 percentil	19.5	0.02	-16.0	6.2	-0.63
BAL 1	BAL 2	4.5	0.03	-3.5	1.3	-0.75
BAL 1 percentil	BAL 2 percentil	1.0	0.01	-16.5	3.2	-0.93
Percentil 1	Percentil 2	13.5	0.01	-12.0	5.8	-0.74

$$H_0 \text{ měření 1} - \text{měření 2} < 0$$

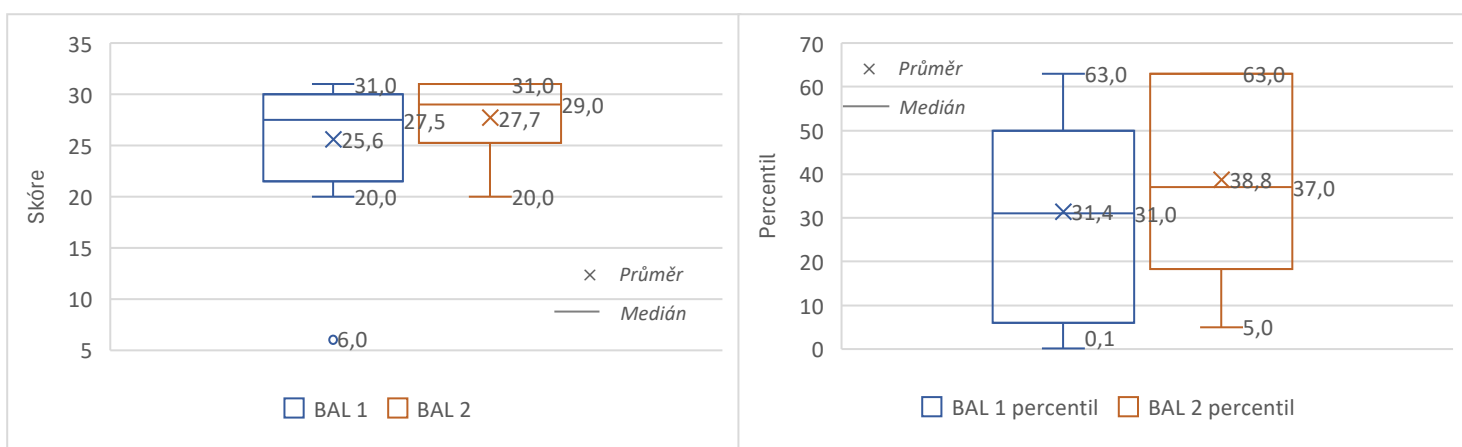
Tabulka 5: **Párový test pro neparametrická data (Wilcoxonův příznakový test)**, hypotéza: měření 2 > měření 1, statistika – hodnota testové statistiky měřící rozdíl středních hodnot srovnávaných dat, p – ukazatel statistické významnosti výsledku, průměrný rozdíl mezi porovnávanými hodnotami, SE rozdíl – standartní chyba rozdílu, effect size – velikost efektu

	Průměr	Medián	SD	SE
MD 1	21.0	21.5	6.5	1.6
MD 2	23.3	21.0	8.7	2.2
MD 1 percentil	16.0	9.0	20.1	5.0
MD 2 percentil	28.1	7.0	36.4	9.1
MCH 1 percentil	30.8	9.0	35.1	8.8
MCH 2 percentil	44.6	37.5	32.0	8.0
BAL 1	25.6	27.5	6.5	1.6
BAL 2	27.7	29.0	4.0	1.0
BAL 1 percentil	31.4	31.0	23.1	5.8
BAL 2 percentil	38.8	37.0	23.1	5.8
Percentil 1	19.4	9.0	27.1	6.8
Percentil 2	33.0	31.0	30.1	7.5
Pásma dle MABC-2 PŘED	2.0	2.0	1.0	0.2
Pásma dle MABC-2 PO	1.6	1.0	0.9	0.2

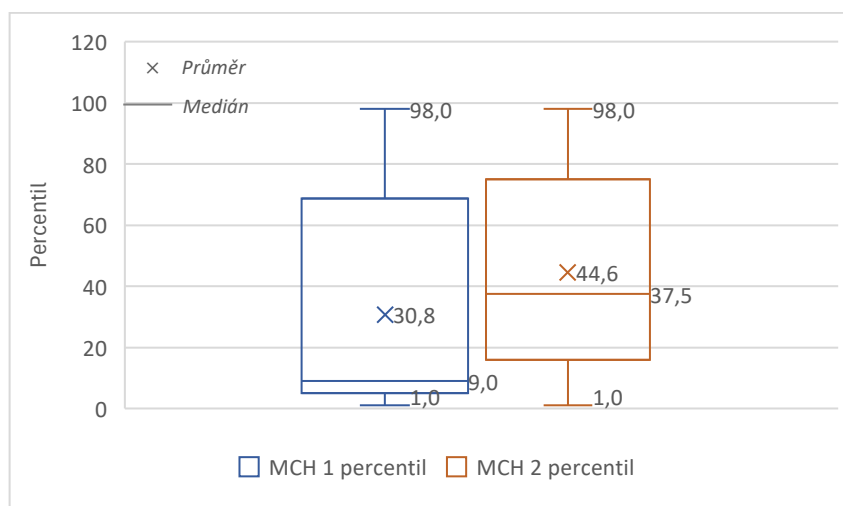
Tabulka 6: Deskriptivní ukazatele charakterizující soubor neparametrických dat, SD – směrodatná odchylka, SE – standardní chyba



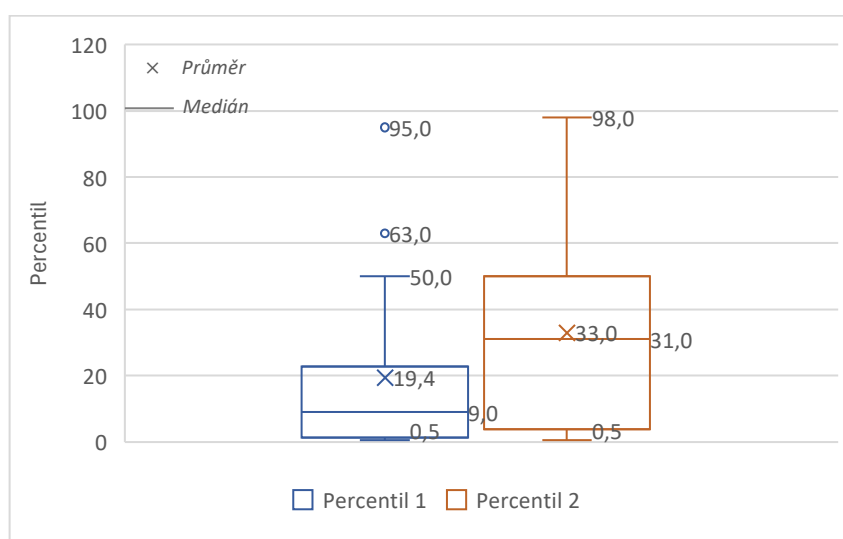
Graf 3: Grafické zpracování hodnot manuálních dovedností a percentilů před a po intervenci



Graf 4: Grafické zpracování hodnot rovnováhy a percentilů před a po intervenci



Graf 5: Percentilové umístění v dovednosti měření a chytání před a po intervenci



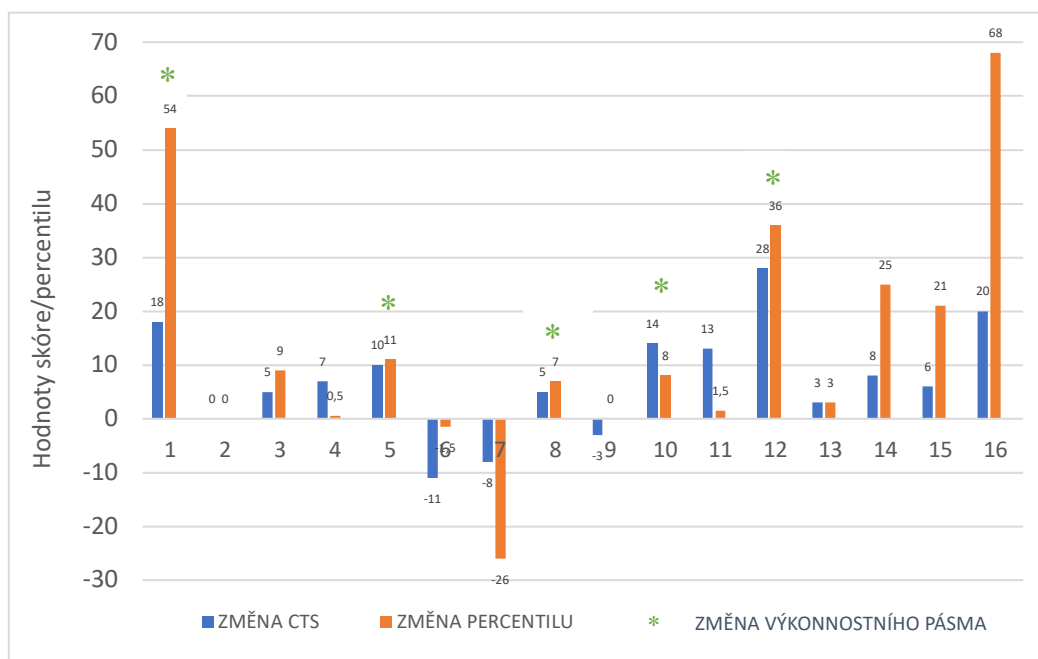
Graf 6: Výsledné celkové percentilové umístění před a po intervenci

V grafech 3-6 byly graficky znázorněny jednotlivé měřené atributy a dovednosti před a po intervenci. Jejich hodnoty, statistickou významnost nebo velikost efektu intervence lze nalézt v tabulkách 5 a 6. Posledními tabulkami (Tabulka 7 a 8) věnující se srovnání hodnot před a po intervenci je distribuce o zastoupení dětí v jednotlivých výkonnostních pásmech dle MABC-2. U 5 dětí došlo k přechodu mezi jednotlivými pásmy ve smyslu zlepšení (viz Tabulka 8, Graf 7).

Pásmo dle MABC-2 PŘED	Počet	Celkově (%)	Pásmo dle MABC-2 PO	Počet	Celkově (%)
1 (>15. percentil)	7	43.8 %	1 (>15. percentil)	11	68.8 %
2 (6.-15. percentil)	2	12.5 %	2 (6.-15. percentil)	1	6.3 %
3 (≤ 5. percentil)	7	43.8 %	3 (≤ 5. percentil)	4	25.0 %

Tabulka 8: Rozložení dětí dle pásem MABC-2 PŘED intervencí

Tabulka 7: Rozložení dětí dle pásem MABC-2 PO intervencí



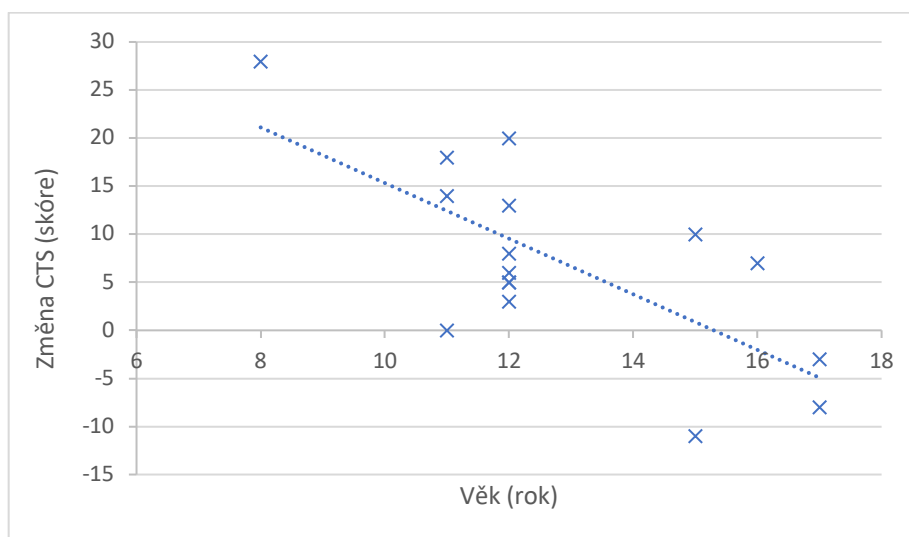
Graf 7: Změna CTS a celkového percentilu PŘED a PO intervenci + zobrazení změny výkonnostního pásma dle MABC-2

V tabulce 9 jsou pomocí korelace zjišťovány možné souvislosti anamnestických údajů (porodní hmotnost a dokončený gestační týden při narození) a také věku s účinkem intervence. Korelaci mezi dvěma proměnnými značí hodnota blíží se k  $-1$  nebo  $+1$ . Od hodnoty  $+0,7$  resp  $-0,7$  se dá považovat korelace za silnou. Z tabulky 9 vyplývá jediná významná korelace, a to negativní vliv věku dětí na změnu celkového testového skóre. Hodnota ( $r = -0,71$ ) je také statisticky významná ( $p = 0,002$ ). V praxi to znamená fakt, že v našem výzkumu se zvyšujícím se věkem klesal pokrok (změna) v celkovém testovém skóru a účinek intervence byl v tomto ohledu menší. Vliv porodních anamnestických údajů nebyl zřejmý ( $r = 0,44$  resp  $r = -0,05$ ).

		Věk	Změna CTS	Změna percentilu
<b>Změna CTS</b>	Pearson's r	-0.71	—	
	p-value	0.002	—	
<b>Změna percentilu</b>	Pearson's r	-0.56	0.759	—
	p-value	0.024	<.001	
<b>Porodní hmotnost</b>	Pearson's r	-0.59	0.437	0.14
	p-value	0.02	0.091	0.60
<b>Dokončený GT (týden)</b>	Pearson's r	-0.21	-0.054	-0.04
	p-value	0.444	0.843	0.897

Tabulka 9: Korelace mezi anamnestickými údaji a zaznamenanou změnou před a po intervenci, Pearson's r – Pearsonův korelační koeficient, p-value – ukazatel statistické významnosti výsledku





Graf 8: Korelační vztah mezi změnou CTS a věkem

### Souhrn výsledků

Výsledkem párových testů (Tabulky 3 a 5) byl statisticky významný rozdíl před a po intervenci mezi dovednostmi míření a chytání, rovnováhou i celkovými výsledky MABC-2 včetně jednotlivých i celkového percentilu. Efekt intervence byl střední až velký (viz Tabulky 3 a 5) s potenciálem přínosu pro praxi. Největší efekt byl zaznamenán u rovnovážných dovedností. V jediném případě, a to u manuálních dovedností nebylo zlepšení statisticky signifikantní. Výsledky však byly hraniční ( $p = 0,06$  resp  $0,07$ ). U 5 dětí došlo k přechodu mezi jednotlivými pásmy ve smyslu zlepšení (viz Graf 7), včetně 3 dětí, které opustily pásmo pod 5. percentilem a vymanily se tak z klasifikace DCD. Zároveň byl zaznamenán negativní nebo žádný vliv na výsledky (Graf 7) především u starších (15-17 let) dětí, který však neovlivnil umístění dětí ve výkonnostním pásmu. Tento výsledek byl ve shodě s korelacemi (Tabulka 9, Graf 8), kde se ukázal signifikantně negativní vliv věku na změnu výsledku celkového testového skóru. Vliv porodních anamnestických údajů na efekt intervence nebyl zřejmý.

## 5 DISKUZE

Skupinové intervence na redukcí motorických obtíží specificky u předčasně narozených dětí v dětském věku navazující na časnou péči během prvních let života je téma na okraji literatury i praxe. Již od 3 let jsou předčasně narozené děti při výskytu motorických obtíží klasifikovány nejrozšířenějšími klinickými testy MABC-2 a BOT-2, které nebyly primárně pro předčasně narozené děti vyvinuty, jako děti s DCD při velkých koordinačně-motorických obtíží pod 5. percentilem nebo s rizikem motorických obtíží/mírnějšími obtížemi mezi 6. a 15. percentilem. Proto se v posledních letech zvyšuje počet předčasně narozených dětí s motorickými obtížemi klasifikovanými jako děti DCD (Marková a Chvílová-Weberová 2020, s. 406). Zvýšená pravděpodobnost DCD u těchto dětí se u autorů liší od 6-8krát (Evensen et al. 2020) na 2krát (Panceri et al. 2023), ale je zřejmá. Avšak samotná klasifikace DCD je velmi nespecifická a mezi všemi dětmi s DCD je obrovská heterogenita (Hadders-Algra 2002). Navíc u předčasně narozených dětí mohou být motorické obtíže součástí širšího spektra neurologických poruch (Skranes 2019). U těchto dětí je také vyšší přetrvávající výskyt velkého spektra deficitů zvaných „soft signs“, které jsou spojené s mikrofokální nebo nefokální (difuzní) lézí CNS, což koreluje s nejčastějšími lézemi bílé hmoty předčasně narozených dětí (Breslau et al. 2000). Zároveň mezi soft signs a skóre MABC-2 nebyla nalezena žádná korelace. Prostřednictvím soft signs tedy nelze spolehlivě určit DCD. Variantou pro předčasně narozené děti by mohl být validní test ZNA zkoumající motorické schopnosti dětí ve věku 5-18 let, který nedagnostikuje DCD ani nekoreluje s MABC-2 a zaměřuje se i na testování soft signs (Blank et al. 2012). Je proto otázkou, zda-li by se nemělo k předčasně narozeným dětem z hlediska motorických obtíží v dětském věku přistupovat specificky, jak v diagnostice, tak v intervenci.

Literatura zaměřující se na pohybovou intervenci k redukcí motorických obtíží u předčasně narozených dětí v dětském věku však specificky neexistuje a vše je zavzato pod intervenci dětí s DCD, kde na předčasně narozené děti není brán ohled a většinou tento fakt není ve výběru vzorku obsažen. Stěžejní zdroje pro hodnocení intervence dětí s DCD (Blank et al. 2012; 2019; Preston et al. 2017; Offor et al. 2016; Smits-Engelsman et al. 2018;) ty předčasně narozené ve svých přehledech nezmiňují. Neuropatofyziologické podobnosti v CNS mezi dětmi s DCD a předčasně narozenými jsou však velmi nápadné (Zhang et al. 2015). I proto z důvodu nedostatku jiné literatury sloužily stěžejní zdroje pro intervenci dětí s DCD jako předloha pro tvorbu metodiky diplomové práce společně

s dalšími faktory. Byla zvolena fúze přístupů v menší míře orientovaného na tělesné funkce a ve větší míře na činnost a participaci. Z hlediska konkrétních přístupů se objevují prvky PMT, MIT, NTT a CO-OP, kdy největší prostor z hlediska vedení intervence zaujímal koncept NTT. I přesto, že doporučení preferují přístup orientovaný na činnost a participaci, který má i prokazatelně větší účinnost (Smits-Engelsman et al. 2018; Offor et al. 2016), byla zvolena kombinace přístupů díky heterogenitě a variabilitě DCD společně s množstvím komorbidit v klinickém obrazu předčasně narozených dětí (Yu et al. 2018). Do celé charakteristiky intervence byly také zařazeny z literatury vyplývající další prokazatelně úspěšné faktory, které bych nazval jako behaviorální a psychosociální: možnost volby, nápaditost, dostatek času, zařazení rodičů, zábavní prostředí, vnitřní motivace, pozornost k učení formou EFA, podpora aj. (Biotteau et al. 2016a; Blank et al. 2019; Preston et al. 2017; Psotta et al. 2020; Smits-Engelsman et al. 2018; Wulf a Lewthwaite 2016). Právě komplexita tohoto vytvořeného přístupu může být zároveň limitem pro svou menší specifičnost na rozdíl od ostatních studií, které zkoumají vliv jednoho určitého přístupu na sledovanou dovednost. Důvody pro komplexitu byly již uvedeny v diskuzi výše.

Výsledkem praktické intervenční části DP byl statisticky významný rozdíl před a po intervenci mezi většinou testovaných dovedností MABC-2, konkrétně se děti zlepšily v dovednostech míření a chytání (ES 0,59 respektive z hlediska percentilu 0,63), rovnováha (ES 0,75, percentilové zlepšení ES 0,93) i celkového testovacího skóru (ES 0,71) spolu s percentilovým hodnocení (ES 0,74), což jsou hodnoty nejdůležitější, které budou srovnávány se studii. To poukazuje na střední až velkou velikost účinku naší intervence s potenciálem přínosu pro praxi. Největšího efektu bylo dosaženo v rovnovážných dovednostech. V jediném případě, a to u manuálních dovedností nebylo zlepšení statisticky signifikantní (hraniční hodnoty  $p=0,06$  resp.  $0,07$ ). Smits-Engelsman et al. 2013 v metaanalýze 20 studií srovnávají efekty motorických intervencí u dětí s DCD. Průměrná velikost účinku (ES – effect size) všech přístupů v těchto studiích byla ES 0,56 s obecně mírným účinkem. Úkolově orientovaný přístup měl však hodnotu ES průměrně vyšší a to 0,89, procesně orientovaná intervence jen 0,12 s žádným účinkem. V další souhrnné metaanalýze (Yu et al. 2018) dětí s DCD ve věku 3-17 let bylo obsaženo 66 intervenčních motorických studií. Výsledný průměrný efekt těchto studií byl signifikantně hodnocený jako účinný s hodnotou ES 0,63. Tyto účinky byly robustnější u intervencí s použitím velké tréninkové dávky a tréninkového plánu s vysokou frekvencí. Mezi lety 2012 a 2019 došlo k aktualizaci doporučení pro klinickou praxi u dětí s DCD (Blank et al. 2019) a v tomto

období bylo zveřejněno 29 intervenčních studií. Celková velikost účinku napříč studiemi byla velká (ES 1,06), ale rozptyl těchto výsledků byl široký. Smits-Engelsman et al. 2018 v jejich novější metaanalýze obsahující 24 studií popsal ES > 1,40 u 4 intervencí, ES > 0,80 u 7 intervencí, ES > 0,50 u 8 studií a v posledních 5 případech ES < 0,50. Průměrné hodnoty ES pro jednotlivé přístupy nejsou relevantní z důvodu velkého rozptylu a extrémních hodnot. Nejúspěšnější intervencí z této metaanalýzy, co se týče ES (4,37) byl kombinovaný přístup orientovaný na tělesné funkce (zrak) a aktivitu 32 dětí 1. tříd (8 let) s DCD rozdělených do dvou skupin. Svým designem se výrazně lišila od ostatních intervencí. Vizuální terapie byla prováděna individuálně na 18 sezeních, jednou týdně po dobu 40 minut. V průběhu zrakové terapie byly percepční a motorické aktivity (rovnováha, koordinace ruka-oko, vestibulární integrace, aj.) kombinovány s vizuálními cvičeními zaměřenými na zlepšení okulomotoriky. Při zrakové terapii byly využívány různé okulomotorické pomůcky a přístroje. Tento ES byl však výrazný jen u jedné skupiny, druhá skupina měla ES 0,78. Je zajímavostí, že efekt intervence vydržel i po 2 letech re testování (ES 0,92) (Coetzee a Pienaar 2013). Další dvě nadprůměrně efektivní studie s ES 2,68 respektive ES 2,21 měly výrazně větší dávku intervence (10 týdnů s frekvencí 5x týdně resp. 8 týdnů s frekvencí 3x týdně), což může vypovídat o důležitosti délky intervence na výslednou velikost efektu. Naše intervence byla svou dávkou tvořena tak, aby byl efekt zaznamenatelný, což jak vyplynulo z literatury, bylo 9 týdnů s frekvencí 1x týdně po dobu 60 minut. Následující studie se již více podobaly designu naší intervence a zahrnovaly děti ve věku 6-12 let základní školy se srovnatelnou závažností motorického postižení < 16. percentilem v MABC a relativně krátkým tréninkem (5–10 týdnů). Caçola et al. 2016 prokázali silné účinky u přístupů zaměřeného na činnost u 24 dětí rozdělených do dvou skupin s rozdílnými aktivitami. Výsledkem byl ES 0,98-1,25 v MABC-2, kdy však statistická významnost p byla hraniční (0,04). Au et al. 2014 v randomizované kontrolní studii prokázali, že trénink zaměřený na činnost funkčních úkolů, které zahrnovaly stabilitu těla (stoj) a transport těla (např. chůze, běh, skákání...) s modifikacemi, měl velikost efektu ES 0,85 v BOT-2 testu. Randomizovaná kontrolní studie od Wilson et al. 2016 porovnávala účinek MIT a PMT u skupin dětí s DCD. Zlepšení v testu MABC byla srovnatelná mezi skupinami ES 0,51 u MIT a 0,49 u PMT. V kontrolované klinické studii (Ferguson et al. 2013) NTT prokázal velké zlepšení na MABC-2 (ES 2,3), zatímco přínos virtuální konzole Nintendo-Wii byl malý (ES 0,32). Intervence však probíhala 2x týdně 60 minut po dobu 9 týdnů, což je dvojnásobný čas oproti naší intervenci v DP. Smits-Engelsman et al. 2018 však uvádí efekt virtuálních videoher výraznější s ES 0,79, ale s

nestandardizovanými objektivizačními metodami. Tento přístup může být zábavnou a zároveň funkční variantou do budoucna. Další studie s rozvojem balančního tréninkového programu (Fong et al. 2016) pro zlepšení rovnováhy u 42 8 letých dětí s DCD probíhala po dobu 3 měsíců s frekvencí 2x týdně a zaznamenala efekt navíc i s odstupem 6 měsíců po intervenci (ES 0,6). Novější studie (Rameckers et al. 2023) zkoumala vliv NTT na motorickou výkonnost dětí ve věku 6–10 let s duální diagnózou. Konkrétně s DCD (<15. percentil) a specifickou poruchou učení. Intervence probíhala po dobu 9 týdnů 2x týdně 45 až 60 minut. Průměrný celkový testový skóre se významně zvýšil se střední velikostí účinku (ES 0,66). Tato studie vůbec poprvé zahrнула děti s duální diagnózou, což může být důležitý milník. Vzhledem k tématu DP lze jednoznačně říct, že neurovývojové poruchy se často vyskytují současně, navíc u předčasně narozených dětí je souběh diagnóz velmi častý. Tímto faktem se uvedená studie s naší intervencí podobají. Z hlediska srovnání efektu intervencí uvedených v tomto odstavci (po odstranění 4 studií s nesrovnatelným designem) lze zařadit intervenci diplomové práce do celkového vyššího průměru s ES 0,71. Průměrná velikost ES zmíněných studií ( $d=0,69$ ) a medián těchto studií ( $M=0,64$ ). Stejně tak by naše intervence patřila k nadprůměrným ve srovnání se (Smits-Engelsman et al. 2013) s ES 0,56 a (Yu et al. 2018) s ES 0,63 ve svých metaanalýzách. V porovnání s Blank et al. 2019 ES 1,06 je však naše velikost efektu nižší. Důležité je však zmínit, že z důvodu nedostatku specifické literatury bylo provedeno srovnání efektu intervence dětí s DCD a předčasně narozených dětí (z nichž 7 jako děti s DCD <5. percentil), což jsou již od začátku rozdílná vstupní kritéria.

Dle našich výsledků nebyl zaznamenán vliv porodních anamnestických údajů na efekt intervence. Ale byl zaznamenán negativní nebo žádný vliv intervence u starších (15-17 let) dětí. Tento výsledek je ve shodě se signifikantním Pearsonovým korelačním kvocientem ( $r = -0,71$ ), potvrzující negativní vliv věku na změnu výsledku celkového testového skóre. V praxi to znamená fakt, že v našem výzkumu se zvyšujícím se věkem od 15 let klesal pokrok (změna) v celkovém testovém skóre. Blank et al. 2019 v doporučení mezinárodní klinické praxe uvádí, že kvalitních longitudinálních studií na účinek intervence u adolescentů chybí a jsou předmětem pro budoucí výzkum. Zajímavostí s ohledem na věk v naší intervence je následující fakt. Pokud by se do statistické analýzy dat nezahrnovaly děti ve věku 15-17 let (5 dětí), účinek intervence by výrazně vzrostl. Velikost efektu u celkového testového skóre MABC-2 by byla ES 1,28 (percentil ES 1,0), což je výrazný rozdíl oproti ES 0,71 vyplývající z výsledků. ES u dovednosti míření a chytání by byl ES 0,7, změnila by se signifikantnost i účinek u manuálních dovedností (ES

0,91 s percentilem ES 1,0) a u rovnováhy by efekt také vzrostl na ES 1,0. Umístění zbylých 11 dětí v jednotlivých výkonnostních pásmech dle MABC-2 (pořadí 1-2-3) před 6-2-3 a po intervenci 9-1-1. Tento redukovaný vliv intervence na adolescenty se neshoduje s vyvrácením senzitivních období ve studii (Schlegel et al. 2021). Děti by měli reagovat na didaktické podněty neméně pozitivně až do mladé dospělosti. Tento přehled však obsahoval studie s lidmi bez motorických obtíží.

Z diskutovaného textu vyplývají limity intervence diplomové práce. Zásadní vliv na výsledky má malý vzorek dětí s nehomogenními vstupními faktory, a to především velký věkový rozptyl. Extrémní hodnoty převážně starších dětí zkreslují výsledný efekt intervence.

## ZÁVĚR

Slovní spojení poranění na nezralém CNS je přesně vystihující stav v perinatálním a postnatálním období předčasně narozených dětí. Během gestačního období, kdy se tyto děti již rodí dochází totiž k centrálním formovacím procesům, které jsou nezbytné pro optimální psychomotorický vývoj dětí. Výsledkem není jen lokalizovatelné poranění jednotlivých struktur centrální nervové soustavy, ale také dysmaturační změny ovlivňující vzájemnou konektivitu a dozrávání díky nejčastější lézi, kterou je poranění bílé hmoty. Tyto patologické jevy zahrnují samozřejmě i vliv na struktury podílející se na pohybu. Závažnost léze, struktura, míra vzájemné konektivity a mnohé další proměnné však činí výsledný obraz dětí nekonečně heterogenní a variabilní. Navíc dětský mozek je tkáň plastická, která je schopna se neustále proměňovat a přizpůsobovat svou funkci nastalým situacím, čímž se mění i poškozená funkční konektivita u těchto dětí. Tento shrnující odstavec teoretické části práce o centrálním poranění předčasně narozených dětí dává velkou naději a předpoklad, že hra lze dobře hrát i se špatně rozdanými kartami při narození.

Tvorba designu metodiky jako součást cíle práce byla komplexním shrnutím literaturou nabízených přístupů k intervenci dětí s DCD. O tuto širokou skupinu intervencí se bylo v metodice opíráno z důvodu opomíjení specifického přístupu ve stylu naší intervence k předčasně narozeným dětem v literatuře. Navíc neuropatofyziologické průsečíky mezi nedonošenými a dětmi s DCD jsou zřejmé a užitím klinických testů jsou při splnění kritérií také klasifikovány jako děti s DCD.

Cíle práce v podobě teoretického uvedení příčin motorických obtíží předčasně narozených dětí s popisem možné intervence a následně i praktického sestrojení, poskytnutí a zhodnocení longitudinální skupinové intervence, byly splněny. Z hlediska výsledků práce v kontextu hypotéz byly obě hypotézy vyvráceny. Hlavní hypotéza nemohla být potvrzena z důvodu nesignifikantního zlepšení dětí v manuálních dovednostech, která tak zůstala jediným atributem, u kterého nebylo zaznamenáno signifikantní zlepšení. Negativní vliv anamnestických údajů (nižší gestační týden narození a nižší porodní hmotnost) na pokrok po podstoupení intervence nebyl zřejmý, a tak byla vyvrácena i vedlejší hypotéza práce. V návaznosti na negativně signifikantní korelaci věku a změny celkového testového skóru lze říct, že v našich výzkumných podmínkách byla intervence efektnější u dětí pod 15 let. Ve statistické analýze dat po odstranění dětí nad 15 let (5) by se změnila velikost efektu intervence u celkového testového skóru MABC-2 o

téměř dvojnásobek s velkým příslibem pro zlepšování dětí pro praxi. I u ostatních měřených dovedností by se velikost efektu zvětšila. Výsledný efekt naší intervence je tedy tímto faktorem věku zkreslen a negativně ovlivněn.

Do budoucího výzkumného směřování je stále otázkou, zda-li se diagnostikou i intervencí více nespecifikovat na koordinačně-motorické obtíže předčasně narozených dětí v kontextu jejich příčin než na děti s DCD jako celek. S ohledem na klinickou praxi shledáváme za správné a důležité nabízet předčasně narozeným dětem intervence podobného typu, jako je v diplomové práci z důvodu jejich klinického obrazu při pohybu bez ohledu na to, jestli jsou hodnoceny jako děti s DCD. Také by měl výzkum v budoucnu více probádat vliv intervence na starší předčasně narozené děti (15 let a více). A v neposlední řadě je otázkou dlouhodobé udržení vlivu intervence.



## REFERENČNÍ SEZNAM

AL-YAHYA, Emad, Patrick ESSER, Benjamin D. WEEDON, Shawn JOSHI, Yan-Ci LIU et al. 2023. Motor learning in developmental coordination disorder: behavioral and neuroimaging study. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 17, 1187790. ISSN 1662-453X. Dostupné z: doi:10.3389/fnins.2023.1187790

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION, 2013. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* [online]. Fifth Edition. B.m.: American Psychiatric Association. ISBN 978-0-89042-555-8. Dostupné z: doi:10.1176/appi.books.9780890425596

AMY, Rose, 2017. *Little Learners* [online]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/@LittleLearnersVideos>

AU, Mei K, Wai M CHAN, Lin LEE, Tracy MK CHEN, Rosanna MW CHAU a Marco YC PANG, 2014. Core stability exercise is as effective as task-oriented motor training in improving motor proficiency in children with developmental coordination disorder: a randomized controlled pilot study. *Clinical Rehabilitation* [online]. 28(10), 992–1003. ISSN 0269-2155, 1477-0873. Dostupné z: doi:10.1177/026921551452759

BACK, Stephen A., 2015. Brain Injury in the Preterm Infant: New Horizons for Pathogenesis and Prevention. *Pediatric Neurology* [online]. 53(3), 185–192. ISSN 08878994. Dostupné z: doi:10.1016/j.pediatrneurol.2015.04.006

BACK, Stephen A., 2017. White matter injury in the preterm infant: pathology and mechanisms. *Acta Neuropathologica* [online]. 134(3), 331–349. ISSN 0001-6322, 1432-0533. Dostupné z: doi:10.1007/s00401-017-1718-6

BALL, G., J. P. BOARDMAN, D. RUECKERT, P. ALJABAR, T. ARICHI et al. 2012. The Effect of Preterm Birth on Thalamic and Cortical Development. *Cerebral Cortex* [online]. 22(5), 1016–1024. ISSN 1047-3211, 1460-2199. Dostupné z: doi:10.1093/cercor/bhr176

BARDID, Farid, Frederik J.A. DECONINCK, Sofie DESCAMPS, Liesbeth VERHOEVEN, Greet DE POOTER et al. 2013. The effectiveness of a fundamental motor skill intervention in pre-schoolers with motor problems depends on gender but not environmental context. *Research in Developmental Disabilities* [online]. 34(12), 4571–4581. ISSN 08914222. Dostupné z: doi:10.1016/j.ridd.2013.09.035

BARDID, Farid, Matthieu LENOIR, Floris HUYBEN, Kristine DE MARTELAER, Jan SEGHERS et al. 2017. The effectiveness of a community-based fundamental motor skill intervention in children aged 3–8 years: Results of the “Multimove for Kids” project. *Journal of Science and Medicine in Sport* [online]. 20(2), 184–189. ISSN 14402440. Dostupné z: doi:10.1016/j.jsams.2016.07.005

BELFORT, Mandy Brown a Terrie E. INDER, 2022. Human Milk and Preterm Infant Brain Development: A Narrative Review. *Clinical Therapeutics* [online]. 44(4), 612–621. ISSN 01492918. Dostupné z: doi:10.1016/j.clinthera.2022.02.011

BELLODAS SANCHEZ, Jenny a Mark KADROFSKE, 2019. Necrotizing enterocolitis. *Neurogastroenterology & Motility* [online]. 31(3). ISSN 1350-1925, 1365-2982. Dostupné z: doi:10.1111/nmo.13569

BIOTTEAU, Maëlle, Yves CHAIX a Jean-Michel ALBARET, 2016a. What Do We Really Know About Motor Learning in Children with Developmental Coordination Disorder? *Current Developmental Disorders Reports* [online]. 3(2), 152–160. ISSN 2196-2987. Dostupné z: doi:10.1007/s40474-016-0084-8

BIOTTEAU, Maëlle, Yves CHAIX, Mélody BLAIS, Jessica TALLET, Patrice PÉRAN a Jean-Michel ALBARET, 2016b. Neural Signature of DCD: A Critical Review of MRI Neuroimaging Studies. *Frontiers in Neurology* [online]. 7. ISSN 1664-2295. Dostupné z: doi:10.3389/fneur.2016.00227

BLANK, Rainer, Anna L BARNETT, John CAIRNEY, Dido GREEN, Amanda KIRBY et al. 2019. International clinical practice recommendations on the definition, diagnosis, assessment, intervention, and psychosocial aspects of developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology* [online]. 61(3), 242–285. ISSN 0012-1622, 1469-8749. Dostupné z: doi:10.1111/dmcn.14132

BLANK, Rainer, Bouwien SMITS-ENGELSMAN, Helene POLATAJKO a Peter WILSON, 2012. European Academy for Childhood Disability (EACD): Recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder (long version)\*. *Developmental Medicine & Child Neurology* [online]. 54(1), 54–93. ISSN 0012-1622, 1469-8749. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8749.2011.04171.x

BONNEY, Emmanuel, Dorothee JELSMA, Gillian FERGUSON a Bouwien SMITS-ENGELSMAN, 2017. Variable training does not lead to better motor learning compared to repetitive training in children with and without DCD when exposed to active video games. *Research in Developmental Disabilities* [online]. 62, 124–136. ISSN 08914222. Dostupné z: doi:10.1016/j.ridd.2017.01.013

BRESLAU, Naomi, Howard D CHILCOAT, Eric O JOHNSON, Patricia ANDRESKI a Victoria C LUCIA, 2000. Neurologic soft signs and low birthweight: their association and neuropsychiatric implications. *Biological Psychiatry* [online]. 47(1), 71–79. ISSN 00063223. Dostupné z: doi:10.1016/S0006-3223(99)00131-6

BRUCKERT, Lisa, Lauren R. BORCHERS, Cory K. DODSON, Virginia A. MARCHMAN, Katherine E. TRAVIS et al. 2019. White Matter Plasticity in Reading-Related Pathways Differs in Children Born Preterm and at Term: A Longitudinal Analysis. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 13, 139. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi:10.3389/fnhum.2019.00139

CAÇOLA, Priscila, Michael ROMERO, Melvin IBANA a Jennifer CHUANG, 2016. Effects of two distinct group motor skill interventions in psychological and motor skills of children with Developmental Coordination Disorder: A pilot study. *Disability and Health Journal* [online]. 9(1), 172–178. ISSN 19366574. Dostupné z: doi:10.1016/j.dhjo.2015.07.007

CIONI, Giovanni, Giulia D'ACUNTO a Andrea GUZZETTA, 2011. Perinatal brain damage in children. In: *Progress in Brain Research* [online]. B.m.: Elsevier, s. 139–154. ISBN 978-0-444-53884-0. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-53884-0.00022-1

CIONI, Giovanni, Emanuela INGUAGGIATO a Giuseppina SGANDURRA, 2016. Early intervention in neurodevelopmental disorders: underlying neural mechanisms. *Developmental Medicine & Child Neurology* [online]. 58(S4), 61–66. ISSN 0012-1622, 1469-8749. Dostupné z: doi:10.1111/dmcn.13050

COETZEE, Dané a Anita E. PIENAAR, 2013. The effect of visual therapy on the ocular motor control of seven- to eight-year-old children with Developmental Coordination Disorder (DCD). *Research in*

*Developmental Disabilities* [online]. 34(11), 4073–4084. ISSN 08914222. Dostupné z: doi:10.1016/j.ridd.2013.08.036

CPL, Kinderkinetics, 2020. *Move & Learn* [online]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/@movelearn8687>

DE KIEVIET, Jorrit F, Lydia ZOETEBIER, Ruurd M VAN ELBURG, R Jeroen VERMEULEN a Jaap OOSTERLAAN, 2012. Brain development of very preterm and very low-birthweight children in childhood and adolescence: a meta-analysis. *Developmental Medicine & Child Neurology* [online]. 54(4), 313–323. ISSN 0012-1622, 1469-8749. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8749.2011.04216.x

DE PAULA MACHADO, Ana Carolina Cabral, Livia DE CASTRO MAGALHÃES, Suelen Rosa DE OLIVEIRA a Maria Cândida Ferrarez BOUZADA, 2019. Is sensory processing associated with prematurity, motor and cognitive development at 12 months of age? *Early Human Development* [online]. 139, 104852. ISSN 03783782. Dostupné z: doi:10.1016/j.earlhumdev.2019.104852

DE KIEVIET, Jorrit F., Jan P. PIEK, Cornelieke S. AARNOUDSE-MOENS a Jaap OOSTERLAAN, 2009. Motor Development in Very Preterm and Very Low-Birth-Weight Children From Birth to Adolescence: A Meta-analysis. *JAMA* [online]. 302(20), 2235. ISSN 0098-7484. Dostupné z: doi:10.1001/jama.2009.1708

DOMAGALSKA-SZOPA, Małgorzata, Andrzej SZOPA, Maria Eugenia SERRANO-GÓMEZ, Magdalena HAGNER-DERENGOWSKA a Jakub BEHRENDT, 2022. Identification of risk factors in pre-term infants with abnormal general movements. *Frontiers in Neurology* [online]. 13, 850877. ISSN 1664-2295. Dostupné z: doi:10.3389/fneur.2022.850877

DOYON, Julien, Pierre BELLEC, Rhonda AMSEL, Virginia PENHUNE, Oury MONCHI et al. 2009. Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. *Behavioural Brain Research* [online]. 199(1), 61–75. ISSN 01664328. Dostupné z: doi:10.1016/j.bbr.2008.11.012

EVENSEN, Kari Anne I., Tordis USTAD, Marjaana TIKANMÄKI, Peija HAARAMO a Eero KAJANTIE, 2020. Long-term motor outcomes of very preterm and/or very low birth weight individuals without cerebral palsy: A review of the current evidence. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine* [online]. 25(3), 101116. ISSN 1744165X. Dostupné z: doi:10.1016/j.siny.2020.101116

FERGUSON, G.D., D. JELSMA, J. JELSMA a B.C.M. SMITS-ENGELSMAN, 2013. The efficacy of two task-orientated interventions for children with Developmental Coordination Disorder: Neuromotor Task Training and Nintendo Wii Fit training. *Research in Developmental Disabilities* [online]. 34(9), 2449–2461. ISSN 08914222. Dostupné z: doi:10.1016/j.ridd.2013.05.007

FERRARI, Fabrizio, Claudio GALLO, Marisa PUGLIESE, Isotta GUIDOTTI, Sara GAVIOLI et al. 2012. Preterm birth and developmental problems in the preschool age. Part I: minor motor problems. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine* [online]. 25(11), 2154–2159. ISSN 1476-7058, 1476-4954. Dostupné z: doi:10.3109/14767058.2012.696164

FITTS, P.M. a M.I. POSNER, 1968. *Human Performance* [online]. B.m.: Brooks/Cole Publishing. Basic Concepts in Psychology Series. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=YW4BoQEACAAJ>

FONG, Shirley S.M., X. GUO, Yoyo T.Y. CHENG, Karen P.Y. LIU, William W.N. TSANG et al. 2016. A Novel Balance Training Program for Children With Developmental Coordination Disorder: A Randomized

Controlled Trial. *Medicine* [online]. 95(16), e3492. ISSN 0025-7974. Dostupné z: doi:10.1097/MD.0000000000003492

FOULDER-HUGHES, La a Rwi COOKE, 2003. Motor, cognitive, and behavioural disorders in children born very preterm. *Developmental Medicine & Child Neurology* [online]. 45(02). ISSN 0012-1622, 1469-8749. Dostupné z: doi:10.1017/S0012162203000197

GANO, Dawn a A. James BARKOVICH, 2019. Cerebellar hypoplasia of prematurity: Causes and consequences. In: *Handbook of Clinical Neurology* [online]. B.m.: Elsevier, s. 201–216. ISBN 978-0-444-64029-1. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-64029-1.00009-6

GHEYSEN, Freja, Filip VAN OPSTAL, Chantal ROGGEMAN, Hilde VAN WAELVELDE a Wim FIAS, 2010. Hippocampal contribution to early and later stages of implicit motor sequence learning. *Experimental Brain Research* [online]. 202(4), 795–807. ISSN 0014-4819, 1432-1106. Dostupné z: doi:10.1007/s00221-010-2186-6

GHEYSEN, Freja, Hilde VAN WAELVELDE a Wim FIAS, 2011. Impaired visuo-motor sequence learning in Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities* [online]. 32(2), 749–756. ISSN 08914222. Dostupné z: doi:10.1016/j.ridd.2010.11.005

GOPAGONDANAHALLI, Krishna Revanna, Jingang LI, Michael C. FAHEY, Rod W. HUNT, Graham JENKIN et al. 2016. Preterm Hypoxic–Ischemic Encephalopathy. *Frontiers in Pediatrics* [online]. ISSN 2296-2360. Dostupné z: doi:10.3389/fped.2016.00114

GÖTHOVÁ, M., 2013. Postup u předčasného porodu s plodem na hranici viability (22.-25. týden) těhotenství. *Česká gynekologie*. (6), 573–583. ISSN 1805-4455.

GREENOUGH, William T., James E. BLACK a Christopher S. WALLACE, 1987. Experience and Brain Development. *Child Development* [online]. 58(3), 539. ISSN 00093920. Dostupné z: doi:10.2307/1130197

GRIFFITHS, Alison, Prue MORGAN, Peter J ANDERSON, Lex W DOYLE, Katherine J LEE a Alicia J SPITTLE, 2017. Predictive value of the Movement Assessment Battery for Children - Second Edition at 4 years, for motor impairment at 8 years in children born preterm. *Developmental Medicine & Child Neurology* [online]. 59(5), 490–496. ISSN 00121622. Dostupné z: doi:10.1111/dmcn.13367

GRIFFITHS, Alison, Rachel TOOVEY, Prue E MORGAN a Alicia J SPITTLE, 2018. Psychometric properties of gross motor assessment tools for children: a systematic review. *BMJ Open* [online]. 8(10), e021734. ISSN 2044-6055, 2044-6055. Dostupné z: doi:10.1136/bmjopen-2018-021734

HADDERS-ALGRA, Mijna, 2002. Two distinct forms of minor neurological dysfunction: perspectives emerging from a review of data of the Groningen Perinatal Project. *Developmental Medicine & Child Neurology* [online]. 44(8), 561–571. ISSN 0012-1622, 1469-8749. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8749.2002.tb00330.x

HADDERS-ALGRA, Mijna, 2018. Early human motor development: From variation to the ability to vary and adapt. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* [online]. 90, 411–427. ISSN 01497634. Dostupné z: doi:10.1016/j.neubiorev.2018.05.009

HALSBAND, Ulrike a Regine K. LANGE, 2006. Motor learning in man: A review of functional and clinical studies. *Journal of Physiology-Paris* [online]. 99(4–6), 414–424. ISSN 09284257. Dostupné z: doi:10.1016/j.jphysparis.2006.03.007

HARDWICK, Robert M., Claudia ROTTSCHY, R. Chris MIALL a Simon B. EICKHOFF, 2013. A quantitative meta-analysis and review of motor learning in the human brain. *NeuroImage* [online]. 67, 283–297. ISSN 10538119. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroimage.2012.11.020

HILLIER, Susan, 2007. Intervention for Children with Developmental Coordination Disorder: A Systematic Review. *Internet Journal of Allied Health Sciences and Practice* [online]. ISSN 1540580X. Dostupné z: doi:10.46743/1540-580X/2007.1159

HUDÁK, Radovan a David KACHLÍK, 2017. *Memorix anatomie*. 4. vydání. Praha: Triton. ISBN 978-80-7553-420-0.

INDER, Terrie E., Joseph J. VOLPE a Peter J. ANDERSON, 2023. Defining the Neurologic Consequences of Preterm Birth. *New England Journal of Medicine* [online]. 389(5), 441–453. ISSN 0028-4793, 1533-4406. Dostupné z: doi:10.1056/NEJMra2303347

IRIE, Keisuke, Amiri MATSUMOTO, Shuo ZHAO, Toshihiro KATO a Nan LIANG, 2021. Neural Basis and Motor Imagery Intervention Methodology Based on Neuroimaging Studies in Children With Developmental Coordination Disorders: A Review. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 15, 620599. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi:10.3389/fnhum.2021.620599

ISKUSNYKH, Igor Y. a Victor V. CHIZHIKOV, 2022. Cerebellar development after preterm birth. *Frontiers in Cell and Developmental Biology* [online]. 10, 1068288. ISSN 2296-634X. Dostupné z: doi:10.3389/fcell.2022.1068288

JONGBLOED-PEREBOOM, Marjolein, Anjo J.W.M. JANSSEN, Bert STEENBERGEN a Maria W.G. NIJHUIS-VAN DER SANDEN, 2012. Motor learning and working memory in children born preterm: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* [online]. 36(4), 1314–1330. ISSN 01497634. Dostupné z: doi:10.1016/j.neubiorev.2012.02.005

JONGBLOED-PEREBOOM, Marjolein, Anjo J.W.M. JANSSEN, K. STEINER, Bert STEENBERGEN a Maria W.G. NIJHUIS-VAN DER SANDEN, 2017. Implicit and explicit motor sequence learning in children born very preterm. *Research in Developmental Disabilities* [online]. 60, 145–152. ISSN 08914222. Dostupné z: doi:10.1016/j.ridd.2016.11.014

KAPELLOU, Olga, Serena J COUNSELL, Nigel KENNEA, Leigh DYET, Nadeem SAEED et al. 2006. Abnormal Cortical Development after Premature Birth Shown by Altered Allometric Scaling of Brain Growth. *PLoS Medicine* [online]. 3(8), e265. ISSN 1549-1676. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pmed.0030265

KARNI, Avi, Gundela MEYER, Peter JEZZARD, Michelle M. ADAMS, Robert TURNER a Leslie G. UNGERLEIDER, 1995. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature* [online]. 377(6545), 155–158. ISSN 0028-0836, 1476-4687. Dostupné z: doi:10.1038/377155a0

KATSCHMARSKY, Sharon, Sheree CAIRNEY, Paul MARUFF, Peter H. WILSON a Jon CURRIE, 2001. The ability to execute saccades on the basis of efference copy: impairments in double-step saccade performance in children with developmental co-ordination disorder. *Experimental Brain Research* [online]. 136(1), 73–78. ISSN 0014-4819, 1432-1106. Dostupné z: doi:10.1007/s002210000535

KOBESOVÁ, A. a P. KOLÁŘ, 2014. Developmental kinesiology: Three levels of motor control in the assessment and treatment of the motor system. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* [online]. 18(1), 23–33. ISSN 13608592. Dostupné z: doi:10.1016/j.jbmt.2013.04.002

KOHOUTEK, Milan, Jan HENDL, František VÉLE a Peter HIRTZ, 2005. *Koordinální schopnosti dětí: výsledky čtyřletého longitudinálního sledování vývoje vybraných somatických a motorických předpokladů dětí ve věku 8-11 let*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Fakulta tělesné výchovy a sportu. ISBN 978-80-86317-34-2.

KOLÁŘ, Pavel, 2020. *Rehabilitace v klinické praxi*. ISBN 978-80-7492-500-9.

KRAKAUER, John W., Alkis M. HADJIOSIF, Jing XU, Aaron L. WONG a Adrian M. HAITH, 2019. Motor Learning. In: Ronald TERJUNG, ed. *Comprehensive Physiology* [online]. 1. vyd. B.m.: Wiley, s. 613–663. ISBN 978-0-470-65071-4. Dostupné z: doi:10.1002/cphy.c170043

KWOK, Clarice, Margot MACKAY, Jennifer A. AGNEW, Anne SYNNESE a Jill G. ZWICKER, 2019. Does the Movement Assessment Battery for Children-2 at 3 years of age predict developmental coordination disorder at 4.5 years of age in children born very preterm? *Research in Developmental Disabilities* [online]. 84, 36–42. ISSN 08914222. Dostupné z: doi:10.1016/j.ridd.2018.04.003

LANGEVIN, Lisa Marie, Frank P. MACMASTER, Susan CRAWFORD, Catherine LEBEL a Deborah DEWEY, 2014. Common White Matter Microstructure Alterations in Pediatric Motor and Attention Disorders. *The Journal of Pediatrics* [online]. 164(5), 1157-1164. ISSN 00223476. Dostupné z: doi:10.1016/j.jpeds.2014.01.018

MANLEY, Brett J, Lex W DOYLE, Mark W DAVIES a Peter G DAVIS, 2015. Fifty years in neonatology: Fifty years in neonatology. *Journal of Paediatrics and Child Health* [online]. 51(1), 118–121. ISSN 10344810. Dostupné z: doi:10.1111/jpc.12798

MARKOVÁ, D. a M. CHVÍLOVÁ-WEBEROVÁ, 2020. *Předčasně narozené dítě: následná péče - kdy začíná a kdy končí?* ISBN 978-80-271-1745-1.

MŮČKOVÁ, Anita, M. JANURA a J. HÁLEK, 2017. Increased Muscle Tone in Pre-term Infants as a Sign of Neuromaturation and Options for its Assessment. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie* [online]. 80/113(2), 146–149. ISSN 12107859, 18024041. Dostupné z: doi:10.14735/amcsnn2017146

MUNYESHYAKA, Maxime a R. Douglas FIELDS, 2022. Oligodendroglia are emerging players in several forms of learning and memory. *Communications Biology* [online]. 5(1), 1148. ISSN 2399-3642. Dostupné z: doi:10.1038/s42003-022-04116-y

NAJAFABADI, Mahboubeh Ghayour, Behnaz SAGHAEI, Ardalan SHARIAT, Lee INGLE, Seyedeh Saeideh BABAZADEH-ZAVIEH et al. 2022. Validity and reliability of the movement assessment battery second edition test in children with and without motor impairment: A prospective cohort study. *Annals of Medicine & Surgery* [online]. ISSN 2049-0801. Dostupné z: doi:10.1016/j.amsu.2022.103672

NELSON, Alexandra B. a Anatol C. KREITZER, 2014. Reassessing Models of Basal Ganglia Function and Dysfunction. *Annual Review of Neuroscience* [online]. 37(1), 117–135. ISSN 0147-006X, 1545-4126. Dostupné z: doi:10.1146/annurev-neuro-071013-013916

NEULS, Filip, FTK UPOL. *Nervové řízení motoriky* [online]. FTK UPOL. B.m.: Fakulta tělesné kultury–Univerzita Palackého. Dostupné

z: [http://old.ftk.upol.cz/fileadmin/user\\_upload/FTKdokumenty/Katedra\\_fyziologie/FYO\\_13\\_bonus\\_rizeni\\_motoriky.pdf](http://old.ftk.upol.cz/fileadmin/user_upload/FTKdokumenty/Katedra_fyziologie/FYO_13_bonus_rizeni_motoriky.pdf)

OFFOR, Nkechi, Peace OSSOM WILLIAMSON a Priscila CAÇOLA, 2016. Effectiveness of Interventions for Children With Developmental Coordination Disorder in Physical Therapy Contexts: A Systematic Literature Review and Meta-Analysis. *Journal of Motor Learning and Development* [online]. 4(2), 169–196. ISSN 2325-3193, 2325-3215. Dostupné z: doi:10.1123/jmld.2015-0018

OHUMA, Eric O, Ann-Beth MOLLER, Ellen BRADLEY, Samuel CHAKWERA, Laith HUSSAIN-ALKHATEEB et al. 2023. National, regional, and global estimates of preterm birth in 2020, with trends from 2010: a systematic analysis. *The Lancet* [online]. 402(10409), 1261–1271. ISSN 01406736. Dostupné z: doi:10.1016/S0140-6736(23)00878-4

PANCERI, Carolina, Graciele SBRUZZI, Larissa ZANELLA, Andressa WILTGEN, Renato PROCIANOY et al. 2023. *Developmental Coordination Disorder in Preterm Children: A Systematic Review and Meta-Analysis* [online]. Dostupné z: doi:10.22541/au.169175894.49396166/v1

PAPÁČEK, Ondřej a Jaroslav OPAVSKÝ, 2022. Developmental coordination disorder and motor learning. *Rehabilitace a fyzikální lékařství* [online]. 29(1), 36–42. ISSN 12112658, 18054552. Dostupné z: doi:10.48095/ccrhfl202236

PLATT, M.J., 2014. Outcomes in preterm infants. *Public Health* [online]. 128(5), 399–403. ISSN 00333506. Dostupné z: doi:10.1016/j.puhe.2014.03.010

PLAVKA, R., 2018. *Výsledky novorozenecké úmrtnosti a morbidity v České republice v letech 1990-2018* [online]. 2018. Dostupné z: <http://www.neonatology.cz/zakldni-ukazatele>

PLESS, Mia a Marianne CARLSSON, 2000. Effects of Motor Skill Intervention on Developmental Coordination Disorder: A Meta-Analysis. *Adapted Physical Activity Quarterly* [online]. 17(4), 381–401. ISSN 0736-5829, 1543-2777. Dostupné z: doi:10.1123/apaq.17.4.381

POLATAJKO, Helene, Mervyn FOX a Cheryl MISSIUNA, 1995. An International Consensus on Children with Developmental Coordination Disorder. *Canadian Journal of Occupational Therapy* [online]. 62(1), 3–6. ISSN 0008-4174, 1911-9828. Dostupné z: doi:10.1177/000841749506200101

POLATAJKO, Helene, Angela MANDICH, Linda MILLER a Jennifer MACNAB, 2001. Cognitive Orientation to Daily Occupational Performance (CO-OP). *Physical & Occupational Therapy In Pediatrics* [online]. 20(2), 83–106. ISSN 0194-2638. Dostupné z: doi:10.1300/J006v20n02\_06

POULSEN, A. A., J. M. ZIVIANI a M. CUSKELLY, 2007. Perceived freedom in leisure and physical co-ordination ability: impact on out-of-school activity participation and life satisfaction. *Child: Care, Health and Development* [online]. 33(4), 432–440. ISSN 0305-1862, 1365-2214. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2214.2007.00730.x

PRESTON, Nick, Sara MAGALLÓN, Liam JB HILL, Elizabeth ANDREWS, Sara M AHERN a Mark MON-WILLIAMS, 2017. A systematic review of high quality randomized controlled trials investigating motor skill programmes for children with developmental coordination disorder. *Clinical Rehabilitation* [online]. 31(7), 857–870. ISSN 0269-2155, 1477-0873. Dostupné z: doi:10.1177/0269215516661014

PSOTTA, Rudolf, 2014. *MABC-2 Test motoriky pro děti (Příručka)*. Praha: Hogrefe - testcentrum.

PSOTTA, Rudolf, Reza ABDOLLAHIPOUR a Miroslav JANURA, 2020. The Effects of Attentional Focus Instruction on the Performance of a Whole-Body Coordination Task in Children With Developmental Coordination Disorder. *Research in Developmental Disabilities* [online]. 101, 103654. ISSN 08914222. Dostupné z: doi:10.1016/j.ridd.2020.103654

RAMECKERS, Eugène A. A., Roche CRAFFORD, Gillian FERGUSON a Bouwien C. M. SMITS ENGELSMAN, 2023. Efficacy of a Task-Oriented Intervention for Children with a Dual Diagnosis of Specific Learning Disabilities and Developmental Coordination Disorder: A Pilot Study. *Children* [online]. 10(3), 415. ISSN 2227-9067. Dostupné z: doi:10.3390/children10030415

ROBERTA'S GYM, 2019. *Little Sports* [online]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/@LittleSports>

ROGERS, Cynthia E., Rachel E. LEAN, Muriah D. WHEELLOCK a Christopher D. SMYSER, 2018. Aberrant structural and functional connectivity and neurodevelopmental impairment in preterm children. *Journal of Neurodevelopmental Disorders* [online]. 10(1), 38. ISSN 1866-1947, 1866-1955. Dostupné z: doi:10.1186/s11689-018-9253-x

ROZTOČIL, Aleš, 2008. *Moderní porodnictví*. 1. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-1941-2.

RYCKMAN, Justin, Claudia HILTON, Cynthia ROGERS a Roberta PINEDA, 2017. Sensory processing disorder in preterm infants during early childhood and relationships to early neurobehavior. *Early Human Development* [online]. 113, 18–22. ISSN 03783782. Dostupné z: doi:10.1016/j.earlhumdev.2017.07.012

SALMASO, Natalina, Beata JABLONSKA, Joseph SCAFIDI, Flora M VACCARINO a Vittorio GALLO, 2014. Neurobiology of premature brain injury. *Nature Neuroscience* [online]. 17(3), 341–346. ISSN 1097-6256, 1546-1726. Dostupné z: doi:10.1038/nn.3604

SEIDLER, Rachael, 2010. Neural Correlates of Motor Learning, Transfer of Learning, and Learning to Learn. *Exercise and Sport Sciences Reviews* [online]. 38(1), 3–9. ISSN 0091-6331. Dostupné z: doi:10.1097/JES.0b013e3181c5cce7

SCHLEGEL, Petr, Kamil JANIŠ a Dita CIBULKOVÁ, 2021. EXISTUJE SENZITIVNÍ OBDOBÍ PRO ROZVOJ KOORDINAČNÍCH SCHOPNOSTÍ? 25(3–4), 23–34. ISSN 1211-9261.

SCHOEMAKER, M. M., A. S. NIEMEIJER, K. REYNDERS a B. C. M. SMITS-ENGELSMAN, 2003. Effectiveness of Neuromotor Task Training for Children with Developmental Coordination Disorder: A Pilot Study. *Neural Plasticity* [online]. 10(1–2), 155–163. ISSN 2090-5904, 1687-5443. Dostupné z: doi:10.1155/NP.2003.155

SKRANES, Jon, 2019. Is developmental coordination disorder in preterm children the motor phenotype of more widespread brain pathology? *Acta Paediatrica* [online]. 108(9), 1559–1561. ISSN 0803-5253, 1651-2227. Dostupné z: doi:10.1111/apa.14825

SMITS-ENGELSMAN, Bouwien C M, Rainer BLANK, Anne-Claire VAN DER KAAAY, Rianne MOSTERD-VAN DER MEIJS, Ellen VLUGT-VAN DEN BRAND, Helene J POLATAJKO a Peter H WILSON, 2013. Efficacy of interventions to improve motor performance in children with developmental coordination disorder: a combined systematic review and meta-analysis. *Developmental Medicine & Child Neurology* [online]. 55(3), 229–237. ISSN 0012-1622, 1469-8749. Dostupné z: doi:10.1111/dmcn.12008

SMITS-ENGELSMAN, Bouwien, Sabine VINÇON, Rainer BLANK, Virginia H. QUADRADO, Helene POLATAJKO a Peter H. WILSON, 2018. Evaluating the evidence for motor-based interventions in



developmental coordination disorder: A systematic review and meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities* [online]. 74, 72–102. ISSN 08914222. Dostupné z: doi:10.1016/j.ridd.2018.01.002

SMYSER, Christopher D., Abraham Z. SNYDER, Joshua S. SHIMONY, Anish MITRA, Terrie E. INDER a Jeffrey J. NEIL, 2016. Resting-State Network Complexity and Magnitude Are Reduced in Prematurely Born Infants. *Cerebral Cortex* [online]. 26(1), 322–333. ISSN 1047-3211, 1460-2199. Dostupné z: doi:10.1093/cercor/bhu251

SPITTLE, Alicia J., Deborah DEWEY, Thi-Nhu-Ngoc NGUYEN, Rachel ELLIS, Alice BURNETT, Amanda KWONG, Katherine LEE, Jeanie L.Y. CHEONG, Lex W. DOYLE a Peter J. ANDERSON, 2021. Rates of Developmental Coordination Disorder in Children Born Very Preterm. *The Journal of Pediatrics* [online]. 231, 61-67.e2 [vid. 2024-04-06]. ISSN 00223476. Dostupné z: doi:10.1016/j.jpeds.2020.12.022

SPITTLE, Alicia Jane a Jane ORTON, 2014. Cerebral palsy and developmental coordination disorder in children born preterm. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine* [online]. 19(2), 84–89. ISSN 1744165X. Dostupné z: doi:10.1016/j.siny.2013.11.005

SPOTO, Giulia, Greta AMORE, Luigi VETRI, Giuseppe QUATROSI, Anna CAFEO, Eloisa GITTO, Antonio Gennaro NICOTERA a Gabriella DI ROSA, 2021. Cerebellum and Prematurity: A Complex Interplay Between Disruptive and Dysmaturational Events. *Frontiers in Systems Neuroscience* [online]. 15, 655164. ISSN 1662-5137. Dostupné z: doi:10.3389/fnsys.2021.655164

STILES, Joan a Terry L. JERNIGAN, 2010. The Basics of Brain Development. *Neuropsychology Review* [online]. 20(4), 327–348. ISSN 1040-7308, 1573-6660. Dostupné z: doi:10.1007/s11065-010-9148-4

TAM, Emily W.Y., Vann CHAU, Raphaël LAVOIE, M. Mallar CHAKRAVARTY, Ting GUO, Anne SYNNEs, Jill ZWICKER, Ruth GRUNAU a Steven P. MILLER, 2019. Neurologic Examination Findings Associated With Small Cerebellar Volumes After Prematurity. *Journal of Child Neurology* [online]. 34(10), 586–592. ISSN 0883-0738, 1708-8283. Dostupné z: doi:10.1177/0883073819847925

THÉBAUD, Bernard, Kara N. GOSS, Matthew LAUGHON, Jeffrey A. WHITSETT, Steven H. ABMAN, Robin H. STEINHORN, Judy L. ASCHNER, Peter G. DAVIS, Sharon A. MCGRATH-MORROW, Roger F. SOLL a Alan H. JOBE, 2019. Bronchopulmonary dysplasia. *Nature Reviews Disease Primers* [online]. 5(1), 78. ISSN 2056-676X. Dostupné z: doi:10.1038/s41572-019-0127-7

THOMPSON, Deanne K., Wai Yen LOH, Alan CONNELLY, Jeanie L. Y. CHEONG, Alicia J. SPITTLE, Jian CHEN, Claire E. KELLY, Terrie E. INDER, Lex W. DOYLE a Peter J. ANDERSON, 2020. Basal ganglia and thalamic tract connectivity in very preterm and full-term children; associations with 7-year neurodevelopment. *Pediatric Research* [online]. 87(1), 48–56. ISSN 0031-3998, 1530-0447. Dostupné z: doi:10.1038/s41390-019-0546-x

TWILHAAR, E. Sabrina, Rebecca M. WADE, Jorrit F. DE KIEVIET, Johannes B. VAN GOUDOEVEER, Ruurd M. VAN ELBURG a Jaap OOSTERLAAN, 2018. Cognitive Outcomes of Children Born Extremely or Very Preterm Since the 1990s and Associated Risk Factors: A Meta-analysis and Meta-regression. *JAMA Pediatrics* [online]. 172(4), 361. ISSN 2168-6203. Dostupné z: doi:10.1001/jamapediatrics.2017.5323

VAN STEENWINCKEL, Juliette, Anne-Laure SCHANG, Stéphanie SIGAUT, Vibol CHHOR, Vincent DEGOS et al., 2014. Brain damage of the preterm infant: new insights into the role of inflammation.

*Biochemical Society Transactions* [online]. 42(2), 557–563. ISSN 0300-5127, 1470-8752. Dostupné z: doi:10.1042/BST20130284

VOLPE, Joseph J., 2009a. Brain injury in premature infants: a complex amalgam of destructive and developmental disturbances. *The Lancet Neurology* [online]. 8(1), 110–124. ISSN 14744422. Dostupné z: doi:10.1016/S1474-4422(08)70294-1

VOLPE, Joseph J., 2009b. The Encephalopathy of Prematurity—Brain Injury and Impaired Brain Development Inextricably Intertwined. *Seminars in Pediatric Neurology* [online]. 16(4), 167–178. ISSN 10719091. Dostupné z: doi:10.1016/j.spn.2009.09.005

WILLIAMS, Jacqueline, Saman R. KASHUK, Peter H. WILSON, Graham THORPE a Gary F. EGAN, 2017. White matter alterations in adults with probable developmental coordination disorder: an MRI diffusion tensor imaging study. *NeuroReport* [online]. 28(2), 87–92. ISSN 0959-4965. Dostupné z: doi:10.1097/WNR.0000000000000711

WILLIAMS, Jacqueline, Katherine J LEE a Peter J ANDERSON, 2010. Prevalence of motor-skill impairment in preterm children who do not develop cerebral palsy: a systematic review. *Developmental Medicine & Child Neurology* [online]. 52(3), 232–237. ISSN 00121622, 14698749. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8749.2009.03544.x

WILSON, Peter H., Imke L.J. ADAMS, Karen CAEYENBERGHS, Patrick THOMAS, Bouwien SMITS-ENGELSMAN et al., 2016. Motor imagery training enhances motor skill in children with DCD: A replication study. *Research in Developmental Disabilities* [online]. 57, 54–62. ISSN 08914222. Dostupné z: doi:10.1016/j.ridd.2016.06.014

WILSON, Peter H, Scott RUDDOCK, Bouwien SMITS-ENGELSMAN, Helene POLATAJKO a Rainer BLANK, 2013. Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: a meta-analysis of recent research. *Developmental Medicine & Child Neurology* [online]. 55(3), 217–228. ISSN 0012-1622, 1469-8749. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8749.2012.04436.x

WILSON, Peter H, Bouwien SMITS-ENGELSMAN, Karen CAEYENBERGHS, Bert STEENBERGEN, David SUGDEN, et al, 2017. Cognitive and neuroimaging findings in developmental coordination disorder: new insights from a systematic review of recent research. *Developmental Medicine & Child Neurology* [online]. 59(11), 1117–1129. ISSN 00121622. Dostupné z: doi:10.1111/dmcn.13530

WILSON, Peter H., Patrick R. THOMAS a Paul MARUFF, 2002. Motor Imagery Training Ameliorates Motor Clumsiness in Children. *Journal of Child Neurology* [online]. 17(7), 491–498. ISSN 0883-0738, 1708-8283. Dostupné z: doi:10.1177/088307380201700704

WUANG, Yee-Pay, Jui-Hsing SU a Chwen-Yng SU, 2012. Reliability and responsiveness of the Movement Assessment Battery for Children—Second Edition Test in children with developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology* [online]. 54(2), 160–165. ISSN 0012-1622, 1469-8749. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8749.2011.04177.x

WULF, Gabriele a Rebecca LEWTHWAITE, 2016. Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning: The OPTIMAL theory of motor learning. *Psychonomic Bulletin & Review* [online]. 23(5), 1382–1414. ISSN 1069-9384, 1531-5320. Dostupné z: doi:10.3758/s13423-015-0999-9

YOKOI, Atsushi, Spencer A. ARBUCKLE a Jörn DIEDRICHSEN, 2018. The Role of Human Primary Motor Cortex in the Production of Skilled Finger Sequences. *The Journal of Neuroscience* [online]. 38(6), 1430–1442. ISSN 0270-6474, 1529-2401. Dostupné z: doi:10.1523/JNEUROSCI.2798-17.2017

YU, Jane J., Angus F. BURNETT a Cindy H. SIT, 2018. Motor Skill Interventions in Children With Developmental Coordination Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 99(10), 2076–2099. ISSN 00039993. Dostupné z: doi:10.1016/j.apmr.2017.12.009

ZÁDRAPOVÁ, M. a D. ČERVENÁKOVÁ, 2018. Křehká fyzioterapie předčasně narozených dětí. (6), 27–35. ISSN 2464-6784.

ZHANG, Yuning, Terrie E. INDER, Jeffrey J. NEIL, Donna L. DIERKER, Dimitrios ALEXOPOULOS, Peter J. ANDERSON a David C. VAN ESSEN, 2015. Cortical structural abnormalities in very preterm children at 7years of age. *NeuroImage* [online]. 109, 469–479. ISSN 10538119. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroimage.2015.01.005

ZOBAN, P., 2012. Nedonošený novorozenec. *Česko-slovenská pediatrie*. (67 (3)), 203–208. ISSN 1805-4501.

ZWICKER, Jill G., Cheryl MISSIUNA a Lara A. BOYD, 2009. Neural Correlates of Developmental Coordination Disorder: A Review of Hypotheses. *Journal of Child Neurology* [online]. 24(10), 1273–1281. ISSN 0883-0738, 1708-8283. Dostupné z: doi:10.1177/0883073809333537

## SEZNAM OBRÁZKŮ, SCHÉMAT, GRAFŮ A TABULEK

<i>Obrázek 1: Dva pohledy na lidský mozek (Stiles a Jernigan 2010).</i> .....	21
<i>Obrázek 2: Patogeneze selhání myelinizace v důsledku poranění bílé hmoty (WMI) (Back 2015).</i> .....	29
<i>Obrázek 3: Cystická a necystická (mikroskopická) PVL (Volpe 2009a).</i> .....	30
<i>Obrázek 4: Hemoragie germinální matrix – intraventrikulární krvácení (GMH-IVH) a GMH-IVH s periventrikulárním hemoragickým infarktem (PHI) (Volpe 2009a)</i> .....	32
<i>Obrázek 5: Potenciální sekvence událostí vedoucí k velkým mozkovým následkům pozorovaných u PVL (Volpe, 2009a).</i> .....	35
<i>Obrázek 6: Zjednodušené schéma obvodu bazálních ganglií (Nelson a Kreitzer 2014)</i>	40
<i>Obrázek 7: Kategorie motorického učení a jejich vztah: výběr cíle, výběr programu/akce, provedení (Krakauer et al. 2019).</i> .....	48
<i>Obrázek 8: Pyramida učení (Williams and Shellenberger 1996).</i> .....	50
<i>Obrázek 9: Oblasti mozku zapojené do motorického učení (Krakauer 2019)</i> .....	52
<i>Obrázek 10: Model učení dle (Doyon et al. 2009) popisující cerebrální plasticitu v kortiko-striálním a kortiko-cerebelárním systému v průběhu učení, zjednodušený na MA a MSL typ učení.</i> .....	59
<i>Obrázek 11: Začarovaný kruh neoptimálního učení (a), „virtuózní“ cyklus vylepšeného motorického učení (b) (Wulf a Lewthwaite 2016).</i> .....	76
<i>Schéma 1: Schématické znázornění podstaty podmiňující klinické příznaky i dlouhodobé důsledky DCD (Papáček a Opavský 2022).</i> .....	46
<i>Schéma 2: Přístupy, které se podílí na zvýšení efektivity motorického učení (Papáček a Opavský 2022).</i> .....	77
<i>Vývojový diagram 1: Proces výběru probandů</i> .....	79
<i>Tabulka 1: Popis experimentálního souboru dětí</i> .....	83
<i>Tabulka 2: Deskriptivní statistické zpracování hodnocení dle MABC-2</i> .....	83
<i>Tabulka 3: Párový test pro parametrická data MCH1,2 a CTS 1,2</i> .....	84
<i>Tabulka 4: Deskriptivní ukazatele charakterizující soubor dat MCH 1,2 a CTS 1,2</i> ....	84
<i>Tabulka 5: Párový test pro neparametrická data (Wilcoxonův příznakový test)</i> .....	85
<i>Tabulka 6: Deskriptivní ukazatele charakterizující soubor neparametrických dat</i> .....	86
<i>Tabulka 7: Rozložení dětí dle pásem MABC-2 PO intervenci</i> .....	87

<i>Tabulka 8: Rozložení dětí dle pásem MABC-2 PŘED intervencí</i> .....	87
<i>Tabulka 9: Korelace mezi anamnestickými údaji a zaznamenanou změnou před a po intervenci</i> .....	88
<i>Graf 1: Hodnoty Míření a Chytání před a po intervenci</i> .....	84
<i>Graf 2: Hodnoty Celkového testového skóru před a po intervenci</i> .....	85
<i>Graf 3: Grafické zpracování hodnot manuálních dovedností a percentilů před a po intervenci</i> .....	86
<i>Graf 4: Grafické zpracování hodnot rovnováhy a percentilů před a po intervenci</i> .....	86
<i>Graf 5: Percentilové umístění v dovednosti míření a chytání před a po intervenci</i> .....	87
<i>Graf 6: Výsledné celkové percentilové umístění před a po intervenci</i> .....	87
<i>Graf 7: Změna CTS a celkového percentilu PŘED a PO intervenci + zobrazení změny výkonnostního pásma dle MABC-2</i> .....	88
<i>Graf 8: Korelační vztah mezi změnou CTS a věkem</i> .....	89

# PŘÍLOHY

## **Příloha č. 1: Dopis rodičům a dětem**

Milé děti, vážení rodiče, dobrý den,

jmenuji se Ondřej Zavadil a společně s doc. PaedDr. Libuší Smolíkovou PhD. pod záštitou Centra komplexní péče (CKP) pro děti s perinatální zátěží na Klinice pediatrie a dědičných poruch metabolismu ve Všeobecné fakultní nemocnici v Praze pořádáme bezplatný pilotní kroužek, který má za cíl rozvíjet pohybový potenciál předčasně narozených dětí. Zlepšením koordinačně pohybových dovedností se mohou dětem otevřít další obzory v oblastech pohybu, sportu, sociálních vztahů, a dalších aspektů života, které následně mimo zlepšení v dané pohybové oblasti vedou i k vyššímu sebevědomí a usazení v kolektivu vrstevníků, ale i společnosti jako takové.

Jsem studentem magisterského programu oboru fyzioterapie na 2. lékařské fakultě Univerzity Karlovy. Důvodem psaní tohoto dopisu je oslovení dětí a Vás rodičů s nabídkou spoluúčasti na zdokonalování a zlepšování pohybových dovedností Vašich dětí. Tato intervence je součástí výzkumné části diplomové práce s názvem „Pilotní tvorba longitudinální skupinové intervence pro předčasně narozené děti s perinatální zátěží ve věku 10-12 let k redukci poruch koordinačních schopností“.

Fyzioterapie dětí mě velmi zajímá, a proto jsem se v CKP zapojil do sledování a testování pohybových schopností dětí, jejichž start do života byl z důvodu předčasného narození provázen značnými komplikacemi. Právě výsledky testování obsažené v mé bakalářské práci ve mně vyvolaly myšlenku na téma diplomové práce. Obě práce jsou pod vedením paní doc. PaedDr. Libuše Smolíkové Ph.D., která 13 let pracuje jako odborný konzultant a fyzioterapeut v CKP a více jak 50 let ve FN v Motole s dětmi s pohybovou a respirační problematikou. Diplomka je rovněž součástí grantového projektu „Péče o duševní zdraví předčasně narozených dětí“, řešitelkou grantu z Norských fondů je MUDr. Daniela Marková, vedoucí CKP pro děti s perinatální zátěží. V rámci tohoto projektu již byly Vaše děti detailně vyšetřeny vývojovým pediatrem (MUDr. D. Marková), pneumologem (MUDr. J. Tuková, Ph.D), psychologem (tým dětských psychologů), psychiatrem (tým dětských psychiatrů) a fyzioterapeuty nebo ergoterapeutem (doc. PaedDr. L. Smolíková, Ph.D. + studenti, Mgr. E. Haškovcová).

Ze závěrů mé bakalářské práce vyplynulo, že fyzioterapie předčasně narozených dětí, byla ukončena, jakmile byly děti schopny samostatné chůze. Z všeobecné praxe a vědeckých studií však jasně vyplývá, že chybí návaznost v léčebně-pohybové terapii a péči. A to dokonce navzdory tomu, že tyto **děti jsou 6-8krát pravděpodobněji ohroženy vývojovou poruchou pohybové koordinace, která je vedena v dětské neurologii pod diagnózou vývojová dyspraxie, tedy laicky řečeno „takové nešikovné děti“**. V rámci své diplomky bych se rád zaměřil na zlepšení pohybových dovedností předčasně narozených dětí a poskytnul jim odborně vedené hodiny pohybových aktivit.

A proto bych vás rád požádal o spolupráci s cílem zlepšit pohybové schopnosti vašich dětí. Připravil jsem program na 9týdenní pohybové skupinové cvičení 4-6 dětí v jedné skupince s frekvencí 1x týdně na 60 minut. Jedná se o zábavný a pestrý rozvíjející pohybový kroužek pro děti. Při každém setkání se soustředíme na zdokonalení jiné složky pohybu jako například rovnováhu, skoky, chytání, házení, reakční schopnosti, rytmicitu, uvědomění si pohybu svým prožitkem, vnímání vlastního těla a mnohé další. Zároveň se více zaměříme na konkrétní deficity, které pohybový test odhalil u jednotlivých dětí a konkrétněji budeme pracovat na jejich odstranění. Kamarádké cvičení bude koncipováno do zábavných her.

Úvodní termín prvního cvičení je stanoven na polovinu ledna roku 2024 a pohybové kroužky se budou konat v tělocvičně rehabilitace GeRi na adrese Ostrovského 22, Praha 5 Smíchov (v blízkosti zastávky metra Anděl a autobusového nádraží Na Knížecí), kde nyní pracuji při studiu. **Všechny cvičební lekce jsou bezplatné.**

Touto cestou bych Vás chtěl požádat o svolení zapojit Vaše dítě do výše popsané výzkumné pohybové intervence. Zároveň nabízím možnost (viz anketa) volby preferovaného dne i času v týdnu, který by Vám nejvíce vyhovoval. V případě dotazů jsem Vám plně k dispozici na emailové adrese: [zavadil.ondrej@email.cz](mailto:zavadil.ondrej@email.cz) nebo na tel. čísle: 607944642. Paní docentku Smolíkovou můžete kontaktovat na adrese [liba.smolikova@gmail.com](mailto:liba.smolikova@gmail.com) nebo na tel. čísle 607955982. Náš cvičební záměr podpořila hlavní řešitelka grantu z Norských fondů MUDr. Daniela Marková. Veškeré údaje i výsledky budou statistickou a výpovědní součástí závěrečné zprávy grantu, a především budou interpretovány přísně anonymně a individuálně předány každému z Vás i s doporučením, jak ve cvičení s dítětem pokračovat v budoucnosti. Důsledné zdokonalování pohybových dovedností těchto dětí je i v kontextu zvýšení jejich

sebeuvědomění v psychosociálním kontextu v dětském kolektivu a následně také v průběhu jejich celého života.

Pevně věřím, že mou žádost zvážíte a přijmete s pochopením. Zařazení vašeho dítěte do pohybového kroužku bude pozitivním přínosem nejen pro něj, ale i pro Vás rodiče formou edukace pohybového režimu dětí. Zároveň svým svolením podpoříte a zdokonalíte budoucí intervenci pro děti, které ji budou také potřebovat.

Velmi Vám děkuji za věnovaný čas i ochotu při možné spolupráci, vážím si toho. Po promyšlení Vašich možností Vás poprosíme o krátkou odpověď společně s uvedením preferovaných termínů, a to do Mikuláše (kvůli skladbě finálních skupinek), **tedy do 5.12. 2023**, formou odpovědi na obdržný email. Poté Vám budou do Vánoc zaslány konkrétní bližší informace o následných krocích.

Anketa (možnosti termínů) - uveďte všechny možnosti, které Vám vyhovují:

Úterý

- 16–17 h
- 19–20 h

Středa

- 15–16 h
- 16–17 h
- 17–18 h
- 18–19 h
- 19–20 h

Čtvrtek

- 15–16 h
- 16–17 h
- 17–18 h
- 18–19 h
- 19–20 h



S pozdravem a přáním všeho dobrého

*Bc. Ondřej Zavadil a*

*doc. PaedDr. Libuše Smolíková, Ph.D.*

respirační fyzioterapeut, mezinárodní lektor ACT/RFT

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

Univerzita Karlova, 2. lékařská fakulta

Fakultní nemocnice v Motole

V Úvalu 84, 150 06 Praha 5

Česká republika

Tel. - vzkazy sekretariát: +420 2 2443 9260

e-mail: [libuse.smolikova@lfmotol.cuni.cz](mailto:libuse.smolikova@lfmotol.cuni.cz)

korespondenční e-mail: [liba.smolikova@gmail.com](mailto:liba.smolikova@gmail.com)

phone: +420 607 955 982

a

Centrum komplexní péče pro děti s perinatální zátěží

respirační fyzioterapeut – pediatrická fyziospecializace: respirační handling

držitelka certifikátu pro MABC-2, Test motorických dovedností dětí

Klinika pediatrie a dědičných poruch metabolismu

Univerzita Karlova, 1. lékařská fakulta

Všeobecná fakultní nemocnice

Ke Karlovu 2, 121 09 Praha 2

Česká republika

Telefon recepce CKP: 224967354

e-mail: [libuse.smolikova@vfn.cz](mailto:libuse.smolikova@vfn.cz)

korespondenční e-mail: [liba.smolikova@gmail.com](mailto:liba.smolikova@gmail.com)

phone: +420 607 955 982

Praha, 30.11. 2024