

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

**VYUŽITÍ MOTORICKÉHO UČENÍ U VÝVOJOVÉ PORUCHY  
KOORDINACE VE FYZIOTERAPII**

Diplomová práce  
(bakalářská)

Autor: Ondřej Papáček

Vedoucí práce: prof. MUDr. Jaroslav Opavský, CSc.

Olomouc 2021

**Jméno a příjmení autora:** Ondřej Papáček

**Název bakalářské práce:** Využití motorického učení u vývojové poruchy koordinace ve fyzioterapii

**Pracoviště:** Katedra fyzioterapie

**Vedoucí bakalářské práce:** prof. MUDr. Jaroslav Opavský, CSc.

**Rok obhajoby bakalářské práce:** 2021

**Abstrakt:**

Diagnóza vývojové poruchy koordinace je v současné době i přes velký počet publikací, které se jí zabývají nedostatečně rozpoznávána. Proto bylo jedním z cílů práce zdůraznit její závažnost a posoudit kvalitu života jedinců s touto diagnózou. Tato práce formou rešerše shromažďuje recentní poznatky o etiologii, diagnostice a terapeutických přístupech u vývojové poruchy koordinace. Jedná se o dílo, které komplexně pojímá neurální i klinické koreláty motorického učení ve vztahu k vývojové poruše koordinace. Z výzkumu vyplynula potřeba cílené intervence a její dobrá účinnost. Práce obsahuje přehled současně využívaných terapeutických přístupů, u kterých byla posouzena jejich efektivita. V závěru jsou uvedena doporučení pro klinickou diagnostiku, budoucí výzkum a evidence-based strategii terapie.

**Klíčová slova:** vývojová porucha koordinace, motorické učení, neuroplasticita, řízení pohybu

Souhlasím s půjčováním bakalářské práce v rámci knihovních služeb.

**Author's first name and surname:** Ondřej Papáček

**Title of Bachelor Thesis:** The Use of Motor Learning in Developmental Coordination Disorder in Physiotherapy

**Department:** Department of Physiotherapy

**Thesis supervisor:** prof. MUDr. Jaroslav Opavský, CSc.

**Year of presentation:** 2021

**Abstract:**

Despite high a number of research papers published on the topic of developmental coordination disorder it is still often under-recognized. Thus one of the goals of this research paper was to emphasize its severity and assess the quality of life of these individuals. This work accumulates recent findings in etiology, diagnostics and therapeutic approaches to developmental coordination disorder. This paper comprehensively brings together findings from neurosciences as well as clinical trials of motor learning in relation to developmental coordination disorder. The research has shown the need for therapy and good efficiency of targeted intervention. This paper presents an overview of currently used therapeutic approaches along with assessment of their efficiency. In the conclusion, recommendations for clinical diagnostics, future research and evidence-based therapeutic approaches have been outlined.

**Key words:** developmental coordination disorder, motor learning, neuroplasticity, motor control

The author agrees with the use of this Bachelor thesis within the framework of interlibrary loans.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně pod vedením prof. MUDr. Jaroslava Opavského, CSc. a uvedl všechny literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 26.4. 2021

.....

Podpis

**Poděkování:**

Děkuji prof. MUDr. Jaroslavu Opavskému, CSc. za pomoc výrazně převyšující povinnosti vedoucího diplomové práce. Bez jeho udávání směru a korigování obsahu by jednoznačně vzniklo dílo nižší kvality. Děkuji i mé rodině, která mi umožňuje studium a poskytuje bezpodmínečnou podporu. Poslední poděkování patří Bc. Mikmekové a Mgr. Němčíkové za umožnění vypracování kazuistiky.

# Obsah

## Obsah

1 Úvod.....	9
2 Cíle .....	10
3 Vývojová porucha koordinace.....	11
3.1 Definice vývojové poruchy koordinace .....	11
3.2 Klinický obraz diagnózy a důsledky pro jedince s touto diagnózou.....	12
3.2.1 Motorické projevy.....	13
3.2.2 Zvýšené riziko nadměrné tělesné hmotnosti u vývojové koordinační poruchy.....	14
3.2.3 Vliv vývojové poruchy koordinace (VPK) na kvalitu života. ....	15
3.3 Současná prevalence VPK.....	15
3.3.1 Vliv nízké porodní hmotnosti a předčasného porodu na prevalenci VPK.	16
3.4 Přehled hypotéz o etiologii vývojové poruchy koordinace .....	17
3.5 Diagnostika vývojové poruchy koordinace .....	19
3.5.1 Nejčastěji používané klinické testy v hodnocení kritéria A.....	21
3.5.2 Rozšíření klinického testování. ....	24
3.6 Souhrn hlavních bodů a poznatků o VPK .....	26
3.6.1 Klinický obraz, prevalence a rizikové faktory. ....	26
3.6.2 Etiopatogeneze. ....	27
3.6.3 Klinické testování. ....	27
4 Neuroplasticita.....	29
4.1 Současný pohled na neuroplasticitu .....	29
4.2 Význam neuroplasticity pro motorické učení .....	29
4.3 Uplatnění poznatků neuroplasticity v klinické praxi.....	31
5 Motorické učení.....	32
5.1 Definice termínu.....	32

5.2 Řídicí struktury CNS v motorickém učení .....	32
5.2.1 Korové oblasti v motorickém učení. ....	32
5.2.2 Nejčastěji popisované struktury participující na motorickém učení. ....	33
5.3 Proces motorického učení .....	34
5.4 Implicitní a explicitní motorické učení .....	36
5.4.1 Základní charakteristika implicitního a explicitního motorického učení... ..	36
5.4.2 Externí orientace pozornosti u motorického učení. ....	37
5.5 Vliv pracovní paměti na motorické učení .....	39
5.5.1 Vliv verbální pracovní paměti na motorické učení. ....	39
5.5.2 Vliv zrakově-prostorové pracovní paměti na motorické učení. ....	39
5.6 Retence motorického učení .....	40
5.6.1 Vliv kontextuální interference na retenci motorického učení. ....	40
5.6.2 Úloha spánku v retenci motorického učení. ....	41
5.7 Transfer motorického učení. ....	43
5.7.1 Volba vhodné strategie transferu. ....	43
5.7.2 Recentní klinické studie zaměřené na možné zlepšení transferu. ....	44
5.8 Optimalizace motorického učení .....	45
5.9 Shrnutí poznatků o motorickém učení. ....	46
5.9.1 Zkoumané struktury CNS v souvislosti s motorickým učním. ....	46
5.9.2 Důležité informace o retenci a transferu motorického učení. ....	46
5.9.3 Optimalizace motorického učení pomocí psychologických faktorů. ....	47
6 Motorické učení u vývojové poruchy koordinace .....	49
6.1 Motorické učení u VPK. ....	49
6.1.1 Implicitní motorické učení u dětí s VPK. ....	50
6.1.2 Vizuo-motorické učení u jedinců s VPK. ....	50
7 Možnosti terapie VPK .....	52
7.1 Současné intervenční přístupy .....	52

7.2 Task-Oriented přístupy .....	54
7.2.1 Cognitive orientation to daily occupational practise (CO-OP).....	54
7.2.2 Neuromotor task training (NTT).....	55
7.2.3 Využití konzolových her v intervenci u VPK.....	56
7.3 Proces-Oriented přístupy .....	58
7.3.1 Metoda senzorické integrace.....	59
7.3.2 Kinestetický trénink. ....	59
7.3.3 Motor imagery training. ....	59
7.4 Externí zaměření pozornosti u dětí s VPK .....	61
7.5 Shrnutí poznatků o terapeutických přístupech u VPK .....	62
8 Kazuistika.....	64
8.1 Krátkodobý rehabilitační plán .....	67
8.2 Dlouhodobý rehabilitační plán .....	68
9 Diskuze .....	69
10 Závěr.....	75
11 Souhrn .....	77
12 Summary .....	78
13 Referenční seznam .....	80
14 Přílohy .....	98



# 1 Úvod

Tato práce vytváří komplexní náhled na motorické učení u diagnózy vývojové poruchy koordinace. Tato diagnóza je během posledního desetiletí v oblastech psychiatrie, neurologie, psychologie, ale i ve fyzioterapii čím dál více diskutována. Odborníci z řad lékařů, fyzioterapeutů a pedagogů však stále často neví o existenci této diagnózy, jakožto samostatné nosologické jednotky nebo zlehčují její důsledky. Neshody lze nalézt jak v popisovaných klinických symptomech či pohledech různých autorů na etiopatogenezi vývojové poruchy koordinace, tak v intervenčních přístupech, které využívají často protichůdných principů.

Výše uvedené důvody motivovaly vznik této práce, jenž formou rešerše shromáždí poznatky o závažnosti diskutované diagnózy, včetně zmínění rizikových faktorů. Dále uvádí současně využívané relevantní klinické testy, které slouží pro diagnostiku i posouzení efektu terapie. Po přečtení třetí kapitoly by měl i čtenář, který se doposud s vývojovou poruchou koordinace nasetkal, získat základní přehled o projevech, závažnosti a možnostech klinického testování.

Další částí práce je kapitola o neuroplasticitě, která vytváří základní předpoklad pro úspěšnost samotné terapie. Následují kapitoly o motorickém učení, protože tento proces podle současných poznatků neurofyziologie hraje v terapeutických přístupech, které dosahují léčebných efektů pomocí pohybové terapie, stěžejní roli. Práce shromáždí podstatné informace o motorickém učení důležité pro praxi i neurofyziologický podklad k této problematice. Jsou popsány i konkrétní deficity motorického učení u vývojové poruchy koordinace.

Poslední teoretickou část práce tvoří přehled současně využívaných terapeutických přístupů. Nejpodrobněji jsou popsány intervenční metody, přímo využívající principy motorického učení, nicméně byly porovnány i s ostatními přístupy.

Tato práce v některých částech popisuje recentní poznatky z oborů neurověd a obecně prezentuje poměrně velké množství informací. Kvůli těmto důvodům budou rozsáhlejší kapitoly na jejich konci obsahovat shrnutí poznatků, které má sloužit k lepší orientaci v problematice této složité diagnózy.

## 2 Cíle

Cílem této práce je formou rešerše vytvořit přehled současné literatury o diagnostice a možnostech fyzioterapeutické intervence u vývojové poruchy koordinace. Diagnostika i terapie se zaměřuje zejména na deficity v hrubé motorice, protože v této oblasti jsou fyzioterapeuti vysoce kompetentní. Jedním z cílů práce je i samotné poukázání na existenci a závažnost této diagnózy. V rámci diagnostiky budou shromážděny poznatky o relevantních klinických testech hrubé motoriky, které slouží k identifikaci hlavních problémů konkrétního jedince. Dalším cílem práce je shromáždění recentních poznatků o motorickém učení, jejich využití a doporučení pro terapii vývojové poruchy koordinace. Cílem poslední teoretické části této práce bylo shromáždění poznatků o efektivitě nejčastěji užívaných intervenčních přístupů u diagnózy vývojové poruchy koordinace.

## 3 Vývojová porucha koordinace

### 3.1 Definice vývojové poruchy koordinace

Vývojová porucha koordinace (VPK), jinak nazývána také vývojová dyspraxie nebo angl. „clumsiness“, může být definována následujícími způsoby. „Dyspraxie je vývojová porucha motoriky, při které je porušeno motorické učení a při provádění složitějších pohybových činností se projevuje poruchou obratnosti“ (Kolář, 2011, p. 533). Definice podle Šlachtové (2012) popisuje vývojovou dyspraxii jako „postižení nebo nezralost v organizaci pohybů, která vede k připojeným obtížím v jazyce, percepci a myšlení“ (p. 23). V mezinárodní klasifikaci nemocí desáté edice (MKN 10) najdeme tuto diagnózu pod heslem F82 a může být v současné době stanovena pouze dětským neurologem či psychiatrem. Podle MKN 10 rysy poruchy představuje poškození motorické koordinace, které není způsobeno mentální retardací, ani vrozeným či získaným neurologickým onemocněním. Pečlivé klinické vyšetření posléze odhalí vývojově nervovou nezralost v hrubé a jemné motorice. MKN 10 používá i termín syndrom nemotorného dítěte, který se zdá být necitlivý, ale relativně výstižně popisuje klinický obraz této diagnózy.

American Psychiatric Association (APA) (2013) vytvořila přesnější popis v materiálu páté edice Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders páté edice (DSM-V). Aby byl jedinec označen touto diagnózou, musí splňovat kritéria A-D.

A: Získání a provedení motorických dovedností je značně pod úrovní očekávání, pro jedincův chronologický věk, i v případě vytvoření podmínek vhodných k učení a užití naučených dovedností. Potíže se manifestují jako nešikovnost (pouštění věcí z rukou či narážení do objektů) i jako pomalost, nepřesnost, při provádění pohybových aktivit (chytání objektu, stříhání nůžkami, psaní, jízda na kole nebo participace ve sportu).

B: Tyto motorické dovednosti z kritéria A signifikantně a perzistentně zasahují do aktivit denního života, běžných pro daný chronologický věk (sebeobsluha, osobní hygiena, hra), dále ovlivňuje školní produktivitu, předškolní, školní i volnočasové aktivity.

C: Počátek symptomů je v brzkém vývojovém období

D: Deficit pohybových dovedností nemůže být vysvětlen intelektuální disabilitou (vývojovou poruchou intelektu) nebo postižením zrakových funkcí či neurologickou

diagnózou, ovlivňující pohyb (dětská mozková obrna, svalová dystrofie, degenerativní poruchy) (APA, 2013).

### **3.2 Klinický obraz diagnózy a důsledky pro jedince s touto diagnózou**

Tato diagnóza se vykytuje napříč všemi kulturami, rasami a socio-ekonomickými podmínkami. Může existovat separátně, avšak často i společně s jinými specifickými vývojovými poruchami, přičemž nejčastější jsou specifické poruchy řeči, poruchy autistického spektra nebo poruchy pozornosti jako Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) (Blank, Smits-Engelsman, Polatajko & Wilson, 2011).

V současné době tato diagnóza není dostatečně identifikována, jednak z důvodu velice širokého spektra symptomů, tak i z nedostatečného povědomí ať už nezdravotnických povolání (učitelé/ trenéři) či zdravotníků (zejm. lékaři, fyzioterapeuti a ergoterapeuti). Tyto osoby buď neví o existenci této diagnózy, neznají její diagnostická kritéria nebo nekladou důraz na cílenou intervenci. Po přečtení této kapitoly by měl čtenář získat přehled o projevech i klinické diagnostice popisovaného syndromu.

VPK do značné míry ovlivňuje aktivity denního života, výkon ve škole i sportu. Dále zpomaluje dosažení určitých motorických milníků, jako např. zavazování tkaniček, oblékání, psaní, schopnost udržet rovnováhu nebo chytání objektů. (Miyahara & Register, 2000) Podle Koláře et al. (2011) se VPK podílí na vzniku chronických onemocnění pohybového aparátu jako entezopatií či artróz, zároveň je tato diagnóza spojována s větším výskytem úrazů. Současně může být příčinou nespecifických příznaků jako bolestí hlavy či závratí. K výraznější manifestaci výše zmíněných potíží dochází často při nástupu do školy, kde se tyto děti projevují nezralou kresbou, pomalým a neúhledným psaním, potížemi s opisováním z tabule, častým vrtěním či rušením vyučování. Popsané projevy mohou vyučující interpretovat jako nevychovanost nebo pokus o provokaci (Polatajko & Cantin, 2005).

VPK můžeme rozdělit na ideativní, motorickou a ideomotorickou. Ideativní formu podmiňují funkce gnostické, sensorické a percepční. Deficit vzniká v tomto případě na základě abnormálního zpracování z jednoho (unisenzoricky) nebo více (multisenzoricky) sensorických systémů – propioceptivního, taktilního, vestibulárního, zrakového či sluchového. Motorická (exekutivní) forma znamená, že plán pro vykonání pohybu byl správně vytvořen, ale porucha nastane při provádění a korekci pohybu (Kolář

et al., 2011). Tato práce je zaměřena zejména na motorické projevy VPK a možnosti léčby těchto dysfunkcí. Nejpočetnější skupinu tvoří děti s ideomotorickou formou, při níž je narušena představa, plánování i provedení pohybu (Gibbs, Appleton & Appleton, 2007).

### **3.2.1 Motorické projevy.**

Fyzioterapeut díky odbornosti ve znalostech dosahování motorických milníků v ohledech kvantity i kvality může u dětí s VPK pozorovat následující projevy. Pohyby jedinců s touto diagnózou jsou obecně pomalejší nebo přehnané, méně přesné a zároveň více variabilní než u jejich vrstevníků (Zwicker, Missiuna, Harris & Boyd, 2012). Kolář et al. (2011) vytvořili přesnější výčet možných zjistitelných symptomů, konkrétně: porucha selektivní hybnosti, porucha posturální adaptace, porušená relaxace, poruchy rovnováhy, silového přizpůsobení, poruchy plynulosti, rychlosti a rytmu pohybu. Velmi problematická je i snížená schopnost pohybového odhadu. Právě tato porucha často děti omezuje v kolektivních a míčových hrách. Šlachtová (2012) používá v hodnocení hrubé motoriky termín porucha selektivní relaxace, který znamená zvýšené vyjádření asociovaných pohybů končetin, trupu či obličejového svalstva při náročnějších činnostech jako např. stoj na jedné dolní končetině. Zároveň s větší náročností prováděné aktivity koreluje i rozsáhlejšími manifestacemi popisovaných poruch koordinace pohybu (Cherng, Liang, Chen & Chen, 2009).

Potíže spočívají i v neschopnosti prediktivní kontroly, která patří, nyní více než kdy dříve, mezi hlavní objekty zájmu multidisciplinárního přístupu v diagnostice a léčbě VPK. Tito jedinci mají problém s včasným přizpůsobením pohybu, vůči měnícím se podmínkám vnějšího prostředí (Adams, Lust, Wilson & Steenbergen, 2014; Ruddock, Smits-Engelsman, Potalajko & Blank, 2012). Po vygenerování motorického plánu je tento plán odeslán do periferie, ale zároveň jeho kopii obdrží i parieto-cerebellární okruhy. Dále CNS porovnává predikovanou pozici těla a skutečnou sensorickou zpětnou vazbu. Pokud je mezi těmito dvěma složkami neshoda, dojde k vyslání signálu o chybě, což vede k potřebné korekci při samotném provedení pohybu (Adams et al., 2014). Poruchu prediktivní kontroly pozorujeme ve více efektorových systémech. Nejvíce v okulo-motorickém, narušením koordinace oko-ruka, dále v posturálním jako neschopnost vyvážené svalové ko-kontrakce a zhoršenou rovnováhou. Přibývá důkazů, které předpokládají sníženou schopnost představy pohybu u VPK. Tyto problémy jsou nejpravděpodobněji způsobeny dysfunkcí centrálního nervového systému a nikoli poruchou aferentní zpětné vazby na úrovni periferie (Adams et al., 2014; Irie, Matsumoto, Zhao, Kato & Liang, 2021).

Souhrnně vzato, děti s VPK mají problém s generováním a využíváním predikce pozic těla, jakožto prostředku pro korekci pohybů v přítomném okamžiku. Právě tento předpoklad souvisí s jejich sníženou schopností v učení nových a modifikací již získaných pohybových dovedností. Na základě narušené prediktivní kontroly dochází pravděpodobně k neideální koordinaci mezi svaly v daném segmentu. Prediktivní kontrolu zajišťují zejména parieto-cerebelární okruhy, které budou popsány samostatně v kapitole o etiologii VPK. V chytání objektu se popsáný deficit projevuje nepřesností pohybu končetin, spolu s pomalejší reakcí. Tyto děti více spoléhají na zpětnou vazbu, která umožní zvýšený tok potřebných korekčních informací, potřebných pro úspěšné provedení. Tím dochází k větší variabilitě pohybů v kloubu při průběhu i koncových polohách pohybu (Wilson, Ruddock, Smits-Engelsman, Polatajko & Blank, 2012).

Další signifikantní prvek představuje zvýšená potřeba vizuální kontroly pohybu. Děti s VPK se po vyřazení zrakové kontroly projevují horší motorickou koordinací ve statických i dynamických podmínkách (Agricola, Psotta, Abdollahipour & Neito, 2015). Zároveň tito jedinci více spoléhají na multisenzorickou integraci, udržující rovnováhu. Můžeme pozorovat tendenci většího využití informací z vestibulárního a zrakového ústrojí, přičemž odebrání nebo zkreslení této zpětné vazby signifikantně ovlivňuje balanční strategie, oproti alteraci somatosenzorické zpětné vazby (Fong, Tsang & Ng, 2012). Tyto poznatky by naznačovali suboptimální využití proprioceptivních vjemů, protože jejich modifikace nemá tak zásadní důsledky pro udržování rovnováhy, oproti vizuálním a vestibulárním podnětům. Důkazy pro tuto hypotézu však nejsou v současné době dostatečně přesvědčivé.

### **3.2.2 Zvýšené riziko nadměrné tělesné hmotnosti u vývojové koordinační poruchy.**

Oproti normálně se vyvíjejícím dětem mají jedinci s VPK větší riziko nadváhy v dětském i dospělém věku, přičemž chlapci jsou ohroženi více než dívky. Spolu se závažnějším motorickým deficitem a narůstajícím věkem koreluje i vyšší míra nadváhy či obezity (Hendrix, Prins & Dekkers, 2014; Lee, Psotta a Vagaj, 2016). Kritéria tohoto hodnocení napříč studii tvoří zejména cirkumference pasu a body-mass index (BMI). Nadměrná tělesná hmotnost je pravděpodobně důsledkem snížené aktivity z důvodu častého selhávání, podprůměrných výkonů ve fyzických aktivitách a vyčlenění z kolektivu na základě těchto skutečností. Děti s VPK obecně potřebují delší čas k získání kompetence v nově učené dovednosti, přičemž oproti vrstevníkům výrazně zaostávají. Kvůli jejich inkompetenci je ostatní děti nechtějí při herních aktivitách ve stejném týmu

a často poukazují na podprůměrný výkon. Postupně dochází ke snižování sebevědomí, zápornému sebehodnocení a narůstá averze k zapojování se do kolektivních her. Zmíněné příčiny nadále vytváří negativní vztah k pohybové aktivitě, což vede k celkové hypomobilitě (Hendrix et al., 2014). Byl diskutován i argument diagnózy VPK, jakožto fundamentální kauzality tělesné inaktivity a snížené tělesné zdatnosti (Cairney & Veldhuizen, 2013). Toto tvrzení má současně příliš málo evidence-based důkazu, hovořících v jeho prospěch. Prozatím nelze označit VPK jako hlavní příčinu nadměrné hmotnosti u dětí, nicméně zcela jistě je považována za rizikový faktor. S touto diagnózou jsou negativně asociovány i tělesná kompozice, kardio-respirační zdatnost, svalová síla, svalová vytrvalost a anaerobní kapacita (Rivilis, Cairney, Klentrou, Liu & Faught, 2011).

### **3.2.3 Vliv vývojové poruchy koordinace (VPK) na kvalitu života.**

U VPK nemůžeme opomenout vliv na sociální život jedince, přičemž z dostupné literatury vyplývá, že tyto děti mají v průměru nižší sebevědomí, více záporné sebehodnocení a bývají častěji vyčleněny z kolektivu (Anderson, Wilson & Williams, 2017; Blank et al., 2012; Dewey & Volkovinskaia, 2018; Leonard, 2016; Miyahara & Register, 2000). Také je u těchto jedinců větší sklon k anxiózním poruchám či depresím (Kirby, Williams, Thomas & Hill, 2013; Omer, Jijon & Leonard, 2019). Přesný dopad VPK na sociální aspekty života je nad rámec této práce, avšak nesmí být opomíjen. Omer et al (2019) doporučují rutinní provádění screeningových vyšetření pro diagnostiku VPK. Tyto děti i dospělí mají větší tendenci k zvnitřnění poruch řízení motoriky a poruch pohybového aparátu do depresivních a úzkostných stavů. Kirby et al (2013) zdůrazňují důležitost těchto screeningových vyšetření, spolu se sledováním psychického stavu osob s VPK, protože bylo prokázáno přetrvání této poruchy do dospělosti v necelé polovině případů. Nižší sebehodnocení společně s depresivním či anxiózním chováním dále snižují zájem těchto osob participovat ve fyzických aktivitách, což vede ke zvýšenému riziku rozvoje nadváhy, až obezity.

## **3.3 Současná prevalence VPK**

Prevalence této diagnózy je velmi často diskutované téma. Nejčastěji se odhad pohybuje mezi 5-6 % (Blank et al., 2012; Blank et al., 2019, Cleaton, Lorgelly & Kirby, 2019 Zwicker et al, 2012), ale některé zdroje uvádí poněkud nižší prevalenci okolo 2 % (Lingam, Hunt, Golding, Jongmans & Emond, 2009). U chlapců je oproti dívkám zjištěn

častější výskyt VPK, a to od poměru 2:1 až k poměru 7:1 (Blank et al., 2012). Větší poměr chlapců vůči dívkám udávají i Kadesjö a Gillberg (1998), Gibs, Appleton a Appleton (2007) a Kolář et al (2011). Někteří autoři uvažují i vliv preference horní končetiny, jelikož u jedinců, jejichž dominantní horní končetinou je levá, bývá VPK častější (Cairney et al, 2008; Freitas, Vasconcelos & Botelho, 2014).

### **3.3.1 Vliv nízké porodní hmotnosti a předčasného porodu na prevalenci VPK.**

Při abnormálně nízké porodní hmotnosti nebo u extrémně brzy narozených dětí je o mnoho vyšší pravděpodobnost výskytu VPK. Ačkoliv konkrétní kritéria hmotnosti a dobu porodu se poměrně dosti liší. Dewey et al. (2019) prezentují ve své studii pozitivní nález VPK podle klinického testování, u 53 ze 162 dětí, narozených do 30. týdne gestačního věku nebo s porodní hmotností  $\leq 1250$  g. Podobné výsledky, jako předchozí kolektiv autorů publikovali na poměrně velkém vzorku 275 dětí narozených mezi 22. a 26. gestačním týdnem Bolk, Faroogi, Hafström, Åden a Serenius (2018). Kontrolní skupinu tvořilo 359 dětí, narozených v řádném termínu. Z předčasně narozených novorozenců byla prevalence DCD v 6,5 letech věku 37,1 %, zatímco u kontrolní skupině pouze v 5,5 %. Kritéria gestačního věku 24-32 týdnů nebo porodní hmotnost  $\leq 800$  g ze vzorku 280 novorozenců odhalilo u těchto dětí 20% pravděpodobnost výskytu VPK (Kwok, Mackay, Agnew, Synnes & Zwicker, 2019). Další článek o vlivu extrémně nízké porodní hmotnosti ( $\leq 800$  g) zdůrazňuje vliv tohoto parametru na potenciální rozvinutí VPK, a to až o 50 % u skupiny 73 novorozenců (Holsti, Grunau, Ruth, Whitfield & Michael, 2002).

Meta-analýza, provedená roku 2011, která obsahovala 7 studií a 2 další meta-analýzy, uvádí 6,29 – 8,66krát větší možnost výskytu nebo rizika výskytu VPK u jedinců, narozených před 32. týdnem nebo poporodní hmotností  $\leq 1500$  g (Edwards, Berube, Erlandsonm, Haugm, Johnstonem, Meagher, Sarkodee-Adoo & Zwicker, 2011). Druhá meta-analýza, provedená téhož roku, kterou vytvořili Williams, Lee a Anderson (2011) prokázala 3–4krát větší riziko VPK u dětí, narozených před 37. týdnem, oproti dětem narozeným v očekávaném termínu. První meta-analýza zkoumala vliv předčasnějšího narození a zároveň započítávala nejen jedince s VPK, ale i rizikové, proto má práce Williamse et al. (2011) větší výpovědní hodnotu.

U nízkého gestačního věku při porodu nebo nízké porodní hmotnosti poměrně vysoce stoupá riziko na výskyt VPK, v rozmezí 20, 33 až 50 % (Dewey et al., 2019; Holsti et al., 2002; Kwok et al., 2019). Uváděné parametry výzkumu mají relativně velkou odlišnost, přičemž hmotnost po narození kolísá od  $\leq 800$  g až po  $\leq 2500$  g. Gestační věk



při těchto studiích fluktoval u doby narození mezi  $\leq 24$  -  $\leq 37$ . I přes tyto metodologické rozdíly přehledových článků a meta-analýz je minimální zvýšení rizika VPK u nízké porodní hmotnosti nebo předčasného narození, nejméně trojnásobné. Z uvedeného plyne závěr, že pokud má dítě porodní hmotnost  $\leq 1500$  g nebo je narozeno před 32. týdnem gestačního věku, mělo by být pediatrem podrobněji sledováno, pro zvýšené riziko výskytu VPK. Mezi prediktory VPK patří i pozdní dosažení sociální bipedální lokomoce v 15. měsíci a později (Harris, Mickelson & Zwicker, 2015).

### 3.4 Přehled hypotéz o etiologii vývojové poruchy koordinace

Přesná etiopatogeneze vývojové koordinační poruchy zůstává doposud nejasná, nicméně známým rizikovým faktorem jsou výše zmíněné parametry nízké porodní hmotnosti ( $\leq 1500$  g) a nízký gestační věk ( $\leq 32$  týdnů). Další enviromentální faktory tvoří socio-ekonomický faktor, spolu s genetickými faktory, avšak míra jejich vlivu není přesně známa. Socioekonomický status může znamenat nedostupnost sportovních aktivit či vývoj podporujících hraček, které by umožnily rozvoj motorických dovedností. Předpokládá se narušení exekuce eferentního motorického plánu, zároveň s deficitem senzoričké zpětné vazby, což vyústí při klinickém vyšetření k neschopnosti prediktivní kontroly a včasného přizpůsobení (Gomez & Sirigu, 2015). Zobrazovací metody jako funkční magnetická rezonance (fMR) a další přinesly v poslední dekádě několik poznatků o změnách struktury i funkce mozkové kůry jedinců s VPK.

Mozeček, jakožto důležitá struktura, podílející se, mimo jiné, na predikci i timingu pohybu, byl v minulosti častým předmětem výzkumu. Jeho snížená signalizace a integrace chybných signálů vede k nedostatečné korekci v průběhu pohybu a tím negativně ovlivňuje motorické učení (Zwicker, Missiuna & Boyd, 2009). Ve prospěch této hypotézy hovoří studie Messerschmidtové et al. (2005), která prokázala cerebelární atrofii u jedinců s porodní hmotností  $\leq 1500$  g. Mozeček měl v těchto případech menší celkovou plochu i plochu vermis cerebelli. Nejčastější postiženou oblastí mozečku byl dle dostupných studií jeho anteriorní lalok, konkrétně 4. lobulus. Strukturální odchylky cerebella byly u VPK několikrát prokázány, nelze je však označit jako jedinou příčinu tohoto onemocnění nebo samotného klinického deficitu (Biotteau et al., 2016a).

V okruzích bazálních ganglií autoři nejčastěji nalézaly strukturální změny v oblasti striato-parietálních spojů. Další deficity byly prokázány ve funkci nuclues caudatus,

nucleus accumbens, pallidum i putamen. Dvě studie objevily i poruchy v talamo-kortikálních okruzích. Bazální ganglia se významným způsobem podílí na iniciaci, plánování, přizpůsobení, učení a v neposlední řadě automatizaci pohybu, jejich postižení je do jisté míry anticipované, nicméně opět nemůžeme uskupení těchto struktur považovat za kauzalitu VPK.

Další zkoumanou strukturu představuje parietální lalok, protože plní zásadní funkci v tzv. visuo-spacial (zrakově-prostorové) orientaci. Právě zde pravděpodobně nastává porucha imaginace pohybu, která slouží jako podklad, pro prediktivní kontrolu. Tato teorie předpokládá poruchu v exekuci eferentní kopie motorického plánu (Zwicker et al., 2009). Na základě zjištění důležité role anteriorního cingula v inhibici pohybu při aktivitách „go-nogo“ (při rozsvícení zelené proband musí zmáčknout tlačítko, při červené nesmí), kterou prozkoumali pomocí (fMR) Garavan, Ross, Murphy, Roche a Stein (2002), vedla k následující hypotéze. Jedinci s VPK při běžné aktivitě (stoj, sed, chůze) více využívají anteriorní cingulum, které hraje důležitou roli v detekci chyb při provádění pohybu. Jejich komplex pro detekci chyb (mozeček a anteriorní cingulum) je nadměrně zaměstnán, ale kompenzuje nedostatky v parietálním a frontálním laloku. Při větší zátěži (dual-tasking, skákání na jedné noze, precizní kresba) tento komplex není schopen kompenzovat dysfunkci těchto laloků a dochází k narušení jemné korekce. Komplex pak registruje pouze výrazné odchylky. Tuto hypotézu na malém subjektu (9 VPK se stejnou kontrolní skupinou) potvrdili, pomocí fMR, Querne et al. (2008).

Ve frontálním laloku byly prokázány změny v jeho pravé mediální orbitofrontální části, zejména z hlediska konektivity se strukturami limbického systému jako amygdala, striatum, insula a parahippokampální regiony. Důležitý je i zjištěný deficit v konektivitě s dorzolaterální prefrontální (také premotorickou) kůrou, jelikož právě tato oblast se účastní vytváření asociací mezi senzorickeou zpětnou vazbou a prováděným pohybem, zejména v iniciálních fázích motorického učení. Alterace této struktury je u VPK poměrně častá (Biotteau et al., 2016a).

U dětí s VPK můžeme pozorovat prořidnutí bílé hmoty mozkové ve frontálním, parietálním a temporálním lobu. Konkrétně jsou postiženy regiony corpus callosum, ležící pod parietální kůrou ve fasciculus longitudinalis superior vlevo (Biotteau et al., 2016a; Langevin, MacMaster, Crawford, Lebel & Dewey, 2014). Posledně zmíněná struktura tvoří anatomické spojení mezi frontálním, okcipitálním, parietálním a částečně i temporálním lalokem. Mohutné spojení tvoří mezi lobus frontalis a lobus occipitalis. Poznatky o prořidnutí bílé hmoty této oblasti do značné míry vysvětlují dysfunkci

zejména vizuo-motorických dovedností u jedinců s VPK. Velmi podobné nálezy se vyskytují i u dětí s ADHD, u nichž zmíněné prořídnutí vidíme ve frontálních polích corpus callosum. Při komorbiditě obou diagnóz jsou postiženy obě zmíněné oblasti. (Langevin, MacMaster & Dewey, 2015) Tyto poznatky nabízejí vysvětlení tak časté komorbidity VPK a ADHD. Kadesjö a Gillberg (1998) i Waternberg, Waiserberg, Zuk a Lerman-Sagie (2007) uvádí, že polovina dětí s VPK splňuje diagnostická kritéria ADHD. Tento vztah platí i naopak, protože zhruba 50 % dětí diagnostikovaných ADHD splňuje kritéria klinických testů VPK (Piek, Pitcher & Hay, 1999; Pitcher, Piek & Hay, 2003).

Wilson et al. (2017) na základě 91 studií usuzují, že jedinci s VPK mají odlišnou mozkovou strukturu i funkci, oproti normálně se vyvíjejícím vrstevníkům, avšak tyto odlišnosti jsou poměrně heterogenní. Nález, který nejspolehlivěji charakterizuje VPK je snížená konektivita dorzolaterálního prefrontálního kortexu s mediální orbitofrontální kůrou, spolu s prořídnutím bílé hmoty ve fasciculus longitudinalis superior vlevo a v oblastech corpus callosum pod frontálním a parietálním lalokem (Biotteau et al., 2016a). V behaviorální rovině tato zjištění znamenají manifestaci výše uvedených symptomů jako porušení prediktivní kontroly, motorického plánování, sníženou schopnost automatizace pohybu, větší spoléhání na zpětnou vazbu a kompenzační strategie. Irie et al. (2021) k těmto zjištěním dodávají ještě bilaterální snížení konektivity thalamů, sníženou konektivitu mezi posteriorně-mediální částí gyrus temporalis, somatosenzorickými korovými oblastmi, gyrus cinguli bilaterálně, cerebellem a bazálními ganglii. Tato zjištění potvrzují dřívější hypotézy o poruchách bazálních ganglií, mozečku i gyrus temporalis, který spojuje s ostatními laloky fasciculus longitudinalis superior. Podle Irie et al. (2021) lze dopad této dysfunkce zmírnit tréninkem pohybu v představě a pozorováním trénované aktivity.

### **3.5 Diagnostika vývojové poruchy koordinace**

Pro diagnostikování VPK jedinec musí splňovat kritéria A-D, viz oddíl 3.1. Tato kritéria se hodnotí odlišnými metodami. Kritérium A zejména testy motorické koordinace. Fyzioterapeut by měl díky schopnosti přesně odečítat kvantitativní i kvalitativní aspekty pohybu odborně posoudit dosavadní psychomotorický vývoj dítěte, popřípadě zaregistrovat odchylky či zpoždění. To z fyzioterapeutů dělá velmi důležitou

součást diagnostického procesu v kritériu A. Konkrétní testy, zabývající se tímto parametrem, budou samostatně popsány.

Splnění kritéria B obsahuje zásadní dopad na kvalitu života jedince s VPK ve formě obtíží při sebeobsluze a běžných každodenních činnostech. Pro posouzení jsou využívány hlavně dotazníky, zaměřené na rodiče či učitele dítěte. Pro naplnění tohoto kritéria je zapotřebí, aby souhlasné symptomy popisovali rodiče i odborníci v různých prostředích jako jsou škola, domov, hřiště a další. Tyto projevy musí přetrvávat déle než 6 měsíců. Zde lze využít standardizovaných dotazníků jako jsou: Developmental Coordination Disorder Questionnaire (DCD-Q) (Wilson et al., 2009), Motor Observation Questionnaire for Teachers (MOQ-T) (Schoemaker, Flapper, Reinders-Messelink & De Kloet, 2008) či DCDDaily (van Der Lide et al., 2013).

Kritérium C hodnotí vznik symptomů v ranném vývojovém období, přičemž samotné DCD nelze zatím diagnostikovat dříve, než ve věku 3-5 let. Konvenčně je VPK diagnostikována právě až v 5. roce, protože některé děti zpoždění motorického vývoje doženou (Blank et al., 2012). Výskyt těchto symptomů je posuzován na základě anamnéz, dotazníků kritéria B a lékařských či psychologicko-pedagogických zpráv.

Kritérium D je vyhodnoceno na základě lékařských vyšetření, lékařských zpráv, a dále validních anamnéz odborníků lékařských, psychologických i pedagogických.

Smits-Engelsman, Schoemaker, Delabastita, Hoskens a Geuze (2015) zdůrazňují důležitost rozlišení stupně závažnosti VPK podle naplnění jednotlivých kritérií na následující.

Mírná VPK: Všechny kritéria DSM-V popsána okolím a naplněna dítětem. Dítě má podprůměrné výsledky ve validním testu motorické koordinace (skóre 1-1,64 standardní odchylky).

Závažná VPK: Všechny kritéria DSM-V popsána okolím a naplněna dítětem. Dítě má vysoce podprůměrné výsledky ve validním testu motorické koordinace (skóre nejméně 1,64 standardní odchylky).

Pravděpodobná VPK: Jedno nebo více kritérií DSM-V není naplněno. Chybí splnění kritérií B, C či D. Často nebyly dítěti poskytnuty adekvátní podněty k učení a procvičení činností, ve kterých zaostává.

V riziku VPK: Všechny kritéria DSM-V popsána okolím a naplněna dítětem, avšak dítěti nebylo 5 let. Pokud potíže přetrvávají až do tohoto věku, dojde ke stanovení diagnózy.

### **3.5.1 Nejčastěji používané klinické testy v hodnocení kritéria A.**

V této části budou představeny čtyři testy, ze kterých vychází velká většina studií v předchozích i následujících podkapitole. Tyto testy jsou nejčastěji využívány v běžné klinické praxi, zejména pro jejich zavedenost a dobrou senzitivitu (Blank et al, 2012; Zwicker et al, 2012). První test je popsán více detailně, představuje totiž vůbec nejčastěji využívaný test a byl na České populaci relativně recentně (od roku 2012 až doposud) opakovaně standardizován na subjektech stovek dětí. V případě intervence formou fyzioterapie, indikované dětským neurologem či psychiatrem, by měl fyzioterapeut provést jeden nebo více z níže uvedených klinických testů, na jejich základě vyhodnotit hlavní oblasti deficitu u konkrétního jedince a vytvořit vhodný dlouhodobý terapeutický plán, zaměřený na zlepšení motorické koordinace.

#### ***3.5.1.1 Movement assessment battery for children - second edition.***

Prvním a zároveň nejpoužívanějším testem je Movement Assessment Battery for Children Second Edition (MABC-2). Test MABC-2 obsahuje 8 dílčích zkoušek uzpůsobených pro věkové skupiny: 3-6 let, dále 7-10 let a 11-16 let. Dílčí zkoušky tvoří hlavní komponenty. První komponenta se skládá z manuální zručnosti, druhá z míření na cíl, spolu s chytáním objektu a poslední prověření statické i dynamické rovnováhy. Manuální zručnost je testována v dovednostech obkreslení vymezeného tvaru, provlékání provázku skrze předměty, a nakonec vhazování mincí do pokladničky v případě nemladších dětí. Starší věkové kategorie zasazují kolíky do desky nebo je na desce obrací. V hodnocení hrubé motoriky se hodnotí chytání objektu bimanuálně a házení na plochu na zemi u skupin 3-6 i 7-10 let. Nejstarší děti vykonávají tyto aktivity v náročnějším provedení jejich dominantní horní končetinou. Statická rovnováha je hodnocena při stožení na jedné dolní končetině na zemi u nejmladší věkové skupiny, v případě starších dětí na balanční plošině. Dynamickou rovnováhu posuzují tandemová chůze po 4,5 m dlouhé přímce, spolu s poskoky obou dolních končetin (3-6 let) či jedné dolní končetiny (7-10 a 11-16 let)

Hodnocení testu je prováděno kvantitativně, přidělením bodů za dosažený výkon v dílčích 8 testech, i kvalitativně, kdy vyšetřující osoba zaznamená výskyt neideálních posturálních modelů, jako např. nevhodnou posturu sedu, příliš blízká pozice hlavy, trhané pohyby končetin, použité nepřiměřené síly a další. Právě v posouzení kvality je vysoce přínosné hodnocení fyzioterapeuta. Test je hodnocen R (refusal), pokud dítě odmítne provést činnost, F (failure) v případě selhání v testu hodnotou 1 nebo I (impairment) pro fyzickou či senzorickou disabilitu, znemožňující provedení dílčí

zkoušky. Jestliže je dítě v jedné nebo více zkouškách hodnoceno jako R nebo I, nelze použít výsledky testu pomocí skórování a vyšetřující provádí kvalitativní hodnocení současného stavu. Dílčí zkoušky se hodnotí podle standardních skóre, odpovídající věku (3-16 let). Tyto skóre jsou pak konvertována do percentilu. Děti s percentilem  $\leq 5$  jsou označeny jako VPK, jedinci v intervalu 5 až 16 jako v riziku VPK a  $\geq 16$  patří do vývojové normy (Kwok et al., 2019).

U nás tento test standardizovali Psotta, Hendl, Frömel a Lehnert (2012) na vzorku 487 dětí ve věkovém rozmezí 7-10 let. Oproti zahraničním studiím zdejší děti vykazovali lepší výsledky v komponentách manuální zručnosti a rovnováhy. Tento poznatek potvrdila i následná studie Psotty a Hendla (2012), zkoumající tytéž parametry na subjektu 589 jedinců ve věkové kategorii 11-15 let. Nejmladší věková kategorie (3-6 let) byla také standardizována, zde vzorek tvořilo 399 dětí (Psotta & Brom, 2016). Psotta a Abdollahipour (2017) z výše uvedených důvodů lepší rovnováhy a schopnosti kreslení, ve srovnání s jinými zeměmi, navrhuji změny těchto dílčích testů, konkrétně v komponentě rovnováhy stoje na jedné noze. Tyto dílčí testy mají nízkou validitu, která byla zjištěna na vzorcích 483 dětí (7-10 let) a 674 dětí (11-16 let). U testu MABC-2 se ukazuje zásadní potřeba větší specifikace prováděných testů (autoři nepopisují konkrétní úpravy), pro jednotlivé věkové skupiny (Psotta & Brom, 2016; Psotta & Abdollahipour, 2017).

Kwok et al. (2019) vyzdvihují jeho dobrou 90% senzitivitu, oproti tomu specifická udávají méně jednoznačnou, s hodnotou 69 %. MABC-2 dokáže spolehlivě určit děti, které nemají VPK, ale zároveň může být slepě pozitivní, a to až v 38 %. Blank et al. (2012) uvádí senzitivitu 70-80 % a specificku 80-90 %. Test se ukazuje být minimálně stejně nebo více validní, oproti jiným standardizovaným testům. Validita je v meta-analýzách hodnocena jako střední až dobrá, avšak pozorujeme rozdíly v hodnocení mezi jednotlivými zeměmi. V České republice jsou z hlediska validity nejčastěji kritizovány výše zmíněné testy rovnováhy a test kreslení (Kokštejn, Musálek & Tufano, 2018). Reliabilita se ukazuje být nejspolehlivější vlastností MABC-2 (Blank et al., 2012; Blank et al., 2019). Kolář et al. (2011) označuje zmíněný test za de facto „zlatý standard“. Dnes už ho tak, i přes jeho nedostatky, většina autorů vnímá.

### ***3.5.1.2 Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency (BOTMP).***

Druhým nepoužívanějším testem, při diagnostice VPK je Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency (BOTMP). Současně užívaná verze Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency – 2nd Edition (BOT-2), vytvořená v roce 2005, obsahuje 53

zkoušek, rozdělených do 8 kategorií (Bruininks & Bruininks, 2005). Skládají se z jemné pohybové přesnosti (7 zkoušek), jemné motorické integrace (8 zkoušek), manuální obratnosti (5 zkoušek), koordinace horní končetiny (7 zkoušek), bilaterální koordinace (7 zkoušek), rovnováha (9 zkoušek), rychlosti běhu a hbitosti (5 zkoušek) a poslední část zastupuje síla (5 zkoušek). Skórovací normy jsou stanoveny pro konkrétní populaci. Např. v USA byly zavedeny na vzorku 1520 amerických dětí ve věkovém rozmezí 4-21 let. (Brown, 2019) V každém hodnocení je pak v souhrnu hodnocen součet dílčích zkoušek v 8 kategoriích. Přechozích 8 hodnot se převádí jednak do složky hrubé motoriky, dále do složky celkové motoriky (Bruininks & Bruininks, 2005). Dewey et al. (2019) odhadují podobnou senzitivitu MABC-2 a BOT-2, ale Vinçon, Green, Blank a Jentzky (2017) rozporují validitu složek bilaterální koordinace a rovnováhy.

#### ***3.5.1.3 Zurich neuromotor assessment.***

Tento diagnostický manuál je jeden z mála hodnotící případné poruchy motorické koordinace u dospělých. Jeho nezbytnost vyplývá k poznatku, že přibližně u 50 % dětí s VPK přetrvávají poruchy motorické koordinace do dospělosti (Kirby et al., 2013). Samotná testovací baterie obsahuje posouzení repetitivních pohybů prstů, rukou a nohou. Další zkouška hodnotí alternované pohyby aker. Na horních končetinách diadochokinézu supinace a pronace v sedu i stojí. U dolních končetin způsobem přitahování a propínání špičky. Následuje sekvenční pohyb prstů ruky. Poté osoba zasazuje kolíky do desky. Dynamická rovnováha je vyšetřena skákáním dopředu a do stran. Statická rovnováha je hodnocena pomocí stoje na jedné dolní končetině. Stav rovnovážných schopností dále zjišťujeme chůzí po špičkách, na vnitřních a vnějších hranách chodidel. Jednotlivá kritéria mají standardizované požadavky pro určitý věk. Autoři článku uvádí jeho dobrou reliabilitu mezi rozdílnými vyšetřujícími (90-99 %), nicméně při re-testu reliabilita významně klesla (26-90 %) (Largo et al., 2001). Pro relativně malý výskyt tohoto vyšetření v odborné literatuře nelze jednoznačně posoudit validitu a reliabilitu tohoto testu, přesto nabízí poměrně rychlé a finančně nenáročné zhodnocení motorické koordinace.

#### ***3.5.1.4 The test of gross motor development - third edition (TGMD-3).***

Tato testovací baterie posuzuje hrubou motoriku ve věku od 3 do 11 let. Obsahuje dva základní subtesty. První zaměřený na hrubou motoriku, vyžaduje plynulé, koordinované změny pohybu. Obsahuje cval a skluz, dále různé druhy skákání: na místě, horizontální výskok, přeskočení předmětu. Druhý subtest hodnotí dovednosti házení,

chytání a úderů. Je hodnoceno házení s dlaní v supinaci i pronaci, poté chytání oběma rukama, chytání a úder míčku pomocí obou horních končetin, driblování dominantní horní končetinou. Spolu v těmito vyšetřovanými dovednostmi posuzujeme i schopnost dítěte hlavičkovat jím nadhozený míč a kopnutí do nehybného míče (Ulrich, 2013). Psychometrické vlastnosti této testové baterie vyhodnotili Magistro et al. (2020) jako uspokojivé a doporučují její použití v hodnocení hrubé motoriky u dětí ve věku od 3 do 11 let. Hodnota reliability byla vypočítána na 80-97 %. Validita této třetí edice byla rovněž vyhodnocena jako vysoká. Magistro et al. (2020) dále v otázce validity vyzdvihují několik dílčích testovaných dovedností, skákání na místě, horizontální skok, hlavičkování sebou nadhozeného míče, kopnutí do nehybného míče a chytání oběma rukama. Další výhodou má tento test v efektech tzv. nízkého dna a vysokého stropu. Je tím myšleno, že velmi podprůměrný i vysoce nadprůměrný výkon dítěte bude adekvátně ohodnocen, nikoliv zaokrouhlen na standardní nejnižší či nejvyšší hodnotu (Magistro et al., 2020).

### **3.5.2 Rozšíření klinického testování.**

Většina fyzioterapeutů, lékařů a pedagogických pracovníků nemá k dispozici výše zmíněné testovací baterie, tudíž může v hodnocení hrubé motoriky (hlavní doména odbornosti fyzioterapie) využít následující testy, mimo těch, které posuzují hrubou motoriku podle přesně standardizovaných norem, pro orientační screeningové vyšetření. Obecnou nevýhodou těchto testů je zcela jistě jejich nepřesnost a větší možnost chybné interpretace pozorovaných projevů. Vyžadují proto větší klinické zkušenosti vyšetřujícího, nicméně jejich výhody spočívají v časové a materiálové nenáročnosti.

#### **3.5.2.1 Klinické testování podle Šlachtové.**

Šlachtová (2012) sestavila screeningové klinické vyšetření, které hodnotí kvantitativní i kvalitativní výkon v testech hrubé motoriky dětí ve věku 4-6 let. Vyhodnocení testů bylo standardizováno na vzorku 261 dětí. Mezi posuzované dovednosti patří stoj a poskoky na jedné dolní končetině, výskok s otočením o 180° a tandemová chůze po čáře. Kvantitativně se hodnotí výdrž ve stoji na jedné dolní končetině (DK), u dovednosti poskoků chyby ve formě výskoku mimo kruh, přerušeni návaznosti nebo dotek země elevovanou DK. Při testu výskoku s otočením o 180 stupňů hodnotíme míru přesnosti dosažení tohoto úhlu. V tandemové chůzi po čáře hodnotíme počet na sebe navazujících kroků, popřípadě kroky mimo čáru či vzdalování DKK. Kvalitativní hodnocení v těchto dílčích zkouškách až na drobné rozdíly hodnotí velmi podobné parametry, konkrétně mimiku, výchylky trupu, souhyby končetin, celkovou



koordinaci či rytmičnost (u dynamických testů). Tyto parametry se dále hodnotí číselně následovně.

Parametr se nevyskytuje – 0

Parametr málo vyjádřený, avšak ne po celou dobu provádění úkolu – 1

Parametr vyjádřen zřetelně, téměř po celou dobu provádění úkolu - 2

Pro detailní informace o hodnocení odkazují na původní práci Šlachtové (2012). V parametru krátkodobé reliability vyšla korelace mezi všemi úkoly testu jako střední, až vysoká. Tato baterie jednoduchých úkolů může sloužit k doplnění MABC-2 či BOT-2. Je časově a instrumentálně velmi nenáročná a poskytne potřebné informace o možných odchylkách v dovednostech hrubé motoriky dětí ve věku 4-6 let. Nevýhodou zůstává, že doposud nikdo tyto výsledky na podobném subjektu nereplikoval. Zároveň test vyžaduje jistou klinickou zkušenost s pacienty dětského věku, pro správnou interpretaci zjištěných výsledků.

#### ***3.5.2.2 Vyšetření somatognozie a stereognozie podle Pertie.***

Kvůli motorickým potížím uvedeným na začátku oddílu 3.2.1 lze při neznalosti či nedostupnosti jiných klinických testů a testovacích baterií pro orientační posouzení klinického stavu zhodnotit kvalitu somatognozie, popřípadě i stereognozie. Za narušení a úroveň těchto funkcí odpovídá centrální nervový systém (CNS). Kvalita centrálního nervového systému v ohledu koordinace pohybu skrze ekonomické stereotypy se klinicky projevuje schopností tzv. selektivní hybností, což znamená schopnost provádět pohyb bez souhybů a pouze pomocí svalů, které pohyb mechanicky realizují nebo stabilizují segmenty, s nimiž osoba pohybuje. Patologii lze pozorovat např. při práci na počítači, kdy dotyčná osoba místo pohybu pouze v radiokarpálním kloubu vykonává neekonomické exkurze v ramenním kloubu nebo místo izolovaného pohybu očí hýbe celou hlavou. Porucha somatognozie a stereognozie velmi úzce souvisí s představou o vlastním těle i se schopností selektivní relaxace. Subjektivní obraz o vlastním těle u jedinců s porušenou koordinací neodpovídá realitě. Pacienti, kteří mají vnímání těla na nedostatečné úrovni tvoří prognosticky nepříznivou skupinu u ortopedických a spondylochirurgických operačních výkonů. Právě u těchto pacientů často nedojde po operačním zákroku ke zlepšení klinického stavu (Kolář et al., 2009). Byl popsán i vliv VPK na zvýšenou prevalenci entezopatií, předčasných artróz a funkčních poruch pohybového aparátu (Kolář et al., 2011).

Vyšetření selektivní hybnosti lze provést následovně: pacient vleže na zádech pokrčí kyčelní a kolenní kloub do 90 stupňů flexe, požádáme o provedení velmi pomalého

krouživého pohybu v kyčli. Projevy nedostatečné selektivní hybnosti mohou být souhyby pánve, bederní páteře nebo zvýšená svalová aktivita na druhostranné dolní končetině. Obdobně provádíme vyšetření selektivního pohybu očí a jazyka. V případě očí vyšetřovaná osoba sleduje očima námi držený předmět, kterým manipulujeme do různých směrů, přičemž má jedinec sledovat např. tužku pouze pomocí pohybu očí.

Následuje vyšetření selektivní relaxace v různých pozicích, lišících se posturální náročností. Dotyčným řekneme, aby uvolnil horní končetinou a vyšetřujeme změny svalového tonu při našem pasivním pohybem pacientovou končetinou do všech směrů. Vyšetřovaná končetina by neměla klást odpor, pouze ve formě její vlastní váhy. Senzitivitu testu můžeme zvýšit ztížením posturální situace (poloha na všech čtyřech s oporou o špičky prstů).

Další vyšetření představuje hodnocení rozměrů vlastního těla, kdy pacient se zavřenýma očima např. ukáže svou šířku pánve či hloubku hrudníku pomocí vzdálenosti dlaní před tělem ve vertikále.

Hodnotit lze i motorickou pracovní paměť, kdy nastavíme pacientovi, který má zavřené oči, horní končetinu do určité pozice např. na tabuli a bod pod prstem označíme tečkou. Požádáme ho o spuštění končetiny s následným navrácením prstu na původní místo.

Při vyšetření stereognozie má opět pacient zavřené oči. Vložíme mu do ruky předmět, aby si pomocí hmatu zapamatoval jeden z jeho rozměrů (např. hrana krychle), poté pacient udává jím odhadovanou míru na dlouhém hranolu, který je od špičky po konec rozšířen pozvolna (poměrně dlouhá délka hranolu) (Kolář et al., 2009).

## **3.6 Souhrn hlavních bodů a poznatků o VPK**

### **3.6.1 Klinický obraz, prevalence a rizikové faktory.**

Vývojová porucha koordinace podle závažnosti u konkrétního jedince ovlivňuje aktivity denního života, výkon ve škole i sportu. K manifestaci deficitu dochází často až při nástupu do povinné školní docházky. Tyto děti se ve škole projevují zejména nezralou kresbou, pomalým a neúhledným psaním, častým vrtěním nebo vyrušováním při výuce. Další časté projevy tvoří pozdní dosažení nebo neefektivní provádění aktivit jako jsou zavazování tkaniček, oblékání, rovnovážných schopností a chytání či házení předmětů (Polatajko & Cantin, 2005). Mezi motorické projevy vývojové poruchy koordinace patří:

porucha selektivní hybnosti, porucha posturální adaptace, porušená relaxace, poruchy rovnováhy i silového přizpůsobení, poruchy plynulosti, rychlosti a rytmu pohybu a sníženou schopností pohybového odhadu (Kolář et al., 2011).

Jedinci s VPK mají v průměru nižší sebevědomí, více záporné sebehodnocení, častější výskyt anxiózních stavů a depresí (Kirby et al., 2013). V necelé polovině případů přetrvává tato diagnóza do dospělosti. Tito jedinci jsou ve zvýšeném riziku rozvoje nadváhy, až obezity. Zatím není známa přesná míra zvýšení rizika, nicméně roste se závažnějším motorickým deficitem. K nepřiměřenému nárůstu hmotnost, kromě výživových faktorů, vede i snížená participace v pohybových aktivitách, často z obavy ze selhání nebo vyčlenění z kolektivu (Hendrix et al., 2014).

Současná nejčastěji uváděná prevalence této diagnózy se pohybuje mezi 5-6 %, přičemž 2 % trpí závažnou VPK. Pokud posuzujeme i drobný deficit ve formě hraniční VPK, dojde ke zvýšení prevalence na 10 % (Blank et al., 2012). Velmi významným rizikovým faktorem je nízký gestační věk ( $\leq 32$  týdnů) a nízká porodní hmotnost ( $\leq 1500$  g). Prevalence u těchto jedinců stoupá podle různých autorů na 20, 33 až 50 % (Dewey et al., 2019; Holsti et al., 2002; Kwok et al., 2019).

### **3.6.2 Etiopatogeneze.**

Současně není přesně známa etiologie této nosologické jednotky, nicméně mimo výše zmíněné rizikové faktory víme o možném vlivu socioekonomického statusu a genetické predispozice. Díky moderním zobrazovacím metodám byly objeveny změny v konektivitě a struktuře určitých oblastí CNS. Nález, který nejspolehlivěji charakterizuje VPK, je snížená konektivita dorzolaterálního prefrontálního kortexu s mediální orbitofrontální kůrou, spolu s prořidnutím bílé hmoty ve fasciculus longitudinalis superior vlevo a v oblastech corpus callosum pod frontálním a parietálním lalokem. Změny konektivity či struktury CNS u VPK byly však popsány i u jiných oblastí, zejména u mozečku a okruhů bazálních ganglií. Tato zjištění do značné míry vysvětlují poruchu sensorické integrace a prediktivní kontroly, jelikož diskutované struktury se na těchto funkcích primárně podílí. Popsané neurální koreláty indikují jako potřebné využití nácvičku pohybu v představě (Irie et al., 2021).

### **3.6.3 Klinické testování.**

Z klinických testů lze využít standardizovaných testů jako MABC-2, BOT-2, Zurich Neuromotor Assessment nebo TGMD-3. Z těchto testových baterií nejrelevantnějším zůstává MABC-2, která byla opakovaně standardizována na populaci

českých dětí. Má dobré motometrické vlastnosti a umožňuje kromě kvantitativního hodnocení i posouzení kvalitativní, které by nikdy nemělo být opomenuto. Pro screening může posloužit vyšetření podle Šlachtové (2012) nebo vyšetření somatognozie a stereognozie podle Koláře (2009), nicméně tato vyšetření jsou méně spolehlivá. Zároveň kladou vyšší nároky na schopnosti vyšetřujícího. Jejich výhodou zůstává časová, cenová i materiální nenáročnost.

## 4 Neuroplasticita

### 4.1 Současný pohled na neuroplasticitu

Termín neuroplasticita znamená schopnost centrálního nervového systému (CNS) modifikovat se, funkčně i mikrostrukturálně, na základě zkušenosti či poranění. Je klíčová pro normální vývoj a fungování nervového systému a současně také tvoří odpovědnou složku vůči změnám vnějšího prostředí, stárnutí či patologie CNS. Současná fyzioterapie využívá této schopnosti reorganizace synapsí i v procesu motorického učení. Tato možnost dynamické přeměny je u každého jedince v určité míře přítomna po celý život. K neuroplastickým změnám dochází na úrovni synaptické, modulární (určitý nervový okruh) a multimodulární (mezi jednotlivými okruhy) (Power & Schlaggar, 2017).

Plasticita má čtyři základní typy. Evoluční, neboli změny nervové tkáně, při ontogenetickém vývoji. Reaktivní, způsobené krátkodobou stimulací. Adaptační, které jsou výsledkem dlouhodobé nebo stálé stimulace. A poslední, avšak velice podstatný typ reparační plasticity, díky níž probíhá funkční i strukturální přestavba poškozené nervové tkáně, např. po cévní mozkové příhodě (Dayan & Cohen, 2011).

### 4.2 Význam neuroplasticity pro motorické učení

Získání, konsolidace a transfer motorických dovedností pomocí motorického učení je dnes dokumentováno zobrazovacími metodami jako funkční magnetická rezonance či pozitronová emisní tomografie (Dayan & Cohen, 2011). Ruffino, Papaxanthis a Lebon (2017) poukazují na možné využití neuroplasticity pohybem v představě. Podle těchto autorů vede od iniciální fáze, kdy začíná funkční a strukturální organizace na úrovni kůry, přes zvýšenou excitabilitu některých korových oblastí až k možnému snížení vlivu inhibičních interneuronů na spinální úrovni. Pohyb v představě také vede k podprahové excitační aktivitě v tractus corticospinalis, ale bez samotné aktivace alfa motor neuronů. Během časné fáze motorického učení dochází k zvýšení aktivity v kortiko-cerebelárních i kortiko-striatálních okruzích. Při úspěšné automatizaci pohybu se aktivita přesune spíše do druhého zmíněného strukturálního propojení CNS. Souhrnně lze říci, že ke změnám dochází na kortikální i míšní úrovni, což dále vede ke snížení vlivu inhibičních synapsí,

mimo jiné pomocí podprahových stimulů, které zvyšují sensibilitu a konduktivitu synapsí kortiko-spinálního traktu (Ruffino et al., 2017).

Motorické učení vede ke strukturálním změnám v šedé i bílé hmotě mozkové (Power & Schlaggar, 2017). Tyto změny se týkají sensorických i motorických systémů. K změnám sensorických systémů dochází zároveň s procesem motorického učení (Ostry & Gribble, 2016). V počátečních fázích motorického učení probíhá reorganizace v oblastech dorzální premotorické kůry, pre-suplementární motorické arey a korové oblasti M1. Tyto oblasti s postupem času vykazují sníženou aktivitu, kdežto premotorický kortex, suplementární motorická oblast, parietální regiony, striatum a cerebellum aktivitu zvyšují.

Pohybové chování, kromě sensorických vstupů, do značné míry ovlivňují jak předchozí, tak i především recentní zkušenosti. Opakované pohyby, vedoucí ke konkrétnímu cíli, facilitují následnou pohybovou aktivitu stejně nebo podobně orientovanou. Tento proces neuroplasticity v angličtině nazývaný use-dependent (závislý na užití), je považován za podklad pro tvorbu motorických engramů. Zmíněný subtyp neuroplasticity do určité míry predikuje schopnost učit se novým motorickým dovednostem. Úspěšné naučení dovednosti, spojené s pozitivní zpětnou vazbou vede k významnějším změnám, než při neúspěšném opakování či neposkytnutí kladné zpětné vazby, bez ohledu na počet vykonaných opakování. Tyto popsání děje vedou k plastické reorganizaci primárního motorického kortexu M1. Úspěšným opakováním pohybů dochází ke zlepšení procesu use-dependent neuroplasticity (Mawase, Uehara, Bastian & Celnik, 2017).

Corpus callosum nemá roli pouze v propojení cerebrálních hemisfér nýbrž slouží i pro inhibiční funkce. Při aktivaci svalů ruky jedné horní končetiny dochází k inhibici tonu na druhostranné horní končetině. S tímto může být spojena i končetinová dominance. Inhibice, řízená z dominantní hemisféry je oproti té nedominantní signifikantnější. Corpus callosum má však prokazatelně i excitační vliv na kontralaterální končetinu, jelikož premotorická kůra jedné strany stimuluje aktivaci M1 kůry opačnou hemisféru. Zda bude corpus callosum plnit inhibiční či excitační funkci záleží na povaze prováděné aktivity (unimanuální/bimanuální) a na fázi pohybu (Takeuchi, Oouchida, & Shin-Ichi, 2012). Na základě důkazu o poruše této struktury u VPK (Biotteau et al., 2016a) lze předpokládat i neideální interakci těchto dvou zmíněných funkcí, zejména bimanuální koordinace bývá často deficitní v aktivitách jako házení či chytání předmětů.

Ve fyzioterapii by mělo být využíváno neuroplasticity ve prospěch efektivního motorického učení, což zlepší kvalitu prováděného pohybu a zároveň může snížit intenzitu bolesti. Při bolestech pohybového aparátu, ke kterým mají jedinci s VPK vyšší prevalenci, dochází k alteraci kortikální reprezentace příčně pruhovaných svalů. Tyto změny vyvolané nocicepcí či bolestí mohou být předělány senzomotorickým tréninkem. V rámci fyzioterapie lze využít procesu kortikální neuroplasticity k zefektivnění rehabilitační intervence, nicméně pro optimální výsledky je potřeba odhadnout dobu, kdy pacient provádí pohybové vzory v maximální možné kvalitě s dobrou kognitivní kontrolou do bodu vyčerpání. Jakmile dojde k přílišnému vyčerpání zejména kognitivní složky, dochází k neoptimálnímu provedení pohybu se snížením jeho kvality (Boudreau, Farina & Falla, 2010).

### **4.3 Uplatnění poznatků neuroplasticity v klinické praxi**

Základním předpokladem pro motorické učení je schopnost CNS plasticky se přetvářet. V klinických podmínkách využíváme neuroplasticity ontogenetické, reaktivní a adaptivní. U dětí a adolescentů se do značné míry projeví ontogenetická, která ovlivňuje vývoj konkrétního člověka. Další subtyp představuje reaktivní, která je důležitá během počáteční fáze procesu motorického učení, při vytváření nových pohybových vzorů, zejména v iniciální fázi intervence. Z hlediska úspěšnosti terapie však bude velmi důležitou složku tvořit neuroplasticita adaptivní, jejíž vliv bude dominantní v dlouhodobé intervenci jak u dětí, tak u dospělých s VPK.

Nácvik nových pohybových vzorů nebo reedukace těch patologických by měly být zaměřeny na konkrétní cíl, k němuž osobu terapeut opakovaně vede. V praxi využíváme opakování pohybů stejným směrem s postupným zlepšováním provedení, přičemž poskytujeme jedinci motivaci. Po úspěšném provedení ideálně následuje pozitivní zpětná vazba formou pochvaly či udělením malé odměny. Tento postup zajistí efektivní využití use-dependent subtypu neuroplasticity (Mawase et al., 2017). Dále v terapii využíváme unimanuální i bimanuální aktivity, podle deficitu konkrétního jedince (Takeuchi et al., 2012). Velmi důležité je odhadnutí míry vyčerpání osoby ve vztahu ke kvalitě prováděného pohybu. Kognitivní úsilí v procesu učení se nové dovednosti pomáhá k aktivaci korové oblasti M1, což opět urychluje a potencuje proces motorického učení (Bodreau et al., 2010).

## 5 Motorické učení

### 5.1 Definice termínu

Motorické učení je definováno jako soubor vnitřních procesů, spojených s nácvikem či zkušeností, které vedou k relativně permanentním změnám ve schopnosti vykonávat určitou dovednost (Krakauer, 2006). Více autorů zastává názor, že změny v provádění pohybové aktivity, jakožto výsledek motorického učení jsou dlouhodobé (Anderson a Magill, 2014; Cano-de-la-Cuerda et al., 2015).

Ačkoliv výše zmíněná definice může čtenáři posloužit k rámcovému porozumění používaného termínu, zcela rozhodně není úplná či přesná. V žádném případě nelze na tento termín nahlížet pouze z pohledu jednoho systému. Na úrovni CNS dochází k integraci všech systémů těla a nesporný vliv má na motorické učení i momentální psychický stav jedince (Festini, Preston, Reuter-Lorenz & Seidler, 2016). Motorické učení se navíc vyskytuje na rozsáhlém časovém spektru, jelikož některé pohybové vzory mohou být naučeny v rámci minut, kdežto nabytí odbornosti jiných trvá mnohdy i roky. Je velmi obtížné tento pojem přesně definovat, ale pro větší jasnost následujících kapitol postačí výše uvedené vymezení. Zároveň neexistuje univerzální postup, pro využití motorického učení u všech jedinců, a to jak u zdravých, tak u osob s neurologickým deficitem. Při využití principů motorického učení v terapii je potřeba také zvážit faktory jako jsou věk, motivaci, zkušenosti a již zmiňovanou patologii CNS, či jiného tělesného systému nebo struktury (Roemmich & Bastian, 2018).

### 5.2 Řídící struktury CNS v motorickém učení

#### 5.2.1 Korové oblasti v motorickém učení.

Moderní zobrazovací metody, jakožto hlavní nástroj ve výzkumu funkcí CNS významně zlepšily obecné porozumění zapojení korových struktur v procesu motorického učení. Navzdory tomuto faktu zůstává vzhledem k rozdílným požadavkům při vykonávání různých pohybových činností otázka validity těchto výzkumů nejasná. Nejčastěji zkoumané jsou prosté senzomotorické dovednosti (sahání po předmětu horní končetinou) společně se sériovým reakčním testem. Níže popisované oblasti zvýšené



excitability nejsou samozřejmě jedinými participanty na vykonávaných činnostech, ovšem bylo v nich pozorováno větší zapojení. Tyto faktory pravděpodobně znamenají aktivaci kvantifikovatelně odlišných vzorů neurální aktivity, jakožto nastavbu na konzistentní korové aktivační síť.

### **5.2.2 Nejčastěji popisované struktury participující na motorickém učení.**

Hardwick, Rottschy, Miall a Eickhoff (2013) provedli kvantitativní meta-analýzu 70 experimentů, zkoumajících motorické učení. Globální analýza veškerých pozorovaných činností ukázala bilaterální kortiko-subkortikální neuronální síť, která tvoří podklad motorického učení napříč všemi činnostmi. Konvergující aktivační komplex zahrnoval dorzální (na laterální části) premotorický kortex, suplementární motorickou kůru, primární motorickou i somatosenzorickou oblast, lobus parietalis superior, thalamus, putamenem a cerebellum. Pro senzomotorické dovednosti docházelo k větší aktivaci právě posledních dvou částí sítě. Sériové reakční testy indikovaly významnější zapojení kortikálních struktur, spolu s thalamem. Obě tyto podjednotky měly společnou inkluzi zejména levého dorzálního premotorického kortexu, a to bez ohledu na lateralitu probandů. Autoři tak potvrzují zjištění předešlé studie (Halsband & Lange, 2006), kteří uvádí stejnou lateralitu zmíněné struktury s pravostranným zapojením bazálních ganglií.

Walz, Doppl, Kaza, Roschka, Platz a Lotze (2015) navázali na práci Hardwicka et al. (2013) výzkumem pomocí iniciální a následné funkční magnetické rezonance po dvoutýdenním nácviku jemné motoriky nedominantní horní končetiny. Zaznamenali aktivitu stejné neurální sítě jako předchozí studie, přičemž popsali hned několik výsledků po provedeném tréninku. Byl přítomen transfer trénované činnosti i do druhostranné netrénované horní končetiny. Pro sekvenční pohyby prstů došlo ke sníženému zapojování suplementární motorické oblasti, dorzolaterálního prefrontálního kortexu, parietálních korových areí a laterálních částí mozečku. Vysoká iniciální aktivace anteriorní částí mozečkové hemisféry predikovala vysoký tréninkový efekt. Větší vyprodukované síle stisku ruky odpovídala větší aktivace striata.

Wright et al. (2015) hovoří o významně zvýšené aktivitě laterální (dorzální a ventrální premotorická kůra) i mediální (pre-suplementární a suplementární motorickou areou) premotorické kůry v procesu učení motorických sekvencí. Laterální premotorické kůře je přisuzována úloha ve vytvoření asociací mezi libovolnými senzoryckými podněty a reakcí nebo pravidelnou odpovědí. Mediální premotorická kůra bývá spojována se selekcí, načtením a následnou organizací informací pro celé pohybové sekvence

v různých bodech procesu motorického učení. Suplementární motorická kůra tvoří nezastupitelnou složku v iniciální fázi tréninku pohybové dovednosti a umožňuje využití nejefektivnější strategie s výsledkem snížení počtu prováděných chyb a zároveň zvýšením rychlosti (Lefebvre et al, 2012). Wright et al. (2015) poukazují i na vliv frontální asociační korové oblasti při tvorbě motorických plánů. Úzkou souvislost pozorujeme v iniciálních fázích motorického učení i mezi dorzolaterální prefrontální kůrou a bazálními ganglii (konkrétně putamen). Oproti tomu suplementární motorický kortex se zřejmě více podílí na spouštění již naučených pohybových sekvencí.

Dorzolaterální prefrontální kortex zřejmě úzce souvisí se zrakově-prostorovou pracovní pamětí, ergo propojení sensorické informace s motorickou aktivitou. Kaudální část suplementární motorické oblasti odpovídá naučeným dovednostem sekvenčního charakteru. Motorické plány jsou uloženy primárně v parietálních a frontálních korových oblastech levé hemisféry (Halsband & Lange 2006). Tento fakt naneštěstí znamená těžší postižení většinové pravostranně dominantní populace při cévní mozkové příhodě (CMP). Jejich dominantní hemisféra, která jak bylo uvedeno pravděpodobně tvoří „hardwarové úložiště“ jejich motorických vzorů a obratnosti, je velmi těžce poškozena, což nabízí vysvětlení pro pohybovou inkoordinaci či neobratnost u hemiparetiků po CMP.

Jak bude zmíněno v kapitole o retenci motorického učení, zatím nejpravděpodobnějšího kandidát na konsolidaci motorických plánů reprezentuje primární somatosenzorický kortex (Kumar et al, 2019). K retenci mimo jiné přispívá zvýšená konektivita mezi strukturami laterální i mediální premotorické kůry s hippokampem (Lin et al, 2018; Wright et al, 2015).

### **5.3 Proces motorického učení**

Proces motorického učení rozdělený na fáze, lze charakterizovat podle třístupňového modelu, který vytvořili Fitts a Posner. Tento model obsahuje tři základní fáze: kognitivní, asociativní a poslední autonomní.

Kognitivní fáze zahrnuje periodu, kdy jsou vytyčeny cíle, ve spojení s určením vhodné strategie k dosažení požadovaného záměru (Taylor & Ivry, 2012). Během tohoto úseku osoba zaměřuje svou pozornost zejména na své tělo ve smyslu vytvoření motorického plánu, pro požadovanou aktivitu. Jako příklad jsou uvedeny typické otázky,

keré si osoba v této fázi klade: „*Jaký je směr, potřebný k dosažení cíle?*“ „*Jak rychle mám vykonat určitý pohyb?*“ „*Jakou sílu mám vyvinout?*“ Tuto fázi charakterizuje největší množství chyb i vysoká variabilita podávaného výkonu. Takovýto začátečník si sice je vědom faktu, že dělá chyby, ale prozatím není schopen tyto chyby vědomě korigovat (Anderson & Magill, 2014). Mezi atributy kognitivního stadia patří i velmi rychlý pokrok v nacvičované aktivitě. V iniciální fázi motorického učení hrají velmi důležitou roli sensorické podněty a pozitivní zpětná vazba (Bernandi, Darainy & Ostry, 2015; Taylor & Ivry, 2012; Sidarta, Vahdat, Bernandi & Ostry, 2016, Wulf & Lewthwaite, 2016). Zároveň v počáteční fázi představuje velmi důležitou složku pozitivní očekávání, spolu s povzbuzováním autonomie osoby v procesu motorického učení (Lewthwaite & Wulf, 2017). Bernandi et al. (2015) poukazují na signifikantní roli sensorických vjemů zejména v iniciální fázi motorického učení. Robotická ruka manipulovala probandům s horní končetinou bez zrakové kontroly s využitím pozitivní zpětné vazby. Popsaný postup dosahoval 75-100 % efektivity v motorickém učení, oproti kontrolní skupině provádějící pohyby manuálně. Tento poznatek svědčí ve prospěch pasivního cvičení u pacientů, kteří jsou odkázáni na pasivní terapii. Pro ideální efekt zapojujeme při současném pasivním cvičení i pohyb v představě. Důležitá je přítomnost pozitivní zpětné vazby, spolu se zachovalou schopností vnímání sensorických vjemů.

Asociativní fáze nastupuje po nespécificky dlouhém nácviku dané činnosti, pro kterou jsou charakteristické snížení výskytu chyb variability a zároveň se tvoří schopnost zpětně rozpoznávat chyby při provedení. Představuje z hlediska průběhu ambulantní fyzioterapie nejdůležitější roli a současně vytváří prostor pro využití poznatků o motorickém učení v průběhu terapie, což bude zdůrazněno ve shrnutí této kapitoly (Anderson & Magill, 2014).

Autonomní fázi charakterizuje velké zautomatizování prováděné aktivity. Vědomá kontrola je zaměřena na konkrétní detaily prováděného pohybu. Výkon zůstává velmi konzistentní. Dotyčná osoba dokáže provádět danou činnost zároveň s jinou. Například zkušený řidič, který řídí automobil desítky let, dokáže během ovládání automobilu, společně s sledováním dopravní situace, vést konverzaci s ostatními pasažéry. Začátečník v první jízdě autoškoly mnohdy nedokáže ani koordinovat pedál spojky s pedálem plynu. V autonomní fázi si osoba dokáže uvědomit většinu chyb bezprostředně po provedení. Tohoto stadia v provádění konkrétní činnosti dozajista nedosáhne každý člověk (Magill & Anderson, 2014). V této poslední fázi přecházejí sensorické vstupy převážně do podvědomé složky. Dochází často k tzv. „aha“ momentu (tj. skokové zlepšení, na základě

pochopení a prožití klíčové části dovednosti) s kvalitativním posunem vpřed. Autonomní fázi také charakterizuje standardizace a stabilizace, jinými slovy schopnost přizpůsobit vykonávanou činnost měnícím se vnějším podmínkám, za stavu dynamické stabilizace kloubů. Toto aktivně udržované postavení segmentů celého těla, při prováděném pohybu má za důsledek výrazné snížení energie, potřebné k udržení této situace (Magill & Anderson, 2014).

Podobné rozčlenění můžeme vidět i v teorii podle Halsbanda. V tomto případě je proces opět rozdělen do tří fází, přičemž jejich obsah má velmi podobné rysy výše popsaného modelu. Fáze jsou nazvány iniciální, středně pokročilá a pokročilá. Za zmínku stojí předpoklad vytváření senzomotorické „mapy“, která postupem času přechází v engram. Tyto engramy pomáhají vytvářet senzorické vstupy, jako propiocepce, exterocepce a informace z hlavových nervů (Halsband & Lange, 2006).

## **5.4 Implicitní a explicitní motorické učení**

### **5.4.1 Základní charakteristika implicitního a explicitního motorického učení.**

Motorické učení můžeme v základu rozdělit na implicitní a explicitní. Implicitní motorické učení (IMU) je charakterizováno jako nezáměrné nebo nevědomé, ale rozpoznané zlepšením výkonu. Explicitní motorické učení (EMU) zahrnuje do určité míry vědomou kontrolu prováděné činnosti spojené s rekolekcí přechozích zkušeností. Je mnohem cílenější a přesněji zaměřené než učení implicitní (Honda, Deiber, Ibáñez, Pascual-Leone, Zhuang & Hallet, 1998). Jako modelový příklad obou druhů může posloužit trénink fotbalových hráčů, kteří často využívají oba tyto podtypy motorického učení. Implicitní složku představuje samotný zápas nebo cvičná hra simulující situaci zápasu. Hráči primárně soustředí svou pozornost na vykonávanou aktivitu a samotný proces učení probíhá relativně pasivně. Explicitní složku tvoří trénink dílčích komponent s vědomou kontrolou a snahou o co nejlepší provedení. Příklady jsou: kop na bránu, obratnost s míčem či nácvik specifických situací mnohokrát opakovaných (např. rohový kop).

V IMU je použito minimální množství pokynů, instrukce a příklady provedení pohybu mohou být poskytnuty pouze formou analogií, předvedením s následnou snahou napodobení nebo pomocí vyjádření konečného cíle či stavu pohybu. Kupříkladu v nácviku chůze po cévní mozkové příhodě: „Běžte, jako byste šel/šla hlubokým

sněhem.“ Terapeut slouží spíše jako kontrolor prováděného pohybu (Jie, Kleynen, Meijer, Beurskens & Braun, 2018).

V EMU by mělo být použito mnoho verbálních instrukcí. Tyto instrukce mají být velmi detailní. Osoba, vykonávající pohyb soustředí svou pozornost na konkrétní parametry určité činnosti. Pokyny explicitního principu u modelového případu, popsaného v předchozím odstavci by zněly: „Přeneste váhu na pravou nohu.“ „Posuňte pravou patu více ke středu.“ „Pokrčte pravé koleno.“ (Jie, Kleynen, Meijer, Beurskens & Braun, 2018). Dále je možno využít pozitivní zpětné vazby při správném provedení (Bernandi et al, 2015).

Kal, Prosée, Winters a Kamp (2018) si v meta-analýze kladli otázku, zda IMU vede k větší automatizaci motorických dovedností, oproti EMU. Tito autoři prověřili 25 studií, které splňovaly požadavky jejich výběru, tzn. věk zúčastněných nad 18 a více let, přímé porovnání mezi implicitním a explicitním motorickým učením, spolu s re-testem učené motorické dovednosti. Z výsledků v 5 z 25 studií měla implicitní skupina lepší výsledky než explicitní, z toho ve 3 případech signifikantně. Závěrem této meta-analýzy je malý pozitivní vliv IMU na automatizaci a lepší retenci učených dovedností. Oba typy učení se pravděpodobně rozvíjejí současně (Willingham & Goedert-Eschmann, 1999, Pereboom, Janssenm Steiner, Steenbergen & Sanden, 2017).

#### **5.4.2 Externí orientace pozornosti u motorického učení.**

Pochopení faktorů, které ovlivňují proces motorického učení, by nemělo zůstat pouze v teoretické rovině, ale naopak by mělo sloužit jako obohacení běžně praktikovaných postupů. Efektivní metody, využívající určitý typ instrukcí mohou urychlit dosáhnoutí vysoké úrovně prováděné činnosti ve sportu, ergoterapii či fyzioterapii. Jedním z prostředků pro zvýšení efektivity motorického učení je externí orientace pozornosti, která spadá do explicitních metod (Abdollahipour, Nieto, Psotta & Wulf, 2017).

##### ***5.4.2.1 Výhody externí orientace pozornosti.***

Bylo opakovaně prokázáno, že externí zaměření pozornosti, tzn. soustředění se na externí prostředí, místo vnímání pohybu vlastního těla, vede ke zlepšení podávaného výkonu i motorického učení (Abdollahipour, Nieto, Psotta & Wulf, 2017; Wulf, 2012; Wulf & Lewthwaite, 2016). Tato orientace využívá konečnou pozici nebo výsledek pohybu, oproti internímu zaměření, které klade důraz na provedení pohybu. Změna instrukce pouze v jednom slově může způsobit signifikantní změnu výsledků. Wulf,

McNevin a Shea (2001) popisují zlepšení balančních schopností po použití externě orientované instrukce „Soustředte se na pedály“, místo „Soustředte se na svoje nohy“.

Externí zaměřené pozornosti významným způsobem pozitivně ovlivňuje schopnost házení i chytání předmětů, a to jak dospělých, tak u dětí (Abdollahipour, Psotta, Nieto, Rouzbahani, Nikdast & Bahram, 2014; Abdollahipour & Psotta, 2017; Krajenbrink, van Abswoude, Vermeulen, van Cappellen & Steenbergen, 2018). Vizuální zpětná vazba taktéž v malé míře napomáhá zlepšení podávaného výkonu a motorického učení (Abdollahipour et al, 2014). Provádění podobné pohybové aktivity (bowling) také benefituje z externího zaměření pozornosti. Dalším prostředkem pro zlepšení může být i zvýšená autonomie osoby (možnost si zvolit některé parametry prováděné činnosti) (Abdollahipour, Nieto, Psotta & Wulf, 2017). Krajenbrink et al (2018) potvrzují pozitivní vliv externího zaměření pozornosti, ale zároveň rozporují jeho vliv na motorické učení a automatizaci u činnosti házení.

#### *5.4.2.2 Teoretický podklad externí orientace pozornosti.*

Mezi parametry, zlepšené pomocí externí orientace při provádění činnosti, patří zvýšená přesnost v házení na terč, produkce síly, udržování pozice těla či rovnováhy, zlepšení motorické koordinace (menší svalová aktivita při udržování určité pozice těla), snížená spotřeba kyslíku a nižší srdeční frekvence. Wulf, McNevin a Shea (2001) vysvětlují tyto výsledky pomocí hypotézy tzv. omezené akce. Externí zaměření pozornosti umožňuje provedení pohybu více automaticky, přičemž řídicí systémy motoriky využívají nevědomé a rychle reagující kontrolní procesy. V opačném případě soustřední, zaměřené na segmenty vlastního těla, tj. vědomá kontrola pohybu způsobuje interferenci mezi automatickou a vědomou částí řízení která, omezuje prováděný pohyb. Tento poznatek potvrzují Abdollahipour a Psotta (2017) i Kal, van der Kamp a Houdijk (2013). Zmínění autoři zkoumali vliv zaměření pozornosti, při provádění jednoduchého motorického úkonu (repetitivní flexe a extenze kolene), společně se skládáním slov z předem určených písmen (dual-tasking). Lepší výkon v dual-task aktivitě potvrzují i Krajenbrink et al (2018). Externí zaměření pozornosti vedlo u participantů k lepší plynulosti a menší energetické náročnosti pohybu.

Inovativní přístup Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning (OPTIMAL), který navíc využívá psychologických poznatků, specificky interpretuje externí zaměření pozornosti. Díky lepšímu podávanému výkonu má osoba větší motivaci a zároveň očekává další úspěch i zlepšení v prováděné činnosti. Zvýšená míra motivace umožňuje afinitu osoby k prováděné činnosti, čímž zejména ve

fyzioterapii vede k efektivnější domácí autoterapii. Dále prezentuje poznatek o lepší automatizaci prováděné činnosti (Wulf & Lewthwaite, 2016). Tento klinický postup pomáhá tvořit tzv. párování cíl-činnost, které předpokládá lepší propojení motivačních struktur s exekutivními. O přístupu OPTIMAL bude detailněji pojednáno v oddílu 5.8.

## **5.5 Vliv pracovní paměti na motorické učení**

Často je diskutován vliv pracovní paměti na EMU. Pracovní paměť můžeme definovat jako proces, který zasahuje do cílem orientovaného chování. Znamená potřebu obdržení a práce s informací, ve prospěch úspěšného provedení vykonávané aktivity (Chai, Hamid & Abdullah, 2018).

### **5.5.1 Vliv verbální pracovní paměti na motorické učení.**

Ve studii, která zkoumala vliv verbální pracovní paměti na explicitní a implicitní sekvence učení u dětí a dospělých, zkoumali Pereboom, Sanden a Steenbergen (2019) vliv věku a vizuální pracovní paměti na motorické učení. Skupina dětí obsahovala 60 probandů, přičemž 39 dětí bylo ve věkovém rozmezí 5-6 let a ve druhé skupině bylo 21 dětí ve věkovém rozmezí 7-9 let. Referenční skupina se skládala z 28 dospělých s věkem od 18 do 21 let. Ve studii bylo posouzeno EMU, společně s IMU, pomocí sériového rekčního testu. Pracovní paměť byla před samotným testováním zkoumána pomocí metody The Automated Working Memory Assesment (AWMA). Skupina dospělých, společně se skupinou starších dětí (7-9 let), vykazovala v obou testech lepší výsledky. Lepší výsledky v testu AWMA korelovaly s lepším výkonem v testu, zaměřeném na EMU. Tito probandi měli rychlejší reakční čas. Zároveň lepší skóre v AWMA bylo spojeno s lepší retencí naučených dovedností při re-testu. Nejrychlejší pokrok v křivce EMU vykazovala skupina nejmladších dětí (5-6 let). V případě EMU, narozdíl od IMU nebyl pozorován pozitivní vliv lepší pracovní paměti. V křivkách, ukazující rychlost pokroku učení, nebyl vyjádřen vliv pracovní paměti. Tomuto závěru odpovídají i výsledky dalších dvou studií, které zkoumaly subjekty 60 a 24 dětí. Verbální pracovní paměť zřejmě není prediktorem úspěšnosti motorického učení (Abswoude, Buszard, van der Kamp & Steenbergen, 2020; Brocken, Kal & van der Kamp, 2016).

### **5.5.2 Vliv zrakově-prostorové pracovní paměti na motorické učení.**

Oproti tomuto zjištění zrakově-prostorová pracovní paměť byla minimálně ve dvou následujících případech prediktorem lepší schopnosti motorického učení. Obě studie

pracovaly s pozitivní zpětnou vazbou. Schopnost udržet dříve provedené pohyby v pracovní paměti může mít pro vykonání přesných pohybů s co nejmenším počtem chyb větší význam než očekávání odměny. Zrakově-prostorová pracovní paměť osoby můžeme otestovat tak, že vychýlíme probandovu končetinu do několika přesně určených směrů. Posléze pokračujeme v tomto testování a vyšetřovaný/á nám má ohlásit, pokud se jeden či více směrů vychýlení opakuje (Sidarta, Vugt & Ostry, 2018). Podobným způsobem testuje Kolář (2009) schopnost somatognozie tím, že osobě se zavřenýma očima uvede končetinu s dotykem prstu do určité pozice a tento bod označí. Examinovaný/á má prst vrátit co nejbližší tomuto bodu. Autor sice tento test používá zejména pro vyšetření propriocepce, nicméně zároveň vyšetřuje pohybovou pracovní paměť. Dovednost rozeznat shodné polohy končetiny znamená i lepší předpoklad pro motorické učení. Tato podjednotka pracovní paměti také selektuje podněty a pohyby, podpořené pozitivní zpětnou vazbou (Sidarta et al., 2018). Tento výsledek replikovali na větším subjektu (241 probandů) Holland et al (2019). Jejich studie rovněž odhalila korelaci mezi zrakově-prostorovou pracovní pamětí a lepší schopností těchto osob uchovávat pohybové vzory, které vedou k úspěšnému provedení.

## **5.6 Retence motorického učení**

Retence engramu získaného motorickým učením znamená schopnost vykonávat určitou naučenou dovednost s relativním časovým odstupem (Schmidt, Lee, Winstein, Wulf & Zelaznik, 2019). Retenci můžeme označit i jako zlepšení jednoho nebo více aspektů původně trénované dovednosti po určité odmlce bez aktivního nácviku. Ukazuje se, že malý pozitivní vliv na uložení engramu do dlouhodobé paměti má implicitní motorické učení (Kal et al, 2018).

### **5.6.1 Vliv kontextuální interference na retenci motorického učení.**

Neurovědci si kladli otázku, zda záleží retence motorického učení na tzv. kontextuální interferenci (Moretto, Marcori & Okazaki, 2018; Wright, Verwey, Buchanen, Rhee & Immink, 2015). Tento termín v oblasti motorického učení představuje interferenci mezi vícečetnými dovednostmi nebo variacemi jedné dovednosti při tréninku v jedné cvičební jednotce. Větší různorodost při procesu motorického učení podle Wrighta et al. (2015) znamená zvýšení aktivity v somatosenzorickém komplexu, který se skládá z primárního somatosenzorického kortexu a dorzolaterální premotorické kůry.



O podobném významu tohoto komplexu hovoří i Halsband & Lange (2006). Je předpokládán pozitivní vliv této různorodosti. Vzhledem k tomu, že má popsany celek mimo jiné za úkol plánovat pohybovou aktivitu, zdá se být logickou úvahou, že při plánování více pohybových sekvencí dojde k jejímu většímu zapojení. S tímto koreluje zjištění, které popsali Kumar, Manning a Ostry (2019). Jejich poznatek přisuzuje v procesu konsolidace engramů motorických vzorů hlavní roli primární somatosenzorické kůře. Wright et al (2015) naopak považuje za nejpravděpodobnějšího kandidáta pro konsolidaci pohybových vzorů primární motorickou kůru M1.

Wright et al. (2015) přisuzují kontextuální interferenci velkou roli. Tento předpoklad doplňuje zjištění o zvýšené konektivité mezi premotorickou kůrou, dorsolaterální prefrontální kůrou, inferiorním parietálním lobulem, hippokampem, putamen a cerebellem. Toto propojení umožňuje vysoká kontextuální interference, která zároveň vede ke konsolidaci engramů do dlouhodobé paměti právě skrze výše zmíněnou zvýšenou konektivitu mezi premotorickou kůrou a hippokampem (Lin et al, 2018).

K lepší retenci dochází díky zvýšené aktivaci oblasti M1, díky zvýšené kontextuální interferenci, dosažené více randomizovaným režimem nácviku sekvenčních aktivit. Probandi, kteří místo blokového tréninku prodělali právě randomizované jednotky, měli zpočátku horší výsledky oproti kontrolní skupině. Přes počáteční neúspěch se benefity projeví v retenčním re-testu, kde byly jejich výsledky naopak o poznání lepší. Motorický kortex M1 těchto osob měl zvýšenou excitabilitu, ovšem menší aktivitu. Tato aktivita představuje jakýsi ekonomičtější model s větší potřebou počáteční investice soustředění (Lin et al, 2011; Lin et al, 2012).

V oblasti retence nelze opomenout velmi důležitou složku pozitivní zpětné vazby, která umožňuje konsolidaci nově vytvořených pohybových engramů. Dodání tohoto feedbacku terapeutem, trenérem nebo pomocí biofeedbacku vede k lepší fixaci učené činnosti. Trénující osobě dodá pocit kompetence, spolu s kladným očekáváním v dalším provedení a současně povede k větší motivaci (Holland et al, 2019; Magill & Anderson, 2014; Sidarta et al, 2018; Wulf & Lewthwaite, 2016).

### **5.6.2 Úloha spánku v retenci motorického učení.**

Vliv retenci motorického učení byl opakovaně prokázán jako klíčový (Walker et al, 2002; Walker et al, 2003; Kuriyama, Stickgold & Walker, 2004; Christiova et al, 2018). V tzv. off-line fázi, kdy nedochází k nácviku explicitně ani implicitně) má spánek nezastupitelnou roli. Tento poznatek se manifestuje v několika následujících ohledech. Pokud osoba nacvičuje motorickou činnost a je po 12 hodinách bdělého stavu znovu

otestována, nedochází k žádnému pozorovanému zlepšení oproti nejlepším výsledkům dosaženým v předchozí tréninkové jednotce. Naopak pokud osoba projde spánkem, můžeme pozorovat významné (o 17-20 % rychlejší provedení sekvence pohybů prstů), oproti předešlému nácviku. Trénink bezprostředně před spánkem, oproti 12hodinové odmlce mezi nácvikem a nebdělým stavem, dále potencuje tento efekt v průměru o 3 % (Walker et al, 2002). Zlepšení v pohybové aktivitě není výhradně záležitostí první prospané noci, nicméně nesporně má největší významnost. V průběhu dalších nocí spánek podporuje progresi, avšak již ne tak významně. Motorické učení závisí na parametrech spánku i kvantitě samotného nácviku. Při zdvojnásobení délky tréninkových jednotek nedošlo k odpovídajícímu zlepšení v retenci motorického učení pomocí spánku (Walker et al., 2003). Kuriyama, Stickgold a Walker (2004) publikovali práci, ve které popisují narůstající benefit spánku s vyšší náročností prováděné činnosti. Tento poznatek má hypoteticky největší využití ve sportu, kde osoby nachází obživu ve zdokonalování velmi koordinačně náročných aktivit. Rozdíly poukazují na důležitou úlohu spánku zejména v bimanuálních aktivitách, kde vedou k průměrnému zlepšení rychlosti devíti-prvkové bimanuální sekvence prstů o 28,9 % za první noc. Konkrétně došlo v prováděné sekvenci ke zlepšení právě v nejvíce problémových úsecích, kde byl globálně největší výskyt chyb a současně tyto části zabíraly procentuálně nejvíce času. Proces spánku tedy selektuje nejobtížnější části pohybu, což vede k nejsignifikantnějšímu pokroku (Kuriyama et al, 2004). Na závěr autoři studie doporučují zařazení nejnáročnější koordinační aktivity blíže k očekávanému spánku.

Walker et al (2002) poukazuje ve spánkovém cyklu zejména na fázi non rapid eye movement 2 (NREM 2). Největší zastoupení má tato část v pozdních hodinách spánku. Pokud cirkadiální spánkový rytmus osoby začíná ve 23:00 a končí v 7:00, klíčová doba pro konsolidaci naučené pohybové činnosti bude mezi 3:00-6:00. Výše popsané poznatky se netýkají pouze pohybů aker či naučených sekvencí, ale i hrubé motoriky v implicitních i explicitních činnostech (Christova et al, 2018). Dokonce je diskutován zpětný pozitivní vliv pohybové aktivity na samotnou kvalitu spánku.

Byl potvrzen pozitivní vliv spánku na motorické učení jedinců, kteří utrpěli CMP (Siengsukon, Boyd & Notes, 2009). Tito autoři také rozporují efekt spánku na konsolidaci nacvičované aktivity u starších, jinak zdravých osob. Novější studie prokazují, že i při fyziologickém stárnutí dochází ke snížení kvality spánku. Konkrétně změna v aktivitě spánkových větének negativně ovlivňuje hippokampem podmíněné učení (Walker et al., 2014). Ke stejnému závěru, direktivně v případě motorického učení, došli i Fogel et al.

(2017), kteří zjistili pozitivní ovlivnění šedé kůry cerebella a hippocampu fyziologickou aktivitou spánkových vřetének u mladých jedinců. Atrofie mozkové šedi ve stáří, společně se změnou elektrické aktivity mozku, vyústí i v poškození schopnosti konsolidace nově naučených pohybových dovedností (Fogel et al, 2016). Špatná kvalita spánku zapříčiněná spánkovou apnoe také zhoršuje retenci motorického učení a po odstranění apnoe dojde k normalizaci této funkce mozkové kůry (Landry et al, 2014; Landry et al; 2016).

## **5.7 Transfer motorického učení**

Transfer motorického učení se objevuje postupně a systematicky, když osoba nacvičuje stejnou činnost během čím dál komplexnějších aktivit (Gillen, 2009). Někdy je používán termín generalizace motorického učení v kontextu integrace již naučených dovedností do nově učených. Pouze v případě úspěšné generalizace je tento proces označován jako transfer (Krakauer, Mazzoni, Ghazizadeh, Ravindran & Shadmehr, 2006). Transfer vyžaduje načtení, společně s modifikací předchozích naučených modelů, tímto CNS vykazuje podobnou aktivitu jako při pozdní fázi motorického učení (Seidler, 2010). Níže následuje popis výsledků některých parametrů transferu motorického učení.

### **5.7.1 Volba vhodné strategie transferu.**

Otázka, zda je výhodnější začít menší a méně náročnou pohybovou dovedností a následně přejít ke složitější, nebo naopak doposud není přesně zodpovězena. Pokud se např. fyzioterapeut rozhoduje, jakou z těchto strategií zvolí, měl by posoudit dva základní parametry. První tvoří tzv. komplexnost činnosti, charakterizovaná počtem komponent (částí těla) a celkovou koordinační náročností. Druhou otázku definuje tzv. organizovanost, která znamená vzájemnou časově-prostorovou závislost jednotlivých komponent. V případě nízké komplexnosti s vysokou organizovaností vyvstává výhodnější nácvik činnosti jako celku. Náročnost situace si mnohdy vyžádá simplifikaci, tu provádíme zjednodušením části nebo celé dovednosti. Metody simplifikace obsahují snížení vnějšího odporu, snížení požadavků na pozornost či pracovní paměť, redukce rychlosti, přidání auditivních stimulů i využití simulátorů a virtuální reality. Za situace vyšší komplexity s poměrově nižší organizovaností nabízí efektivnější řešení nácvik menších částí, posléze spojených do celku. V tomto druhém případě instruujeme osobu, aby zaměřila pozornost na specifikovanou část prováděného

pohybu. Jsou zde využívány dvě hlavní facilitační techniky, které potencují motorické učení částí v celek. Rozdělení na frakce, což znamenalo např. u chůze nejdříve odděleně nacvičit pohyb dolní a horní končetiny, které bychom následně spojili v celek. Druhá technika segmentace znamená, že až po zvládnutí dané části pohybu na vysoké úrovni zvýšíme jeho komplexnost. Popsané techniky mezi sebou můžeme volně kombinovat podle potřeb a odezvy vedené osoby.

Prozatím výsledky naznačují u činností horní končetiny lepší transfer v případě počátečního nácviku komplexnějších a rozsáhlejších pohybu s postupnou atomizací na menší části (Rhein & Vakil, 2018; Ben-Tov, Levy-Tzedek & Karniel, 2012).

### **5.7.2 Recentní klinické studie zaměřené na možné zlepšení transferu.**

Jednou z možností transferu se zabývali Levac, Huber a Sternad (2019). Způsob většiny studií zkoumající motorické učení probíhá v laboratorních podmínkách, kde jsou zkoumány zejména méně složité úkony jako sahání po cíli. Tyto testy však nemohou pojmut komplexnost pohybového projevu běžného člověka při denních činnostech. Tito autoři navrhuji transfer motorického učení pomocí virtuální reality, čímž nenaruší laboratorní podmínky, a zároveň mohou zvýšit komplexnost zkoumaných pohybů (Levac et al., 2019). Vyšší náročnost vykonávané činnosti (více vizuálních vjemů nebo koordinace více pohybů najednou) může mít pozitivní vliv na přenos takové nacvičované činnosti skrze vyšší variabilitu. Tento předpoklad by odpovídal práci Wrighta et al. (2015), který tvrdí, že vyšší možnost kontextuální interference, v tomto případě vytvořená pomocí virtuální reality, povede k efektivnějšímu transferu motorického učení.

Boney, Jelsma, Feeguson a Smits-Engelsman (2017) zkoumali vliv variability, která spočívala v různorodém výběru konzolových her na balanční plošině, oproti druhé skupině s jedinou hrou. Variabilita neměla v tomto případě žádný vliv na konečný výsledek, ačkoliv úspěšný transfer v balančních dovednostech byl pozorován u obou skupin. Toto zjištění odporuje těm výše popsaným.

Pilotní studie Krishnana (2019) poukazuje na lepší transfer motorického učení, při použití více tréninkových jednotek, oproti jedné delší jednotce. Zároveň vyzdvihuje interkonektivitu mezi dolními končetinami. Čím více je pohybová činnost na jedné dolní končetině trénována, tím větší je i transfer této činnosti pro druhou stranu.

## 5.8 Optimalizace motorického učení

Maximálním zefektivněním procesu motorického učení se zabývá přístup *Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning: The OPTIMAL theory of motor learning*. Tento přístup vychází z recentních poznatků o motorickém učení a má za cíl optimalizaci tohoto procesu, což následně vede k lepšímu transferu i retenci motorického učení (Wulf & Lewthwaite, 2016). Dobrých výsledků dosahuje díky vytvoření podmínek, které pomáhají k pozitivnímu očekávání, ve vztahu k budoucímu pohybovému výkonu, dále proměnných, díky nimž je podpořena autonomie a posledně externí orientace pozornosti skrze zaměření na cíl činnosti.

Tato metoda, narozdíl od většiny, do značné míry řeší otázku motivace ve vztahu k motorickému učení. Od motorického učení nelze oddělit složky pozornosti, sociálně-kognitivní ladění osoby či afektivní procesy. V rámci učení se nové dovednosti by měla být naplněna, nebo alespoň neohrožena, jedna ze základních psychologických potřeb – potřeba kompetence. Proto má velký význam zaměření na úspěch, spíše než na nedostatky, které jedinec při nacvičování pohybu není schopen okamžitě korigovat. Očekává pozitivního výsledku, společně s kladnou zpětnou vazbou tvoří důležitý podklad pro budoucí motorické učení. Lepší výsledky v motorickém učení pozorujeme, pokud osobě ohlašujeme pouze správně provedené pokusy, namísto signalizace těch chybných, což dále podporuje míry vnímané kompetence a podporuje sebejistotu. Jako výhodnější se ukazuje, pokud nesrovnáváme osobu, kterou instruujeme s jinými, zejména s lepší výkonností. Skupiny, kde si účastníci myslí, že patří do nadprůměrně kompetentních jedinců, mají obecně lepší výsledky v motorickém učení. Z hlediska obtížnosti trénované dovednosti potřebujeme, aby nebyla příliš náročná. To by mohlo osobu demotivovat, proto na začátek volíme velmi snadné cviky, dáváme pozitivní zpětnou vazbu, podporujeme kompetenci a až po získání kladného sebehodnocení volíme náročnější cviky (Wulf & Lewthwaite, 2016).

Pro zvýšená očekávání úspěchu lze využít i optického klamu. Pokud se osoba snaží např. míčem trefit do kruhu, bude přesnější v případě, kdy jsou okolo cílového kruhu rozmístěny menší cíle, které vytvoří iluzi většího středního kruhu. Naopak pokud kolem cílového pole rozmístíme větší kruhy, osoba vidí cíl jako relativně menší a jeho zasáhnutí shledává obtížnějším (Bahmani, Wulf, Ghadiri, Karimi & Lewthwaite, 2017).

Autonomie také napomáhá vyšší efektivitě procesu motorického učení. Pokud se osoba aktivně podílí na terapii tím, že vybírá pořadí cviků nebo pomůcky ke cvičení,

je díky tomu aktivním účastníkem, nikoliv pasivní příjemce, což dále podporuje adherenci k učeným dovednostem. O externím zaměření pozornosti již bylo pojednáno výše, nicméně je za potřebí zdůraznit, že mimo jiné výhody, vede i k větší automatizaci pohybu, což je u mnoha stavů cílem terapie (Wulf & Lewthwaite, 2016; Lewthwaite & Wulf, 2017).

## **5.9 Shrnutí poznatků o motorickém učení**

### **5.9.1 Zkoumané struktury CNS v souvislosti s motorickým učením.**

V oddílu 3.4 byly popsány struktury, kde často pozorujeme u jedinců s VPK jisté abnormality v anatomii neuronální tkáně nebo její konektivity. Konkrétně změny konektivity dorzolaterální prefrontální kůry, prořídnutí fasciculus longitudinalis medialis vlevo, dále prořídnutí corpus callosum pod parietálním a frontálním lalokem (Wilson et al., 2017). Je známo, že dorzolaterální prefrontální kůra propojená s bazálními ganglii (zejm. putaminem) se významně podílí na propojení sensorické i senzitivní zpětné vazby s motorickou funkcí a její zvýšenou aktivaci pozorujeme zejména v iniciálních fázích motorického učení (Halsband & Lange 2006). Na základě popsání deficitu obou těchto oblastí pomocí moderních zobrazovacích metod můžeme předpokládat poruchu iniciální fáze motorického učení u jedinců s VPK. Dorzolaterální prefrontální kůra, společně s parietálními asociačními oblastmi bývá velmi úzce spojována i s zrakově-prostorovou pracovní pamětí, jejíž kapacita představuje prediktor efektivity motorického učení. Z hlediska retence engramů nových pohybových vzorů se autoři shodují na většinové lokalizaci v komplexu gyrus postcentralis a gyrus precentralis (M1). Pro retenci je důležitá zvýšená konektivita mezi mediální i laterální premotorickou kůrou s hippokampem (Lin et al, 2018; Wright et al, 2015).

### **5.9.2 Důležité informace o retenci a transferu motorického učení.**

Zatímco verbální pracovní paměť pravděpodobně není prediktorem lepší schopnosti motorického učení (Abswoude et al., 2020; Brocken et al., 2016), zrakově-prostorová pracovní paměť se jeví jako spolehlivější předpovědní faktor. Tuto funkci CNS, kterou spíše z našich končin známe pod pojmem somatognozie a stereognozie, si lze orientačně otestovat (viz pododdííl 3.5.3.2) Na základě dostupného výzkumu je doporučeno přinejmenším snaha o zapojení externí orientace pozornosti do terapie, protože toto zaměření poměrně jednoznačně tvoří prvek k zefektivnění samotného

procesu motorického učení. Prozatím byl zkoumán hlavně vliv zmíněné strategie na momentální výkon, nikoli však v ohledu retence či transferu. Poznatky neurověd, doplněné o současně malý vzorek klinických studií, hovoří ve prospěch větší motorické variability v iniciálních fázích učení se pohybové dovednosti. Zpočátku sice tento přístup přináší horší výsledky, ale z dlouhodobého hlediska je pravděpodobně efektivnější (Wright et al., 2015).

Pro optimální retenci motorického učení má nezastupitelnou roli spánek, protože při něm dochází k ukládání nově získaných a zdokonalení již naučených pohybových dovedností. Nejdůležitější je první noc po nacvičované fyzické aktivitě, specificky pak fáze NREM-2, která při osmi hodinách spánku tvoří značnou část až v posledních 90 minutách. Pomocí spánku dochází ke zlepšení ve specificky „problémových“ částech trénované dovednosti. Dotaz pacienta na jeho spánek by měl být rutinním nejen z hlediska bolesti, ale i v kontextu motorického učení (Walker et al., 2002; Walker et al., 2003; Walker, 2004; Walker et al., 2014). Retenci motorického učení významně podporuje pozitivní zpětná vazba, pomocí které si osoba lépe zafixuje nově získané dovednosti. Čtenář nyní může mít pocit zbytečného opakování tohoto faktu, nicméně pro jeho důležitost je tak učiněno vědomě a záměrně.

V ohledu optimalizace transferu motorického učení, což často představuje cíl fyzioterapeuta, např. při použití metodiky propioceptivní neuromuskulární facilitace (PNF), volíme strategii dle náročností trénované dovednosti. V případě PNF, jelikož se jedná o poměrně složitý a časově úzce vymezený pohybový vzorec, je lepší provedení celého zjednodušeného vzoru s následovným rozdělením na menší, zejména problémové fáze pohybu. Při nácviu komplexích činností jako je například chůze začínáme reedukací pohybů v jednotlivých segmentech na opačných končetinách, které pak spojujeme v celek (Magill & Anderson, 2014). Transfer dále můžeme podpořit pomocí větší variability v nácviu činnosti, kdy lze využít i prostředků jako virtuální realita. Tréninkem motorické dovednosti na jedné končetině zlepšujeme tuto schopnost i kontralaterálně (Krishnan, 2019). Lepšího transferu i retence motorického učení dosáhneme, pokud rozložíme trénink do časově kratších částí s vyšší frekvencí oproti delším jednotkám s menší frekvencí (Rhein et al., 2018; Ben-Tov et al., 2012).

### **5.9.3 Optimalizace motorického učení pomocí psychologických faktorů.**

Osoba, která vede proces motorického učení na začátku ujistí trénovaného jedince o jeho dostačující kompetenci a vzbudí pozitivní očekávání. Při vedení fyzioterapeutického procesu by měl terapeut vyzdvihovat hlavně dobrá provedení nově

učeného cviku, co nejméně kritizovat či poukazovat na chyby. Pokud osoba splní námi požadované provedení, okamžitě pochválíme a zdůrazníme správně provedenou část. Ukazuje se, že pokud vedenému člověku podáme informaci (i falešnou) o jeho pohybové obratnosti, bude tato osoba dosahovat v motorickém učení lepších výsledků, než při sdělení informace té samé osobě sdělíme informaci o její inkompetenci či podprůměrnosti. Zásadně nesrovnáváme s jinými jedinci. Přínosné je i poskytnutí možnosti volby v průběhu terapie, pacient se díky tomuto stává více aktivním účastníkem terapie, oproti pouze pasivnímu přijímání (Wulf & Lewthwaite, 2016).



## 6 Motorické učení u vývojové poruchy koordinace

### 6.1 Motorické učení u VPK

Jak uvádí Kolář (2011), do syndromu VPK patří i porucha motorického učení. Jedincům s VPK trvá motorické učení déle, je pro ně obtížnější a začíná na nižší počáteční úrovni. Čím komplexnější je učená pohybová aktivita, tím větší problémy těmto osobám způsobuje (Cantin, Ryan, Polatajko, 2014). Avšak u dětí s VPK byla prokázána schopnost pokroku v trénovaných činnostech. Tyto děti jsou, stejně jako jejich vrstevníci, schopny explicitního i implicitního motorického učení, včetně konsolidace, automatizace a transferu (Biotteau, Chaix & Albaret, 2016). Autoři citovaného článku poukazují na jisté nedostatky ve výzkumu poruch motorického učení u dětí s VPK. Většina studií nepostihuje celý proces motorického učení, ale pouze jeho části, zejména iniciální fázi nebo také rychlou složku učení. Dalším limit spočívá v malých subjektech studií. Na základě prokázaných změn CNS strukturálních i funkčních u VPK, které jsou popisovány prakticky ve všech oblastech, stěžejních pro motorické učení, lze předpokládat i určitý deficit v tomto procesu.

Pro objasnění souvislostí těchto abnormalit poslouží následující srovnání. Nejčastěji prokázané patologie CNS u VPK jsou frontální lalok, konkrétně dorzolaterální prefrontální a orbitofrontální kortex a jejich propojení s bazálními ganglii, dále parietální lalok, cingulum a cerebellum (Biotteau et al., 2016a). Bilaterální kortiko-subkortikální neuronální síť, která byla zaznamenána jako esenciální v procesu motorického učení, bez ohledu na druh prováděné aktivity, zahrnovala dorzolaterální prefrontální kortex, suplementární motorickou kůru, primární motorickou i somatosenzorickou oblast, parietální lalok, thalamus, putamen a mozeček (Hardwick et al., 2013).

Schoemaker a Smits-Engelsman (2015) si položili velmi důležitou otázku, zda stačí jednoduše u dětí s VPK navýšit frekvenci a celkový čas nácviku nebo je za potřebí specificky orientovaný přístup. Jak bylo uvedeno v kapitole klinického obrazu, děti s VPK bývají častěji vyčleněny z kolektivu a méně se zapojují kolektivních hrách. Velmi důležitá je aktivní podpora s pozitivní zpětnou vazbou. Kromě potřeby delšího časového intervalu a častějšího nácviku tato studie neodhalila další specifika motorického učení u dětí s VPK.

### **6.1.1 Implicitní motorické učení u dětí s VPK.**

Děti s VPK jsou schopny implicitního motorického učení, avšak jejich výkon je oproti normálně se vyvíjejícím vrstevníkům horší (Jelsma, Fergusson, Smits-Engelsma & Geuze, 2015; Lejune, Catale, Willems a Meulemans, 2013; Wilson, Maruff & Lum, 2003). Jelsma et al. (2015) zkoumali různé aspekty motorického učení u konzolové hry zaměřené na trénink rovnováhy a koordinace trupu, slalomového lyžování na Nintendo Wii. Postupem pro tuto i následující studie se stal 20minutový nácvik dvakrát týdně po dobu pěti týdnů. Děti s VPK měly obecně horší výkonnost, ale vykazovaly schopnost učení i retence, dokonce při re-testu pomocí MABC-2 po 6 týdnech od začátku tréninku v položce hodnocení rovnováhy MABC-2 měly lepší výsledky. Ve výsledcích druhého výzkumu Smits-Engelsman, Jelsma, Ferguson a Geuze (2015) testovali 17 dětí s VPK se stejně obsáhlou kontrolní skupinou, která podstoupila tento trénink. Děti bez diskutované diagnózy měly lepší výsledky vyjádřené menším počtem minutých branek při slalomu. Tento rozdíl přetrval i retenčním testu, provedeném po týdnu bez jakéhokoliv nácviku. Bonney et al. (2017) zkoumali rozdíly mezi variabilním a repetitivním přístupem v procesu motorické učení u dětí s VPK i normálně se vyvíjejících. V ohledu retence a transferu nehrála vyšší variabilita tréninku významnou roli.

Výsledkem těchto studií je schopnost dětí s VPK krátkodobého i relativně dlouhodobého implicitního motorického učení s existencí retence a transferu, jakožto důležitých předpokladů úspěšné terapie. Tyto děti však mají horší počáteční i závěrečné výsledky, oproti dětem normálně se vyvíjejícím (Jelsma et al, 2015; Smits-Engelsman et al., 2015; Bonney et al, 2017).

Transfer motorického učení u dětí s VPK rozporují jako zatím jediní autoři Adi-Japha a Brestel (2020), ale zásadně se odlišují od ostatních studií, porovnávajících tento parametr. Velká část autorů totiž zkoumá transfer v sériovém testování reakčního času (Pereboom et al., 2019). Oproti tomu v této studii měly děti spojovat opakující se sekvence o třech tečkách, připomínající tvar oblouku u písmene D, co nejrychleji a zároveň nejpresněji. Když byl po týdnu testován transfer, při odstranění těchto teček jako vizuální stimulace, výkon dětí s VPK oproti kontrolní skupině byl o poznání horší. Limitem tohoto poznatku je také malý subjekt (16 chlapců).

### **6.1.2 Vizuo-motorické učení u jedinců s VPK.**

Goméz-Moya, Diaz, Vaca-Palomeres a Fernandez-Ruiz (2018) realizovali studii zkoumající poruchy vizuo-motorického učení. Posuzovali 40 dětí ve věku od 4 do 12 let s diagnózou VPK, kontrolní skupinu tvořilo taktéž 40 normálně se vyvíjejících dětí.

Probandi měli házet míčkem na terč, přičemž se dívali přes hranol, zkreslující obraz. Jedinci s VPK byli schopni adaptace na základě zpětné vazby. Jakmile došlo v druhé části pokusu ke zkreslení zpětné vazby, nastalo signifikantní zhoršení dětí s VPK, oproti kontrolní skupině. Nemožnost odpovídající zpětné vazby se ukazuje být důležitým faktorem v motorickém učení u dětí s VPK (Goméz-Moya et al, 2018).

Cantin et al. (2014) uvádí, že zásadní vliv na výsledky v provádění vizuo-motorické činnosti má typ ovládaného zařízení. Počítačová myš se zdá být nejjednodušší, následovaná joystickem a nejnáročnější složitý ovladač, který vyžaduje koordinaci ve smyslu tlakové i rotační složky pohybu. Děti s VPK měly při použití složitějšího ovladače signifikantně horší výsledky.

Gheysen, Waelvelde a Fias (2011) ukazují neschopnost dětí s VPK objevit opakující se vzor v sériovém reakčním testu. Lejune et al (2013) tento výsledek z důvodu metodologické chyby rozporují. Použili totiž v hodnocení procedurálního motorického učení pomocí sériového reakčního testu místo klasické klávesnice dotykový display, avšak skupina obsahovala pouze 17 dětí s VPK, navíc 4 z nich oproti tradičnímu hodnocení dosahovaly percentilu  $\geq 5$  podle MABC-2. Dále trénink obsahoval pouze 8 bloků, kdy byla sekvence opakována 80krát v každém bloku. Velké množství opakování mohlo pozitivně zkreslit výsledky (Schoemaker & Smits-Engelsman, 2015). Obecně se však autoři v otázce poškození vizuo-motorického učení klaní k prognóze jeho poruchy (Bo & Lee, 2013; Gheysen et al, 2011; Goméz-Moya et al, 2018).

Pokud shrneme poznatky o motorickém učení u VPK, tyto jedinci jsou schopni dělat v učených dovednostech pokrok, ale oproti normálně se vyvíjejícím jedincům s menší efektivitou. Pro naučení zejména náročnějších dovedností potřebují delší čas a větší možnost využití zpětné vazby (Biotteau et al., 2016b).

## 7 Možnosti terapie VPK

### 7.1 Současné intervenční přístupy

Pro efektivní terapii u dětí s VPK nestačí pravidelné intervence s dohledem terapeuta, ani každodenní nácvik činnosti v domácích podmínkách, ale je nutná kombinace obojího (Biotteau et al., 2016b). Z doposud provedených meta-analýz vyplývá, že jakákoliv forma intervence je, alespoň z krátkodobého hlediska, lepší než žádná (Blank et al., 2012; Smits-Engelsman et al., 2013). Dlouhodobější efekt po 3 měsících bez nácviku po ukončení motorické intervence prozatím hodnotila pouze jedna studie, která prokázala přetrvání efektu terapie téměř v plné míře (Noordstar, van der Net, Voerman, Helders & Jongmans, 2017). Z meta-analýzy zkoumající fyzioterapeutické intervence vyplynula jejich smysluplnost. Děti, které podstoupily cílenou terapii, dosahovaly oproti kontrolním skupinám při re-testech statisticky významných zlepšení. Fyzioterapie se zaměřovala zejména na nácvik rovnováhy, motorické koordinace, timigu a svalové síly (Offor, Williamson, & Caçola, 2016). Cílená intervence, mimo pohybové dovednosti, také pozitivně ovlivňuje aspekty kognitivní, emocionální a další psychické faktory (Yu, Burnett & Sit, 2018). Terapie vedená formou jeden na jednoho, navzdory očekávání odborníků, prozatím nevykazuje lepší výsledky, než intervence vedená v malých skupinách (3-6 dětí). Zaměření na individuální deficit dítěte lze docílit i ve skupině. Do terapie by měli být zapojeni i rodiče, nejbližší rodinní příslušníci a učitelé. Zejména v případě VPK je potřeba pro zdokonalení ve specifické pohybové dovednosti vysoká frekvence i dlouhá doba nácviku (Smits-Engelsman, Vinçon, Blank, Quadrado, Polatajko & Wilson, 2018). Mezi zcela stěžejní prvky terapie patří adekvátní motivace dítěte z důvodu adherence k intervenčnímu programu. Terapie by měla cílit na konkrétní deficity dítěte, ale její podání zábavnou formou může do značné míry kladně ovlivnit celý výsledek. Ať už je zvolena jakákoliv forma intervence, stěžejní prvek zaujímá vysoká frekvence, kdy terapie probíhá ideálně denně (Harris et al., 2015).

U dětí v předškolním věku zatím nelze s jistotou hovořit o spolehlivé účinnosti terapie. Jednotlivé studie zkoumají poměrně malé subjekty (<10) a děti nedosahují výrazného zlepšení (Cameron et al., 2018). Citovaná meta-analýza však hodnotila deficit dětí s VPK, podle Mezinárodní klasifikace funkčních schopností disability a zdraví, místo klinických testů, ze kterých vycházejí ostatní meta-analýzy. Oproti tvrzení Cameronové

et al. (2018) stojí zbytek meta-analýz, které hodnotily účinnost intervencí. Ty tvrdí dobrou efektivitu, ale zároveň často v konkluzi uvádí důležitou poznámku o závislosti efektivit intervence na vysoké frekvenci a dávce cvičení, což vyžaduje aktivní spolupráci ze strany pacienta (Yu et al., 2018).

Mezi dva hlavní terapeutické směry patří přístupy orientované na deficit (deficit-oriented) a přístupy orientované na úkol (task-oriented). Přístupy orientované na deficit (deficit-oriented) zaměřují terapeutický postup na zlepšení pohybových dovedností, pomocí rozvoje senzoryckých modalit. Jedním z nich je přístup všeobecných dovedností (General Abilities Approach). Předpokládá důležitou roli věku přiměřených reflexů, posturálních reakcí a percepčně-motorických schopností, jakožto podkladu pro funkční motorické dovednosti. Patří sem např. Bobath koncept. Druhou skupinu tvoří přístup senzorycké integrace. Ten má za cíl zlepšit motorické schopnosti skrze integraci senzoryckých vstupů (proprioceptivní, taktilní, vestibulární) do celkové kinestezie. Tyto přístupy se ukazují být efektivní pouze při velmi intenzivní a dlouhodobé léčbě. (Kolář et al., 2011) Fyzioterapeutická či ergoterapeutická léčba, která je zaměřena na rozvoj percepčních schopností v kombinaci se specifickou aktivitou se ukazuje být jako vysoce efektivní (Smits-Engelsman et al., 2013). Ačkoliv přístupy, využívající senzoryckou integraci, zlepšují kinestezii testovaných jedinců, transfer této schopnosti do oblastí jemné motoriky, hrubé motoriky a rovnováhy není prokázán. Současné poznání v oblastech motorického řízení a učení také rozporuje efektivitu deficit-oriented přístupů. Mezi ostatními intervenčními metodami patří senzorycká integrace mezi ty nejméně účinné (Smits-Engelsman et al., 2013).

Druhou hlavní skupinu, která tvoří relativní opak deficit-oriented přístupů, představují přístupy orientované na úkol (task-oriented). Tyto metody jsou založeny na předpokladu, že častým opakováním díky schopnosti motorického učení velmi frekventovaně nacvičované aktivity dojde k zafixování a automatizaci získané dovednosti. Zde je kladen velký důraz na aktivní spolupráci pacienta a jeho okolí při léčbě (Kolář et al., 2011). Současnými nejúspěšnějšími a nejčastěji používanými metodami jsou Neuromotor task treatment (NTT) a Cognitive orientation to daily occupational practise (CO-OP) (Blank et al., 2019).

## 7.2 Task-Oriented přístupy

Tato metodika vychází z poznatků o neuroplasticitě a motorickém učení. Nyní dostupná literatura hovoří z hlediska efektivity intervence ve prospěch task-oriented přístupů, což může být dáno jejich velkou popularitou. Tyto přístupy zároveň tvoří většinu dosavadních výzkumů a subjekty těchto studií jsou mnohdy výrazně početnější oproti deficit-oriented přístupům (Blank et al., 2012). Významnost důkazů je nicméně stále signifikantní. Větší úspěšnost pravděpodobně zapříčiňuje právě specifická nacvičovaných dovedností, které umožňují jedincům s VPK lepší začlenění do běžných aktivit života, školy, volnočasových aktivit a sportu. U task-oriented přístupů, mimo zlepšení se v konkrétní činnosti, pozorujeme lepší hodnocení v testech hrubé i jemné motoriky (zejména podle MABC-2)

### 7.2.1 Cognitive orientation to daily occupational practise (CO-OP).

Metodu CO-OP vytvořili v 90. letech 20. století Helene Polatajko a Angela Mandich v Kanadě. Cílem je zaměřením se na zlepšení provedení v konkrétních aktivitách, které dítě potřebuje zvládnout. CO-OP zlepšuje znalost v provádění aktivitě pomocí kognitivních strategií, jako jsou sebe-instrukce, adaptace na prostředí a postupu cíl-plán-provedení-kontrola. Určování cíle charakterizuje otázka, co bude osoba dělat. Plán vyřeší, jakým způsobem lze dosáhnout úspěšné provedení. Následuje samotné provedení. Po dokončení proběhne analýza, jak dobře plán fungoval v řešení konkrétní situace, popřípadě jaké změny vylepší provedení. Můžeme využít i otázek typu: „co se nedaří“ nebo „co je potřeba udělat jako první“, které mohou klást blízcí rodinní příslušníci v domácích podmínkách. Při této metodě dítě také nahlas říká instrukce samo sobě. Děti s lepšími kognitivními a verbálními schopnostmi z této metody benefítují podstatně více (Blank et al., 2012).

Thornton et al. (2015) provedli randomizovanou kontrolovanou studii zkoumající vliv intervence formou CO-OP na motorickou koordinaci i participaci. Terapie probíhala ve skupinách 3-4 dětí po dobu 10 týdnů. Hodinu týdně pod dohledem fyzioterapeuta a 15 minut každý den v domácím prostředí s rodinnými příslušníky. Intervence byla vyhodnocena jako úspěšná, děti se zlepšily v pohybové koordinaci hrubé i jemné motoriky i v oblasti participace (hodnoceno dotazníky pro děti i rodiče).

Anderson, Wilson a Williams (2017) v přehledovém článku CO-OP uvádí jeho dobrou efektivitu, nicméně z 5 revidovaných studií u 2 probíhaly intervence v období

dvou týdnů s frekvencí denně. Zbylé 3 měly frekvenci 1 - 2krát týdně s celkovým trváním 7-27 týdnů, což vytváří velmi heterogenní výzkum. Zároveň pro úspěšnou intervenci je zapotřebí, aby byla terapie vedena v malé skupině.

Tato metoda vykazuje dobré výsledky, ale s velkým rizikem mylné interpretace výsledků. Ačkoliv byl v první polovině minulého desetiletí tento přístup často doporučován a vyhodnocen jako efektivní, pozdější výzkum označuje doposud provedené studie za nedostatečně metodologicky robustní. Randomizované kontrolované pokusy prakticky neexistují (pouze Thornton et al., 2015). Výzkum většinou probíhal v malých skupinách (<10 dětí). Po exaktní analýze by měl být tento přístup označen za možnou intervenci, ale nelze ho doporučit do klinické praxe (Preston et al., 2017).

### **7.2.2 Neuromotor task training (NTT).**

NTT tvoří task-oriented program pro děti s VPK, jenž byl originálně vyvinut zejména pro využití fyzioterapeuty. Pohybové dovednosti jsou učeny skrze analýzu, která rozloží dovednost do dílčích komponent, což umožní efektivnější zaměření na hlavní koordinační nedostatky. Analýza zahrnuje plánování (co dítě potřebuje vědět, pro vykonání aktivity), dále exekuci (co musí být dítě schopno vykonat) a evaluaci (jaká forma zpětné vazby bude využívána). Fyzioterapeut při analýze určuje, které kognitivní či motorické procesy způsobují deficitní provedení činnosti. Dítě může selhávat i kvůli strachu z neúspěchu či nedostatku motivace. Za situace, kdy verbální podpora a pozitivní postoj terapeuta zlepší chytání míče, nácvik jednotlivých činností bude více mířen na psychologické procesy. V případě, že dítě je schopno míč chytit pouze, když klidně stojí, bude trénink zaměřen na chytání v posturálně náročnějších situacích (Schoemaker, Niemeijer, Reynders & Smits-Engelsman, 2003). Tento postup ulehčí dítěti s VPK proces získávání motorické dovednosti. Nácvik probíhá progresivně, od nejlehčích úkonů s následným ztížením časových a prostorových podmínek či kombinací více dovedností. Zároveň jsou implementovány poznatky ze studií o motorickém učení, díky nimž lze zlepšit výkon dítěte cílenou selekcí nejvýhodnějších instrukcí, postupů učení a zpětnovazebných prostředků. Pokud dítě nezvládá dovednost na kognitivní úrovni, může být použito věcných příkladů či přirovnání. Jakmile je dosažena základní dovednost v požadované kvalitě i kvantitě, lze zapojit různé prvky variability jako např. změna prostředí, pravidel nebo materiálu cvičební pomůcky (Blank et al., 2012).

Niemajier, Smits-Engelsman a Schoemaker (2007) prokázali vysokou efektivitu NTT, s nejlepšími výsledky u dovedností, které se nejvíce podobaly těm nacvičovaným v terapii. U kontrolní skupiny nezaznamenali žádné významné změny motorické

koordinace (požité testy MABC-2 a TGMD-2). S vyšším věkem dítěte korelovalo i znatelnější zlepšení klinického stavu.

Byl prokázán i jistý vliv specifikace verbálního doprovodu fyzioterapeuta. Verbální doprovod při terapii je obecně složen z podávání instrukcí, sdílení znalostí o dovednosti a poskytování či žádání zpětné vazby. Z těchto oblastí vyvstali některé instrukce jako účinnější. Jednalo se o 4 následující principy. Prvním bylo vedení pomocí instrukcí v problémových částech pohybu. Druhý princip pracoval s vysvětlením, proč má dítě pohyb provést určitým způsobem. Další významnou složku zlepšení výkonu tvořilo určení rytmu. Poslední princip spočíval v tázání se dítěte, jestli rozumí požadavkům na provedení. Začlenění těchto specifických verbálních vodítek v terapii dětí s VPK je doporučeno (Niemajier, Schoemaker, & Smits-Engelsman, 2006).

S ohledem na dobu trvání terapie přináší dobré výsledky intervence, trvající nejméně 9 týdnů s frekvencí jednou týdně (Niemajier et al., 2007). Ostatní studie zkoumaly delší časový úsek 12 týdnů – 3 roky. Frekvence nebyla vyšší než 2krát týdně. Jedno terapeutické sezení standardně trvalo mezi 30-60 minutami. I nejkratší doba trvání intervence se ukázala být jako uspokojivě úspěšná, tudíž ji momentálně lze považovat za minimální dobu potřebnou k efektivní terapii (Niemajier et al., 2006, Schoemaker et al., 2003, Ferguson et al., 2013).

### **7.2.3 Využití konzolových her v intervenci u VPK.**

Konzolové hry jsou v posledním desetiletí využívány při terapii mnoha diagnóz a výzkumu motorického učení. Doposud publikovaná literatura přináší slibné výsledky i u diagnózy vývojové koordinační poruchy. Jelsma et al. (2015) popisují dobrou retenci dynamické rovnovážné dovednosti (lyžování, kdy osoba mění směry pomocí naklánění balanční plošiny), kdy měly děti s VPK stejnou rychlost progrese motorického učení, avšak s mnohem menší výchozí kompetencí v hodnocené dovednosti. Po 6 týdnech při retenčním re-testu dosahovaly děti s VPK v testu MABC-2 kritéria dynamické rovnováhy lepších výsledků. Smits-Engelsman et al. (2015) publikovali podobné výsledky jako předchozí kolektiv autorů. Potvrdili schopnost retence a transferu motorického učení u dětí s VPK, oproti zmíněné studii navíc testovali i statickou rovnováhu, ve které rovněž popsali globální zlepšení v testu MABC-2. Bonney et al. (2017) se zabývali otázkou specifity a variability tréninku rovnovážných dovedností. Mezi skupinami s variabilním a specifickým tréninkem nebyl významný rozdíl. Tento závěr má jisté logické opodstatnění. Wright et al. (2015) hovoří ve prospěch variability motorického učení, avšak tento předpoklad platí pro populaci bez závažných motorických obtíží.



Meta-analýzy, zaměřené na hodnocení efektu intervence u dětí s VPK prozatím poněkud jednoznačně hovoří ve prospěch task-oriented přístupů. U obou skupin se pravděpodobně uplatnily jejich dílčí principy.

Při hodnocení výsledků těchto studií je nutno blíže popsat frekvenci tréninku. Ta byla u všech studií shodná, konkrétně 20 minut 2krát týdně, po dobu 5 týdnů. Pokud po této relativně krátké a časově nenáročné intervenci došlo ke znatelnému zlepšení z hlediska rovnováhy, skýtá tato forma terapie poměrně slibné možnosti. Otázkou zůstává dlouhodobý efekt terapie, nicméně pro účinnou intervenci je důležitá aktivní spolupráce dítěte, což zde zajišťuje vysoká motivace skrze hraní her.

Hammond, Jones, Hill, Green a Male (2014) při frekvenci 10 minut 3krát týdně po dobu čtyř týdnů popisují signifikantní zlepšení v efektivitě provádění pohybu, dále zvýšení schopnosti dítěte vnímat provedení pohybu. Výsledky vyplynuly z testovací baterie BOT-2 spolu s dotazníkem DCDQ.

Tato čím dál více populární forma intervence má jistě významný potenciál, prozatím však nejsme schopni z důvodu nedostatku výzkumu určit ideální dobu trvání jednotlivých tréninků, doby celkové intervence a frekvenci potřebnou k dosažení signifikantního zlepšení (Schoemaker & Smits-Engelsman, 2015).

Prozatím pouze tři studie porovnávaly efekt intervence pomocí konzolové hry (Wii Fit) s tradiční konzervativní osvědčenou intervencí ve formě NTT či jiné metody. U první vychází NTT v hodnocených parametrech hrubé motoriky, funkční síly a kardiopulsační kapacity jako signifikantně účinnější. Dokonce při této metodě došlo i ke zlepšení dovedností, které nebyly aktivně trénovány (zejm. jemná motorika ruky) (Ferguson, Jelsma & Smits-Engelsman, 2013). Tento závěr nelze generalizovat, vzhledem k rozdílné frekvenci i celkové době intervencí mezi zkoumanými skupinami. Metoda NTT sice probíhala v nižší frekvenci, zato celkově trvala 9 týdnů, přičemž celková časová dotace byla skoro až dvojnásobná. I přes tyto nedostatky studie autoři považují za výhodné využití těchto konzolí typu Wii Fit, jakožto prostředku k tréninku rovnováhy pro děti s VPK.

Druhá studie porovnávala vliv 45 minut dlouhých intervencí prováděných jednou týdně po dobu 14 týdnů. Místo NTT autoři využili program Task-oriented Functional Training, který zahrnoval 10 minut skupinového tance, 25 minut nácviku specifických motorických dovedností a následně 10 minut skupinových her, kde mohly děti využívat nově získané dovednosti. Druhá skupina hrála na konzoli Wii Fit. V parametrech

motorické koordinace (MABC-2) a měření svalové síly vyšly oba druhy intervence jako stejně efektivní (Bonney, Ferguson & Smits-Engelsman, 2017).

Neto, Steenbergen, Zamuner a Tudella (2020) porovnávali výsledky tréninku na Nintendo Wii s nácvikem specifických dovedností v oblastech hrubé motoriky a rovnováhy. Dovednosti byly v obou případech velmi podobné. Intervence probíhala po dobu 6 týdnů s frekvencí dvakrát týdně s 42 minutami za sezení. Tyto dva přístupy přinesly rozdílné výsledky. Herní konzole vedla k lepším výsledkům koordinace horních i dolních končetin, v oblasti rovnováhy, kdežto nácvik specifických dovedností se ukázal jako výhodnější ve statické i dynamické rovnováze.

Ačkoliv výsledky těchto studií vypadají velice slibně, někteří autoři v task-oriented přístupech vidí příliš velké riziko předpojatosti. Hlavní nedostatky jsou zejména v heterogenitě intervencí, které v mnoha případech nejsou kontrolované klinické pokusy a postrádají dostatečně velký testovaný subjekt. Z dvou kontrolovaných klinických pokusů nevyplýnul staticky významný efekt terapie, u studií s nižší úrovní designu byl efekt významný, ale se zmíněným rizikem předpojatosti. Kredibilita předkládaných důkazů vzrůstá, pokud je intervence hodnocena několika metodami, konkrétně testovacími bateriemi motorické koordinace (MABC-2, BOT-2, TGMD-3) spolu s dotazníky na participaci, psychologické a emoční faktory zúčastněných participantů. Skutečný dopad terapie na stav VPK je pravděpodobně velmi odlišný od námi předkládaného (Miyahara, Hillier, Pridham & Nakagawa, 2017). Jiné meta-analýzy tvrdí dobrý krátkodobý efekt task-oriented přístupů (Blank et al., 2019; Preston et al., 2017; Yu et al., 2018; Smits-Engelsman et al., 2013).

### 7.3 Proces-Oriented přístupy

Role proces-oriented přístupů v intervenci VPK je v současné době nejasná, závěry meta-analýz si protirečí a chybí dostatek kvalitně postavených randomizovaných kontrolovaných studií. V meta-analýzách, provedených od roku 2015 po současnost, se mnohdy ani tyto přístupy neobjeví pravděpodobně pro jejich spornou efektivitu. Účinnost těchto přístupů musí v budoucnu vyvrátit či potvrdit metodologicky kvalitně provedené studie, které postupem času potenciálně vyjdou v hodnocení meta-analýz jako přínosné.

### **7.3.1 Metoda senzoričké integrace.**

Metoda senzoričké integrace (MSI) cílí na zlepšení motorické koordinace skrze senzoričkou stimulaci (taktilní, vizuální, propioceptivní, vestibulární). Byla vytvořena v 60. letech minulého století americkou ergoterapeutkou Jean Ayresovou. Využívá senzoričké stimulace pomocí rozmanitých pomůcek jako jsou houpací plošiny, různé míčů, nerovné plochy, barevné terče a další specifické terapeutické pomůcky (Ayres, Robbin & McAlee, 2005). Ve studiích, prováděných v letech 1972-1982 byl pozorován signifikantní efekt metod senzoričké integrace, oproti kontrolní skupině, kde děti intervenci nepodstoupily. Pozdější výzkum podobné metodologie mezi léty 1983-1993 neukázal stejnou významnost senzoričké integrace jako terapeutického přístupu (Vargas & Camilli, 1993). V roce 2013 Smits-Engelsman et al. došli k závěru, že recentní dobře provedené studie, hovořící ve prospěch metody senzoričké integrace, prakticky neexistují. MSI nevykazuje významně lepší výsledky oproti žádné intervenci, ani ve srovnání s task-oriented přístupy. Watemala et al. (2007) vyhodnotili MSI jako efektivní, pouze v kombinaci s nácvikem specifických dovedností. Pokud nejsou k této metodě přidány specifické prvky činností, ve kterých se dítě projevuje jako deficitní, není dostatečně účinná (Smits-Engelsman et al., 2013).

### **7.3.2 Kinestetický trénink.**

Kinestetický trénink spočívá v cíleném trénování schopnosti kinestezie. Ukazuje slibné výsledky, avšak solidních důkazů pro jeho doporučení do rutinní intervence VPK není dostatek. Obecně dochází ke zlepšení kinestetického vnímání, ale transfer ve formě pozitivního ovlivnění vizuo-motorických funkcí nebyl prokázán. Studie mají často nižší úroveň designu, a tudíž efektivita tohoto přístupu zůstává nejasná (Preston et al., 2017). Sudsawad, Catherine, Trombly, Henderson a Tickle-Dengen (2002) v randomizované kontrolované studii nepotvrdili pozitivní vliv čtyř týdenního kinestetického tréninku na jemnou motoriku (psaní). Pokud meta-analýzy přinesly konkluzi pozitivního výsledku, nebyla posouzena míra efektu, tudíž jejich závěry nelze považovat za relevantní. K zodpovězení otázky efektivity u MSI i kinestetického tréninku bude potřeba především kvalitního výzkumu (Smits-Engelsman et al., 2013).

### **7.3.3 Motor imagery training.**

O významu motor imagery training (pohybu v představě) krátce pojednával oddíl 3.6.2. Současní odborníci vnímají tento terapeutický prvek jako velmi důležitý, protože podle neurálních korelátů i klinických studií lze jeho pomocí zlepšit interní modelování

a prediktivní kontrolu, skrze vytvoření účelnějšího, přesněji vygenerovaného motorického plánu. Návěkem pohybu v představě dochází k aktivaci méně excitabilních oblastí v CNS, které jsou u dětí s VPK specificky postiženy. Zároveň se díky této motorické imaginaci zvyšuje konektivita mezi oblastmi, kde bývá často zhoršená (Irie et al., 2021, Steenbergen et al., 2020). Wilson (2005) na základě dostupného a vlastního výzkumu vyslovil hypotézu o intervenci s využitím pohybu v představě a vytvořil metodologii ve formě Motor imagery training (MIT). Podle citovaného autora tato metoda vnitřního modelování facilituje prediktivní kontrolu pohybu konkrétně skrze odhad parametrů síly, načasování a trajektorie. Jinými slovy podporuje uvědomění si důsledků pohybu bez jeho vykonání. Dítě si vizualizuje časový sled zároveň s představou kinestetického vjemu. Na základě této zkušenosti postupem času dochází k přesnějším predikcím pohybu, tím pádem ke snížení míry chyb v jeho provedení. Tento proces lze následně trénovat i ve vztahu k objektům či překážkám v okolí. Metoda však neobsahuje pouze pohyb v představě, nýbrž jeho zařazení mezi jednotlivé komplexní fyzicky prováděné pohyby a další principy v rámci ucelené metodologie (Wilson, 2005). Měla by probíhat v následující posloupnosti: vizuální představa, mentální a svalová relaxace, vizuální modelování základních aspektů pohybu, pozorování provedení jinou osobou (lze i z videozáznamu), představení pohybu v interním provedení, samotná několikrát opakovaná realizace pohybu s představováním si pohybu mezi jednotlivými pokusy.

Wilson et al. (2016) zkoumali vliv různých druhů intervence na motorické dovednosti po dobu 5 týdnů s frekvencí týdně (60 minut). Oproti MIT byly postaveny skupiny percepčních motorických aktivit a kontrolní. Percepční motorické aktivity zahrnovaly dovednosti hrubé i jemné motoriky, dále dovednosti vyžadující vnímání těla při pohybu. Všechny tyto aktivity byly vybrány na základě individuálních deficitů zúčastněných dětí. MIT probíhalo výše popsáním způsobem podle Wilsona (2005). Dítě nacvičovalo tyto aktivity: chytání a házení tenisového míčku, úder softballového míčku, skok sounož, balancování míčku na plošině za chůze a vkládání objektů do souhlasně tvarovaných otvorů desky. Výsledky potvrdily dobrou efektivitu této metody, minimálně srovnatelnou s výsledky percepčních motorických aktivit, avšak signifikantně vyšší, oproti kontrolní skupině. Tento závěr koreluje s hypotézou poruchy interního modelování (Wilson et al., 2016). Poruchy interního modelování byly krátce diskutovány v oddílu 3.2.1. Byl porovnán vliv metod CO-OP s intervencí, která měla prvky pohybu v představě, nicméně skupiny obsahovaly pouze 4 děti, což znehodnocuje relevanci

výsledků této studie, ale její protokol ve větším měřítku vymezuje kritéria pro kvalitní výzkum. Metoda CO-OP přinesla lepší výsledek, kdy došlo ke zlepšení 3 ze 4 dětí o více než 2 body standardního skóre podle MABC-2 (Adams, Smits-Engelsman, Lust, Wilson & Steenbergen, 2017). Současný výzkum se shoduje na pozitivním přínosu pohybu v představě a pozorování činnosti před jejím samotným provedením v terapii VPK (Steenbergen, Krajenbrink, Lust & Wilson, 2020).

Preston et al. (2017) zařadili, společně s metodou NTT, trénink v pohybu v představě k nejefektivnějším metodám využívaným v intervenci VPK. Úspěšné metody sdílí několik prvků jako task-oriented přístup, skupinová terapie, indikace aktivit do školního či domácího prostředí a využití pomůcek, které děti motivují (hry – venkovní i konzolové, lana, míče, žebříky). Využití pohybu v představě je doporučeno i u přístupů, které jej běžně nevyužívají (Irie et al., 2021; Steenberger et al., 2020).

#### **7.4 Externí zaměření pozornosti u dětí s VPK**

O externím zaměření pozornosti a jeho výhodách již pojednávala kapitola procesu motorického učení, nicméně otázkou zůstává, jak je tento poznatek využitelný u jedinců s VPK. Tímto konkrétním problémem se doposud zabývaly čtyři studie, které jsou popsány v chronologickém pořadí jejich publikování.

První z nich sledovala schopnost následování objektu na obrazovce počítače pomocí myši. U normálně se vyvíjejících dětí mělo externí zaměření pozornosti pozitivní vliv, avšak u dětí s VPK tento výsledek nebyl pozorován (Jarus et al, 2015). Van Cappellen-van Maldegem, Abswoude, Krajenbrink & Steenbergen (2018) zkoumali stejný parametr, jako předchozí studie, a k tomu vliv pracovní paměti. Výsledky přinesly stejné závěry, externí zaměření pozornosti u dětí s VPK nemělo pozitivní vliv na motorické učení (retence a transfer), nicméně korelace mezi lepší pracovní pamětí a větším využitím externě orientovaných instrukcí byla prokázána (Pereboom et al., 2019). Limit obou těchto studií představuje zejména malý soubor, v prvním případě 7 dětí s VPK, v druhém 13, ve skupinách externího zaměření pozornosti. Studie s doposud největším souborem (43 dětí s VPK ve skupině externího zaměření) prezentuje odlišné výsledky. Externí zaměření pozornosti mělo jednoznačně prospěšný vliv na posturální stabilitu u dětí s VPK i normálně se vyvíjejících dětí (Li, Li, Chu, Pan & Chen, 2019).

Nebyla zde však otestována retence ani transfer. Výsledky nejnovější studie, kterou provedli Psotta, Abdollahipour a Janura (2020), taktéž hovoří ve prospěch externí orientace pozornosti. V tomto případě se jednalo o zlepšení parametrů rychlosti, spolu s dosaženou vzdáleností od země při skoku do výšky. Podle zmíněné trojice autorů má zaměření se na zevní cíl pohybu stejný přínos u skupiny VPK (18 dětí) i NVD (21 dětí).

Ačkoliv si výsledky jednotlivých studií zdánlivě oponují, existuje zde určité vysvětlení. U prvních dvou byly zkoumány funkce horních končetin, kdežto u posledních dvě práce hodnotily posturální aktivitu a dynamickou komplexní pohybovou dovednost (skok do výšky). Rozdílné výsledky tedy mohou být vysvětleny odlišností prováděných činností, ale také jinou metodologií.

## **7.5 Shrnutí poznatků o terapeutických přístupech u VPK**

Ze závěrů dosud provedeného výzkumu v hodnocení efektivity intervencí u VPK platí, že jakákoliv forma terapie je lepší než žádná. Jak bylo uvedeno v kapitole, charakterizující obecné znalosti o VPK, jde o diagnózu, která přetrvává do dospělosti až u poloviny jedinců, u nichž byl v dětství zjištěn závažný deficit v motorických dovednostech. Kromě specifických terapeutických přístupů vyvinutých pro VPK, byla prokázána efektivita i u klasické fyzioterapie. Ta se zaměřovala zejména na nácvik rovnováhy, motorické koordinace, timingu a svalové síly (Offor, Williamson, & Caçola, 2016). Zároveň zůstává v úspěšné terapii stěžejní přesné vytyčení potíží dítěte nebo jedince s VPK, spolu s ucelením evidence-based terapeutických přístupů u této diagnózy, popřípadě vytyčením přesněji definovaných guidelines (Camden, Wilson, Kirby, Sugden & Missiuna, 2014).

V současné době základní prvky úspěšné intervence tvoří přístup task-oriented přístup, minimální frekvence terapie jednou týdně v trvání 45-60 minut, vedená ve skupině 3-6 dětí. Dále zařazení těchto trénovaných dovedností do školního i domácího prostředí, kdy se na procesu podílí rodinní příslušníci spolu s pedagogy. Doporučeno je využití různých pomůcek, popřípadě herních konzolí atp., pro udržení motivace a adherence k programu. Ten má pro významné zlepšení trvat minimálně 5 týdnů (60 minut v jednom sezení týdně), v případě Wilsonova Tréninku pohybu v představě. Metoda NTT se ukazuje dostatečně účinná při trvání 9 týdnů, ve kterých dítě absolvuje 9 terapií v trvání 30-60 minut, ovšem s tréninkem procvičovaných aktivit v domácím

prostředí či školním prostředí (10-15 minut denně). Intervence pro zlepšení rovnováhy ve formě konzolových her je účinná u minimálně čtyřtýdenního tréninku, 3krát týdně po 10 minutách. Metoda CO-OP se ukazuje jako efektivní po 10 týdnech, ve skupinách 3-4 dětí hodinu týdně, s plněním zadaných úkolů (15 minut denně).

Prvek, který v současné době není intervenčními přístupy pro VPK využíván, je externí orientace pozornosti. Bylo o něm podrobněji pojednáno v kapitole o motorickém učení. Tento princip dle teorie OPTIMAL značně facilituje motorické učení. Z dosud provedených studií, které zkoumají externí orientaci pozornosti u VPK vycházejí protichůdné závěry, nicméně metodologicky robustnější studie hovoří ve prospěch tohoto zaměření na zevní podmínky. Zůstává otázkou, jak by tento prvek působil v kombinaci s již zavedenými evidence-based postupy jako jsou NTT nebo MIT.

## 8 Kazuistika

**Iniciály:** L.M.

**Pohlaví:** pohlaví ženské

**Datum narození:** 19.7. 2012

**Diagnóza:** F82-vývojová porucha koordinace

**Datum vyšetření:** 18. 3. 2021

**Výška:** 135 cm

**Váha:** 23 kg

Kazuistika byla vypracována s informovaným souhlasem matky vyšetřované.  
(viz Příloha 1)

**Osobní anamnéza:** Gestační věk 40+2, při porodu poměrně závažná asfyxie (musela být resuscitována), během psychomotorického vývoje značně opožděna – v 9. měsících nezvládala otočení na bok, odhadovaná retardace o 3-4 měsíce. Motivovaná okolím dle matky byla, nicméně nejevila výrazný zájem o sensorické podněty zvukové či barevné. Kolem 9. měsíce začala cílená fyzioterapie s prvky Bobath konceptu, první kroky udělala v 13. měsíci (nikoliv však bipedální sociální lokomoce). Mluvit začala až ve čtvrtém roce života. Navštěvovala logopedicky specializovanou školku, s ročním odkladem nastoupila do logopedicky zaměřené základní školy. Do současné doby nedokáže zavázat tkaničky, ale rukopis je úhledný.

**Rodinná anamnéza:** Má starší sestru a mladšího bratra, poruchy koordinace se u nich nevyskytují.

**Sociální anamnéza:** Žije v rodinném domě.

**Školní anamnéza:** Navštěvuje 2. třídu základní školy logopedicky specializované, první třídu měla rozloženou do 2 let. Ve škole má spíše podprůměrné výsledky, někdy problémy s pozorností či výbavností, ale je ochotná a chce spolupracovat.

**Sportovní anamnéza:** Sportovní kroužky nenavštěvuje.

**Farmakologická anamnéza:** Ritalin občasně

**Subj. hodnocení matky:** Pozoruje pohybovou inkoordinaci od infantilního věku, chápe, že se nejedná o prostou nešikovnost. Přistupuje v požadavcích na svou dceru realisticky. Snažila se najít lepší formu intervence.



**Subj. pacientka:** Je si vědoma své poruchy, některým činnostem se vyhýbá, protože jí nejdou. Hodnotí sama sebe spíše pozitivně. Má i aktivity, které ji baví, pokud takovou naleze, chce se v ní zlepšovat.

Tabulka 1

*Jednotlivé položky MABC-2:*

Položka		Hrubý skór (lepší pokus)	Položkový standardní skór	
Jemná motorika 1 (JM 1)	Umístování kolíčků – preferovaná ruka (s)	31,8 s	5	3
	Umístování kolíčků – nepreferovaná ruka (s)	59,1 s	1	
Jemná motorika 2 (JM 2)	Provlékání šňůrky (s)	59,8 s	1	
Jemná motorika 3 (JM 3)	Kreslení cesty 2 (počet chyb)	3 chyby	3	
Hrubá motorika 1 (HM 1)	Chytání oběma rukama (úspěšné pokusy)	2/10	7	
Hrubá motorika 2 (HM 2)	Házení sáčku na podložku (úspěšné pokusy)	5/10	8	
Rovnováha 1 (R1)	Rovnováha na desce – lepší noha (s)	12 s	5	5,5
	Rovnováha na desce – druhá noha (s)	5 s	6	
Rovnováha 2 (R2)	Chůze vpřed s dotykem pata-špička (počet kroků)	12 kroků	5	
Rovnováha 3 (R3)	Poskoky na podložkách – lepší noha (počet skoků)	5 skoků	10	10,5
	Poskoky na podložkách – druhá noha (počet skoků)	5 skoků	11	

Tabulka 2

*Hodnocení hlavních komponent MABC-2*

Komponenta	Komponentní skór	Standardní skór	Percentil
JM 1 + JM 2 + JM 3	10	2	0,5
HB 1 + HB 2	15	7	16
R1 + R2 + R3	21	5	5

Tabulka 3

*Výsledné hodnocení MABC-2:*

Parametr	Komponentní skór	Percentil	Prognóza závažnosti
Jemná motorika	10	0,5	Významné motorické obtíže
Hrubá motorika	15	16	Na pomezí předpokladu rizika motorických obtíží
Rovnováha	21	5	Významné motorické obtíže
<b>Celkový výsledek</b>	<b>46</b>	<b>1</b>	<b>Významné motorické obtíže</b>

**Hodnocení výsledků MABC-2:**

Z výsledků (Tabulka 1) jsou významné zejména hodnoty standardního skóru v položkách JM 2 a JM 3, kde byl zjištěn největší objektivní deficit. Naopak v hodnocení rovnováhy (HB 1 + HB 2) byly zaznamenány nejvyšší hodnoty standardního skóru, což svědčí pro méně závažnou poruchu. Tomuto odpovídají i data z Tabulky 2, kde přepočtené percentily reprezentují míru motorických obtíží. Tabulka 3 pak poskytuje shrnutí objektivních výsledků i s prognózou závažnosti. Pro vytvoření cíleného intervenčního plánu mohou být použity údaje z Tabulky 1, kde budou vybrány nejvíce deficitní položky.

**Hodnocení podle Šlachtové (2012) kvalitativně (test není kvantitativně standardizován pro tuto věkovou kategorii)**

**Stoj na jedné dolní končetině:** mimika (1), výchylky trupu (2), vnitřní rotace nestojné dolní končetiny (2), souhyb horních končetin (2), souhyb rukou (2), pozornost (1), posun z místa (0)

**Poskoky na jedné dolní končetině:** mimika (1), odraz (2), měkkost dopadu (1), souhyb horních končetin (2), souhyb rukou (2), rytmičnost (2), koordinace (2), výchylky trupu (1)

**Výskok s otočením o 180 stupňů:** mimika (0), přípravný podřep (1), odraz (2), dopad (2), souhyb horních končetin (2), koordinace (2)

**Tandemová chůze po čáře:** mimika (1), výchyly trupu (0), vnitřní rotace dolních končetin (2), souhyb horních končetin (2), souhyb rukou (2), rychlost na úkor soustředění (1)

**Pozn. k hodnocení:** Hodnocení těchto parametrů bylo provedeno s přísnějšími požadavky, kvůli vyššímu věku vyšetřované. Parametry mimika nebo výchyly trupu by u dítěte ve věku 4-6 let byly hodnoceny nižším stupněm.

**Subj. hodnocení vyšetřujícího:** Středně těžká až těžká vývojová porucha koordinace, jemná motorika bez kognitivního úsilí neobratná, ale kvantitativně hodnotitelná. Kognitivně náročnější úkoly znemožňují relevantní hodnocení pro ideomotorickou inkoordinaci. Úchopová funkce neideální, sed posturálně neoptimálně zajištěn s kyfotizací thoraco-lumbálního úseku. V kritériu hrubé motoriky se projevuje neobratně, má potíže hlavně s chytáním (2/10), házení je lepší, nicméně s projevy posturální insuficience – titubace trupu, rozsáhlé kompenzační pohyby končetin, značné zvýraznění mimiky. Má problém s pochopením zadaných úloh, ani po předvedení a několikrát opakovaném nácviku je není schopna zopakovat. Motivace neschází, výkon omezuje do značné míry roztržitost a problém se soustředěním. Rovnovážné schopnosti vzhledem k věku mírně nedostačující, má dobré pokusy, nicméně s velkými odchylkami trupu, vnitřní rotací elevované dolní končetiny s velkými exkurzemi horních končetin. Celkově se ve spontánní motorice objevují neideální posturálně-lokomoční vzory – nedostatečné napřímení osového orgánu, anteverzní postavení pánve, vnitřní rotace kyčlí, valgozita kolen.

## 8.1 Krátkodobý rehabilitační plán

U pacientky byla zjištěna závažná porucha jemné motoriky v aktivitách provlékání šňůrky a umístování kuliček, dále porucha rovnováhy v položkách rovnováhy na desce a chůze vpřed s dotykem pata-spička. Na tyto aspekty by měla být zaměřena krátkodobá i dlouhodobá terapie. V rámci intervence by ideálně mělo být využito principů z přístupů NTT či MIT (viz oddíl 7.2) Výše vybrané činnosti, které přináší největší potíže budou zábavnou formou alespoň jednou týdně procvičeny intenzivně (v trvání 45-60 min), dále s frekvencí denně po menších částech (10-15 min.) Terapie by měla obsahovat jak složku jemné motoriky, tak rovnováhy. Zda tato intervence přináší požadované zlepšení

se ozřejmí (dle recentního kvalitního výzkumu) po 8 týdnech. Zároveň by mělo po této periodě dojít k re-testu celkových motorických dovedností.

## **8.2 Dlouhodobý rehabilitační plán**

Z dlouhodobého hlediska je potřeba globálně a soustavně rozvíjet motorické dovednosti. Kvůli neideálním motorickým vzorům se zdá být potřebná jejich korekce i v rámci hrubé motoriky, např. s využitím metody Dynamické neuromuskulární stabilizace podle Koláře (2009). Trénink specifických motorických dovedností by měl být dlouhodobě zejména na ty, které osoba využívá při běžných denních činnostech, nejen v dětském věku, ale i v dospělosti jako sebeobsluha, soběstačnost a psaní (i když v dnešní době s přihlédnutím na technologický pokrok psaní není tak důležité). Dále v rámci zlepšení rovnováhy je možné využít konzolových her např. na platformách X-box nebo Nintendo Wii.

## 9 Diskuze

Cílem práce bylo shromáždění recentních poznatků o vývojové poruše koordinace a motorickém učení, na základě kterých, budou stanovena doporučení pro vyšetření i terapeutické intervence u této nosologické jednotky. Diagnóze VPK stále není odborníky z řad lékařů, fyzioterapeutů či pedagogů věnována dostatečná pozornost. Tato práce vytváří ucelený přehled o tom, jak rozpoznat, otestovat a vést terapii u jedinců (nejčastěji dětí) s VPK. Následuje přehled klíčových poznatků, které vyplynuly z dostupné literatury.

Výsledky indikují, že VPK má negativní vliv na kvalitu života jedince s touto diagnózou, konkrétně ve smyslu aktivit denního života, výkonu ve škole a volnočasových aktivit, popřípadě sportu. Děti s VPK mají v průměru nižší sebevědomí, zápornější sebehodnocení, dokonce častější výskyt anxiózních stavů nebo depresí. V necelé polovině případů přetrvává tato porucha do dospělosti (Anderson et al., 2017; Kirby et al., 2013). VPK je rizikovým faktorem pro vznik obezity, zejména u dětí mladšího školního věku, staršího školního věku i adolescentů (Hendrix et al., 2014). Současná prevalence této diagnózy se stále pohybuje mezi 5-6 %, přičemž 2 % jsou postižena závažně (Blank et al., 2019; Kolář et al., 2011). Při porodní hmotnosti  $\leq 1500$  g a/nebo gestačním věku  $\leq 32$  týdnů narůstá riziko VPK dle různých autorů na 20-50 %. (Dewey et al., 2019; Holsti et al., 2002; Kwok et al., 2019). Z hlediska etiopatogeneze prokázaly moderní zobrazovací metody neurověd strukturální i funkční změny CNS u dětí s VPK. Tyto odlišnosti, oproti normálně se vyvíjejícím dětem, jsou poměrně heterogenní, nicméně v posledních letech autoři nejčastěji uvádí poruchy konektivity korových oblastí dorzolaterální prefrontální a orbitofrontální s bazálními ganglii, společně se strukturálním prořidnutím bílé hmoty mozkové v částech fasciculus longitudinalis medialis a corpus callosum, zejm. subparietálně (Biotteau et al., 2016a; Wilson et al., 2017). Pro klinické testování v našich podmínkách slouží baterie MABC-2, která má standardizované výsledky u České populace ve všech věkových kategoriích (3-6, 7-10, 11-16). Orientačně se dá využít klinické testování dle Šlachtové (2012) nebo Koláře (2009)

Kapacita konkrétní osoby pro efektivní motorické učení, je do jisté míry dána tzv. zrakově-prostorová pracovní paměť (somatognozie a stereognozie). V optimalizaci tohoto procesu využíváme externí orientace pozornosti, kdy vedeme pacienty na okolní podněty, místo zaměření na polohu vlastního těla, což povede k lepšímu provedení

trénované dovednosti (Wulf & Lewthwaite, 2016). Místo soustředění se na napřímení osového orgánu jednoduše osobě přiložíme naši ruku na temeno a instruujeme cvičence, aby vnímal tlak námi přiložené končetiny. Z hlediska dlouhodobé terapie je pravděpodobně lepší v iniciálních fázích zařadit určitý stupeň variability, tzn. využití více cviků nebo variace jedné pohybové dovednosti. Lepších výsledků lze dosáhnout při vyšší frekvenci časově kratších tréninkových jednotek, oproti delším tréninkům v nižší frekvenci. Důležitou složku v procesu motorického učení tvoří spánek, konkrétně jeho fáze NREM-2, která má u 8 hodin spánku největší podíl v posledních 90 minutách. Spánek pomáhá zlepšit zejména problémové fáze pohybu, které jsou opakovaně chybně prováděny (Walker et al., 2003; Walker, 2004). Pro optimalizaci využíváme psychologických faktorů, kterými podporujeme lepší výkon osoby i s upevněním jejího pocitu kompetence. Ukazuje se, že dochází ke zlepšení podávaného výkonu, pokud má osoba na výběr alespoň v některých aspektech terapie, není srovnávána s ostatními nebo si oproti běžné populaci připadá nadprůměrně. Je doporučeno zaměřením se na správná provedení bez přílišné kritiky (Wulf & Lewthwaite, 2016).

Děti s VPK mají zachovanou schopnost motorického učení, dokonce vykazují stejnou míru progresu, nicméně mají oproti normálně se vyvíjejícím dětem horší iniciální i pozdní výsledky. Potřebují více jakékoliv zpětné vazby a delší čas pro zvládnutí motorických dovedností na potřebné úrovni. Prvky úspěšné intervence dle dostupného evidence-based výzkumu jsou: task-oriented přístupy (využití principů motorického učení), malá skupina (3-6 dětí), zařazení dovedností trénovaných v terapii do prostředí školního a domácího. V průměru se minimální délka úspěšné intervence pohybuje mezi 4-9 týdny, při trvání 30-165 minut týdně, podle použité metody.

Prozatím se žádná práce nevěnovala komplexnímu pojetí motorického učení u diagnózy vývojové poruchy koordinace, nicméně z dostupných evidence-based zdrojů vyplývá, že terapeutické přístupy typu task-oriented jako NTT, Trénink pohybu v představě či CO-OP, které jsou neúspěšnější, hojně využívají principů motorického učení. Výsledky této práce se shodují s většinou meta-analýz nebo přehledových článků, jenž souhrnně uvádí potřebnost a smysluplnost cílené intervence. Jako dostatečně úspěšné jsou ve většině metodologicky robustních studií interpretovány výsledky, kde dojde podle standardizovaného klinického testu (MABC-2, BOT-2, TGMD-3) k posunutí hodnot se závažné VPK do mírné, dále z mírné do pole rizika vzniku VPK nebo z rizikových hodnot do hodnot zdravé populace, souhrnně řečeno o kategorii výše. U nejčastějšího hodnocení MABC-2 znamená percentil  $\leq 5$  vážnou VPK (podle některých autorů  $\leq 2$ ),

6-15 mírnou, a v hodnotách okolo 15 v riziku VPK. Někteří autoři hodnotí jako významné zlepšení v testové baterii MABC-2, při posunu o  $\geq 2$  standardního skóre (Adams et al., 2017). Task-oriented přístupy jsou v hledisku krátkodobé intervence (většinou v rádech měsíců) obecně hodnoceny jako efektivnější (Blank et al., 2012; Blank et al., 2019; Biotteau et al., 2016b; Offor et al., 2016; Preston et al., 2017; Smits-Engelsman et al., 2013; Yu et al., 2018). Přetrvání efektu terapie 3 měsíce po jejím ukončení zatím prokázala pouze jedna studie (Noordstar et al., 2017). Oproti všem těmto výzkumům stojí velmi kritická meta-analýza Miyahary et al. (2017), z níž vyplynula velmi nízká síla důkazu i pro task-oriented přístupy. Tento závěr je podmíněn zejména interpretací výsledků dostupné literatury, která souhrnně u randomizovaných kontrolovaných pokusů i metodologicky nedokonalých studií uvádí signifikantní zlepšení motorické koordinace, nicméně kvůli nedodržení randomizace a málo početných souborech (většinou 10-20 VPK, oproti stejnému počtu kontrolních) byli autoři nuceni vyhodnotit výsledky jako inkonzistentní. Tito autoři však nezahrnuli minimálně 3 randomizované klinické pokusy, které vyhovují jejich inkluzním kritériím. Konkrétně Schoemaker et al. (2003), Niemeijer et al. (2007) a Ferguson et al. (2013) prokazují dobrou efektivitu NTT oproti kontrolní skupině nebo jinému druhu intervence. Další slibný přístup, využívající principy motorického učení CO-OP, má sice dobré výsledky, ale jelikož současný výzkum je příliš heterogenní a neexistují studie s randomizovanými skupinami (pouze Thornton et al., 2015), nelze ho momentálně zařadit mezi evidence-based terapii u VPK.

Současný výzkum indikuje, že proces-oriented přístupy bez zaměření na specifickou činnost nejsou dostatečně efektivní intervencí u VPK (Blank et al., 2019; Preston et al., 2017; Smits-Engelsman et al., 2013). Tyto obecné výsledky by měly být správně interpretovány, protože minimálně u MIT jsou popisována signifikantní zlepšení motorických dovedností u jedinců s VPK. Nejstaršího zástupce z těchto přístupů představuje Metoda senzoričké integrace podle Ayresové (2005), ke které je třeba dodat několik kritických poznámek, díky nimž lze pochopit její účinnost, respektive neúčinnost. Metoda byla vyvinuta v 70. letech minulého století na základě tehdejších poznatků neurověd, které jsou v současnosti obsoletní. Cílovou skupinu tohoto intervenčního přístupu tvoří zejména děti s poruchou autistického spektra, nikoliv VPK (ačkoliv až 50 % dětí s VPK má rysy těchto poruch). Z dobových záběrů Ayresové vyplývá, že s dětmi v terapii pouze bezhlavě nestimulovala jednotlivé senzoričké systémy, nýbrž nacvičovala s dětmi aktivity, ve kterých byly nejvíce deficitní formou hry,

tudíž specificky. Lze vytvořit i argument, že její metoda spíše patří mezi task-oriented přístupy. Původní výzkum Ayresové přinášel dobré výsledky, které se jejím následovníkům od 90. let po současnost nedaří replikovat (Smits-Engelsman et al., 2013; Vargas & Camilli, 1993). MIT, jakožto forma intervence primárně řazená mezi process-oriented přístupy, také naplňuje kritéria definice spíše pro task-oriented přístup. Jednoznačně je v ní využito principů motorického učení při představě a následném opakování konkrétní činnosti, dokonce v několika pokusech. Efektivita metody zřejmě nespočívá ve zlepšení samotného procesu představy pohybu, spíše pomocí interního modelování lepší prediktivní kontrolu pomocí delší přípravy na samotný pohyb, kdy CNS dostane více informací na základě proprioceptivních, vestibulárních, exteroceptivních, auditivních a vizuálních podnětů díky nimž vytvoří přesnější plán pohybu, s menší potřebou korekce. Současně za uplatnění use-dependent typu neuroplasticity pak pravděpodobně dochází k efektivnějšímu motorickému učení pomocí přesnějších provedení, ideálně podpořených pozitivní zpětnou vazbou. Adams, Steenbergen, Lust a Smits-Engelsman (2016) navrhli protokol pro randomizovanou kontrolovanou studii ve kterém by došlo k porovnání přístupu CO-OP s MIT. Obě skupiny by podstupovaly intervenci jednou týdně po dobu 9 týdnů s trváním jedné terapie 45 minut. Dále by měl být veden deník, kam děti budou zaznamenávat plnění úkolů, zadaných fyzioterapeutem. Úkoly trvají 10 minut s frekvencí opakování čtyřikrát týdně. U způsobu MIT se autoři odkazují, na Wilsona (2005). Tento formát protokolu je vhodný i pro porovnání MIT s NTT, což by vytvořilo základ validního výzkumu, jakožto předmětu diskuze meta-analýz, zaměřených na intervenční přístupy, v následujících letech.

Výsledky této práce limituje řada faktorů, kterými jsou zejména vysoká heterogenita dostupného výzkumu, malé subjekty a často se opakující fundamentální metodologické chyby. Nestejnost začíná u prostředků hodnotících motorický deficit, kde např. různé studie posuzují závažnost podle jiných referenčních hodnot, některé dokonce prezentují výsledky nestandardizovaných testů (bez dostatečné vize vytvoření nových trendů), čímž klesá celková úroveň výzkumu. U nejčastěji používané testovací baterie MABC-2 byly prokázány i rozdíly mezi jednotlivými populacemi, s potřebou specifických úprav pro zvýšení validity a reliability. (Psotta et al., 2012; Psotta & Hendl, 2012) Subjekty studií obecně považovaných za validní u této diagnózy většinou obsahují 10-20 dětí s VPK, oproti stejně velké (většinou menší) kontrolní skupině. V rámci dalšího výzkumu je nesmírně důležité, aby autoři neprováděli hrubé metodologické chyby, jako



nezahrnutí kontrolní skupiny. V případě nového intervenčního přístupu by mělo dojít k porovnání s již obecně uznávaným (NTT, MIT, CO-OP). I přes tyto metodologické chyby, které do jisté míry znehodnocují prezentované výsledky, platí tato následující fakta. U dětí s vývojovou poruchou koordinace, zejména závažnou, většinou nedochází ke spontánní úpravě deficitu, získanému pravděpodobně kvůli strukturálním a funkčním změnám CNS, ale také pro jejich obecně menší zapojení do pohybových aktivit či her s ostatními dětmi. Snížená participace plyne z pocitů inkompetence umocněných strachem ze selhání. Mimo výše popsané psychologicko-sociální dopady někteří autoři popisují závažnější důsledky. Kolář et al. (2011) předpovídají mnohem rozsáhlejší dopad, konkrétně častější úrazy či funkční patologie pohybového systému, vznik entezopatií a recidivující potíže, vedoucí k chronifikaci funkčních poruch. Podle těchto autorů pohybová nešikovnost znesnadňuje reedukaci motorických vzorů, což nepříznivě ovlivňuje výsledek celkové fyzioterapie. Nejejektivnější intervence využívají principů motorického učení a specificky trénují nejvíce problémové činnosti individuálního jedince.

Následují konkrétní doporučení pro budoucí výzkum i praxi. V oblasti výzkumu by měl subjekt obsahovat alespoň 20 (ideálně 30 a více) jedinců s VPK, rozdělených do tří skupin. U dvou skupin by byl porovnán efekt MIT s NTT v trvání 10 týdnů s frekvencí jednou týdně a trváním terapeutické jednotky v rozmezí 45-60 minut, oproti kontrolní skupině bez intervence. Při vstupním vyšetření kromě celkové anamnézy děti projdou testovací baterií MABC-2, rodiče zároveň vyplní jeden z dotazníků hodnotící stav VPK (viz oddíl 3.5), což bude zopakováno o 10 týdnů později. Po dalších 3 měsících od ukončení terapie by mělo dojít o opětovného otestování, kvůli ověření retence motorického učení z dlouhodobějšího hlediska.

Doporučení pro samotné vedení fyzioterapie u VPK se mohou zdát jako samozřejmá a v případě zkušených kolegů budou pravděpodobně shodná s jejich klinickými zkušenostmi. Nicméně tato doporučení jsou nyní díky této práci podložena výzkumem moderních neurověd (zejména z posledních 30 let), ale doplněná i o závěry z kriticky provedených meta-analýz klinických studií, tudíž mají jistou váhu. U dětí s VPK dle výše uvedených doporučených testů stanovíme, kde je konkrétní jedinec nejvíce deficitní. Na základě tohoto vyšetření vybereme činnosti, které budou v následujících 8-10 týdnech trénovány. Pokud možno vybereme pouze několik málo cviků (maximálně 2-3), které v průběhu terapie modifikujeme nebo ztěžujeme. Snažíme se využít use-dependent neuroplasticity směřováním aktivity ke stejnému cíli, kterým

může být napřímení osového orgánu v daném cviku, udržení rovnováhy v určených směrech, házení míčkem na jeden nebo více terčů, u nichž v rámci jedné terapeutické jednotky neměníme polohu. V terapii využíváme zvýraznění zpětné vazby, pomocí nestabilních ploch, barevných pomůcek, zvukově explicitních zařízení či herních konzolí. Před samotným provedením si připravíme podmínky tréninkem pohybu v představě, protože jím aktivujeme charakteristicky deficitní neurální síť u VPK, dále využíváme externí orientace pozornosti. Optimalizujeme motorické učení skrze psychologické facilitační faktory. Dítěti říkáme, že je šikovné, chválíme i neideální provedení, podporujeme jeho snahu. Postupně se snažíme o zařazení těchto nacvičovaných aktivit do domácího a školního prostředí. Dáme dítěti, respektive rodičům, domácí úkoly, např. u dominantní poruchy rovnováhy, aby dítě do příští terapie vydrželo námi zadaný čas ve stoji na jedné DK, přičemž máme přiměřené nároky. Vysoké nároky s případným selháním by mohly dítě demotivovat, čemuž chceme předejít. V terapii však můžeme počítat se značným budoucím zlepšením, pokud nejde o velmi závažný případ VPK, protože progresse v trénovaných aktivitách není významně ovlivněna (Biotteau et al., 2016b; Jelsma et al., 2015 Lejune et al., 2013).

## 10 Závěr

Vývojové poruše koordinace není současně odborníky z řad fyzioterapeutů, lékařů a pedagogů věnována dostatečná pozornost nebo není dostatečně včas rozpoznána. Tato práce jako první shromažďuje poznatky z neurověd i klinických studií na základě kterých podává komplexní pohled na etiologii, diagnostiku a terapii VPK. V rámci terapie byly shromážděny recentní informace o motorickém učení, jehož principů využívají nejefektivnější intervenční přístupy. Výzkum prokázal u této diagnózy, kromě motorického deficitu, poruchu motorického učení, zvýšení rizika obezity, častější výskyt duševních onemocnění jako deprese či úzkostných poruch, snížení participace v pohybové činnosti a průměrně zápornější sebehodnocení. U těchto jedinců jsou popsány strukturální i funkční odlišnosti CNS oproti normálně se vyvíjejícím dětem. Existuje korelace mezi těmito abnormalitami a funkčními okruhy CNS, které jsou popisovány ve studiích zkoumající neurofyzilogii motorického učení. Prevalence se odhaduje na 5-6 %, ale v případě gestačního věku  $\leq 32$  týdnů nebo porodní hmotnosti  $\leq 1500$  g stoupá riziko vzniku VPK na 20-50 %. Nejspolehlivější klinické hodnocení, včetně posouzení závažnosti přináší testovací baterie MABC-2, která má stanovené standardy pro Českou populaci ve všech věkových kategoriích.

V optimalizaci motorického učení by měl fyzioterapeut zvážit zapojení externí orientace pozornosti, dále zvolit vhodnou úroveň variability prováděných cviků a zapojit nácvik pohybu v představě (Irie et al., 2021; Steenbergen et al., 2020; Wulf & Lewthwaite, 2016). Je doporučena edukace pacienta o správném spánkovém režimu pro vyšší efektivitu off-line fáze motorického učení. U méně komplexních pohybů, např. pouze jednou končetinou se zdá být výhodnější zpočátku provádět celý motorický vzor, který následně rozdělíme na menší části, u nichž trénujeme preciznost pohybu jednotlivých segmentů. V případě komplexnějších pohybových vzorů (např. chůze) je doporučeno začít proces učení (reedukace) segmentálně, s postupnou návazností, až po provedení celého požadovaného vzoru (tato doporučení nemusí platit pro každého jedince). Pozitivní zpětná vazba, ať už verbální nebo jiná sensorická, významným způsobem přispívá ke konsolidaci nově získaných dovedností. Výkon pacienta by neměl být srovnáván s ostatními v negativním ohledu, spíše obecně motivujeme k lepšímu provedení. Výhodné je, pokud dáme osobě na výběr u použití pomůcek nebo variace cviků. Výzkum prokázal, že intervence probíhající alespoň 3 měsíce nebo delší se ukazuje jako účinná, pokud využívá task-oriented přístupu a principů motorického učení, probíhá

v malé skupině (3-6 dětí), zároveň pokud zadává terapeutické úkoly do školního i domácího prostředí. Mezi úspěšné metody patří MIT (Wilson, 2005; Wilson et al., 2016), NTT (Neimeijer et al., 2007; Ferguson et al., 2013), ale i běžná fyzioterapie (Offor et al., 2016)

## 11 Souhrn

Práce shrnuje poznatky o etiologii, diagnostice a intervenčních přístupech u vývojové poruchy koordinace (VPK). Jedná se o první práci, která toto téma pojímá takto uceleně v oblasti fyzioterapie. Zároveň přináší recentní poznatky neurověd o motorickém učení v korelaci s deficity, zjištěnými u VPK a jejich možné využití v terapii. V práci jsou shrnuty i dopady na život jedinců s touto diagnózou, mezi ně patří: zvýšené riziko obezity, častější výskyt duševních onemocnění jako deprese či úzkostných poruch, snížení participace v pohybové činnosti a průměrně zápornější sebehodnocení.

Z hlediska etiologie byla uvedena současná zjištění o abnormalitách struktury i funkce CNS, která jsou dále diskutována ve vztahu k poruchám motorického učení. Významný rizikový faktor pro vznik VPK představuje nízká porodní hmotnost či nízký gestační věk. V diagnostice jsou v práci uvedeny standardně využívané testovací baterie, spolu s klinickými možnostmi hodnocení.

V kapitole o motorickém učení je popsán jeho neurofyziologický podklad. Dále tato kapitola objasňuje některé aspekty důležité pro retenci a transfer nově získaných motorických dovedností mezi které patří, mimo jiné, i spánek. Diskutovány jsou zejména recentní poznatky, zabývající se vlivem pracovní paměti či externí orientace pozornosti a psychologických faktorů na motorické učení. Čtenář by si měl z částí této práce věnující se motorickému učení odnést zejména jeho optimalizační faktory a využití pro klinickou praxi (viz oddíl 5.9)

V rámci vytvoření přehledu o současně užívaných intervenčních přístupech se jako nejúčinnější jeví task-oriented přístupy, které obsahují prvky motorického učení, spolu s vedením terapie v malé skupině a zadáváním úkolů do domácího i školního prostředí. V závěru a diskuzi jsou doporučení, týkající se testování, výzkumných protokolů pro budoucí studie a doporučení k využití principů motorického učení v terapii VPK, které tvoří významnou součást neúspěšnějších intervenčních přístupů jako NTT, CO-OP či MIT. Zdravotnický pracovník by měl mít na paměti vysokou heterogenitu projevů této poruchy a terapeutický přístup vždy přizpůsobit konkrétnímu jedinci s exaktně stanoveným deficitem.

## 12 Summary

Developmental coordination disorder (DCD) is currently viewed as a non-severe condition by many experts from the ranks of physiotherapists, doctors, and teachers and is often underrecognized. This paper is the first to bring together findings from neurosciences as well as clinical trials based on which it proposes a complex view on the etiology, diagnostics and intervention methods in developmental coordination disorder. Recent insights about motor learning have been obtained, with its principles being applied in some of the most efficient therapeutic approaches. Apart from the motor deficit the research has shown the effect of this diagnosis including deficiencies in motor learning, higher risk of overweight and obesity, higher rate of psychological disorders such as depression and anxiety disorders, lesser participation in physical activities and more negative self-esteem. Structural and functional differences of the CNS between these individuals and typically developing children have been described. There is a correlation between these abnormalities and the functional circuits of the CNS described in the studies that examine the neurophysiological basis of motor learning. The estimated prevalence is 5-6 %, although when gestational age is  $\leq 32$  weeks or birth weight is  $\leq 1500$  g the risk of DCD increases up to 20-50 %. The most reliable clinical examination including the evaluation of severity is the Movement Assessment Battery for Children Second Edition (MABC-2) which has a set standard for the Czech population.

When optimizing motor learning the physiotherapist should consider bringing in the external orientation focus, choose the right level of variability of the performed exercises and also involve motor imagery training. It is recommended that the patient is educated on correct sleeping habits to make the off-line phase of motor learning more efficient. When learning a less complex movement, e.g. using only one limb it seems to be more suitable to perform the movement as a whole and subsequently split it into minor components which are trained separately to perfection. In more complex motor patterns (such as walking) it is recommended to begin the learning process segmentally with gradual progression towards performing the whole movement pattern (this recommendation may not apply for every individual). Positive feed-back either verbal or sensory, significantly contributes to the consolidation of the recently learned skills. The performance of a person should not be compared with others in a negative manner it is generally more efficient to motivate the patient to a better execution of the exercise. It seems advantageous for the patient has the ability to have a choice when using aids and

exercise variations. Research indicates that short-term intervention ( $\leq 3$  months) is effective when it: uses a task-oriented approach and motor learning principles, is performed in a small group (3-6 children) and, last but not least it assigns therapeutic homeworks for the school and home environments. The current most successful treatment methods are Motor imagery training (MIT) (Wilson, 2005; Wilson et al., 2016), Neuromotor Task Treatment (NTT) (Neimeijer et al., 2007; Ferguson et al., 2013), also regular physiotherapy (Offor et al., 2016).

## 13 Referenční seznam

- Abdollahipour, R., Psotta, R., Nieto, M. P., Rouzbahani, M., Hourieh, N., & Bahram, A. (2014) Effects of attentional focus of a target task: a moderation role of visual feedback. *Kinesiology*, 46(2), 210-217. Retrieved from <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/kinesiology/index>
- Abdollahipour, R., & Psotta, R. (2017) Is an external focus of attention more beneficial than an internal focus to ball catching in children. *Kineziology*, 49(2), 235-241. Retrieved from <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/kinesiology/index>
- Abdollahipour, R., Nieto, M. P., Psotta, R., & Wulf, G. (2017) External focus of attention and autonomy support have additive benefits for motor performance in children. *Psychology of Sport and Exercise*, 32, 17-24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.05.004>
- Adams, I. L. J., Lust, J. M., Wilson, P. H., & Steenbergen, B. (2014) Compromised motor control in children with DCD: a deficit in the internal model? – A systematic review. *Neuroscience and Behavioral Reviews*, 47, 225-244. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.08.011>
- Adams, I. L. J., Steenbergen, B., Lust, J. M., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2016) Motor imagery training for children with developmental coordination disorder – study protocol for a randomized controlled trial. *BMC Neurology*, 16:5. doi: 10.1186/s12883-016-0530-6
- Adams, I. L. J., Smits-Engelsman, B. C. M., Lust, J. M., Wilson, P. H., & Steenbergen, B. (2017) Feasibility of Motor Imagery Training for children with developmental coordination disorder – A pilot study. *Frontiers in Psychology*, 8, 1271. doi: 10.3389/fpsyg.2017.01271
- Adi-Japha, & E., Brestel, G. (2020) Motor skill learning with impaired transfer by children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 103(1), 103671, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103671>
- Agricola, A. Psotta, R., Abdollahipour, R. & Nieto, M. L. (2015) The differences of movement between children at risk of developmental coordination disorder and those not at risk. *Acta Gymnica*, 45(3), 129-138. doi: 10.5507/ag.2015.007
- American Psychiatric Association. (2013) *DSM-5: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. 5th Edn.* Washington, DC: American Psychiatric Press.



- Anderson, L., Wilson, J., & Williams, G. (2016) Cognitive Orientation to daily occupational performance (CO-OP) as group therapy for children living with motor coordination difficulties: an integrated literature review. *Australian Occupational Therapy Journal*, 64(2), 170-184. doi: 10.1111/1440-1630.12333
- Ayres A. J., Robbins J, & McAtee S. (2005) Assessment and intervention: How therapy using a sensory integration approach can help. In B. Erwin & Ch. Hunsicker (Eds.), *Sensory integration and the child: understanding hidden sensory challenges. 25th anniversary ed., rev. and updated* (pp. 139-150). Los Angeles, CA: Western Psychological Services,
- Bahmani, M., Wulf, G., Ghadiri, F., Karimi, S., & Lewthwaite, R. (2017) Enhancing performance expectancies through visual illusions facilitates motor learning in children. *Human Movement Science*, 55, 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.07.001>
- Bernandi, N. F., Darainy M., & Ostry, D. J. (2015) Somatosensory contribution to the initial stages of human motor learning. *The Journal of Neuroscience*, 35(42), 14316-14326. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1344-15.2015
- Biotteau, M, Chaix, Y., & Albaret, J.-M. (2016) What do we really know motor learning in children with developmental coordination disorder? *Current Developmental Disorders Reports*, 3, 152-160. doi: <https://doi.org/10.1007/s40474-016-0084-8>
- Biotteau, M., Chaix, Y., Blais, M., Tallet, J., Péran, P., & Albaret, J.-M. (2016) Neural signature of DCD: A critical review of MRI neuroimaging studies. *Frontiers in Neurology*, 7, 227. doi: 10.3389/fneur.2016.00227
- Blank, R., Smits-Engelsman, B., Potalajko, H., & Wilson, P. (2012) European academy for childhood disability (EACD): recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder (long version). *Developmental Medicine and Child Neurology*, 54(1), 54-93. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.04171.x>
- Blank, R., Barnett, A., Cairney, J., Green, D., Kirby, A., Polatajko, H.,...& Vinç on, S. (2019). International clinical practise recommendations on the definition, diagnosis, assessment, intervention, and psychological aspects of developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 61(3), 242-285. doi: 10.1111/dmcn.14132

- Bo, J., Lee, CH.-M. (2013) Motor skill learning in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 34(6), 2047-2055. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.03.012>
- Bolk, J., Faroogi, A., Hafström, M. Åden, U., & Serenius, F. (2018) Developmental coordination disorder and its association with developmental comorbidities at 6.5 years in apparently healthy children born extreme preterm. *JAMA Pediatrics*, 172(8), 765-774. doi: 10.1001/jamapediatrics.2018.1394
- Bonney, E., Jelsma, D., Ferguson, G., & Smits-Engelsman, B. (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*, 62, 124-136. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.01.013>
- Bonney, E., Ferguson, G., & Smits-Engelsman, B. (2017) The efficacy of two activity-based interventions in adolescents with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 71, 223-236. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.10.013>
- Brocken, J. E. A., Kal, E. C., & Van der Kamp, J. (2016) Focus of attention in children's motor learning: examining the role of age and working memory. *Journal of Motor Behaviour*, 48(6), 527-534. doi: <https://doi.org/10.1080/00222895.2016.1152224>
- Brown, T. (2019) Structural validity of the Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency – Second edition brief form (BOT-2 -BF). *Research in Developmental Disabilities*, 85, 92-103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.11.010>
- Cairney, J., Schmidt, L. A., Veldhuizen, S., Kurdyak, P., Hay, J., & Faught B. E. (2008) Left-handedness and developmental coordination disorder. [Abstract] *Canadian Journal of Psychiatry*, 53(10), 696-709. doi: 10.1177/070674370805301009
- Cairney, J., & Veldhuizen, S. (2013) Is developmental coordination disorder a fundamental cause of inactivity and poor health-related fitness in children? *Developmental Medicine and Child Neurology*, 55(4), 55-58. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.12308>
- Camden, C., Wilson, B., Kirby, A., Sugden, D., & Missiuna, C. (2014) Best practice principles for management of children with developmental coordination disorder (DCD): results of a scoping review. *Child: Care, Health and Development*, 41(1), 147-159. doi: <https://doi.org/10.1111/cch.12128>

- Cameron, K. L., Alsbeshier, R. A., McGinley, J. L., Allison, K., Cheong, J. L. Y., & Spittle A. J. (2020) Movement-based interventions for preschool-age children with, or at risk of, motor impairment: a systematic review. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 62(3), 290-296. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.14394>
- Cano-de-la-Cuerda, R., Morelo-Sánchez, A., Carrtalá-Tejada, M., Alguacil-Diego, I. M., Molina-Rueda, F., Miangolarra-Page, J. C., & Torricelli, D. (2015) Theories and control models and motor learning. Clinical applications in neurorehabilitation. *Neurología*, 30(1), 32-41. doi: 10.1016/j.nrl.2011.12.010
- Cantin, N., Ryan, J., Polatajko, H. J. (2014) Impact of task difficulty and motor ability on visual-motor task performance of children with and without developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 34(1), 217-232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.02.006>
- Cleaton, M. A. M., Lorgelly, P. K., & Kirby, A. (2018) Developmental coordination disorder: the impact on the family. *Quality of Life Research*, 28(4), 925-934. doi: <https://doi.org/10.1007/s11136-018-2075-1>
- Daou, M., Buchanan, T. L., Lindsey, K. R., Lohse, K. R., & Miller M. W. (2020) Expecting to teach enhances learning: evidence from a motor learning paradigm. *Journal of Motor Learning and Development*, 4(2), 197-207. doi: 10.1123/jmld.2015-0036
- Dayan, E., & Cohen, L. G. (2011) Neuroplasticity subserving motor skill learning. *Neuron*, 72(3), 443-454. doi: 10.1016/j.neuron.2011.10.008
- Dewey, D., & Volkovinskaia, A. (2018) Health-related quality of life and peer relationships in adolescents with developmental coordination disorder and attention-deficit-hyperactivity disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 60(7), 711-717. doi: 10.1111/dmcn.13753
- Dewey, D., Thompson, D. K., Kelly, C. E., Spittle, A. J., Cheong, J. L. Y., Doyle, W., & Anderson, P. J. (2019) Very preterm children at risk for developmental coordination disorder have brain alterations in motor areas. *Acta Paediatrica*, 108(9), 1649-1660. doi: <https://doi.org/10.1111/apa.14786>
- Edwards, J., Berube, M., Erlandson, K., Haug, S., Johnstone, H., Meagher, M.,...& Zwicker, J. G. (2011) Developmental coordination disorder in school-aged children born very preterm and/or at very low birth weight: a systematic review. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, 32(9), 678-687. doi: 10.1097/DBP.0b013e31822a396a

- Ferguson, G. D., Jelsma, D., Smits-Engelsman, B. C. M. (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*, 34(9), 2449-2461. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.05.007>
- Festini, S.B., Preston, S. D., Reuter-Lorenz, P. A., & Seidler R. D. (2016) Emotion and reward are dissociable from error during motor learning. *Experimental Brain Research*, 234, 1385–1394. doi: <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4542-z>
- Fogel, S., Vien, C., Karni, A., Benali, H., Carrier, J., & Doyon, J. (2017) Sleep spindles: a physiological marker of age-related changes in gray matter in brain regions supporting motor skill memory consolidation. *Neurobiology of Aging*, 49, 154-164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2016.10.009>
- Fong, S. S. M., Tsang, W. W. N., & Ng, G. Y. F. (2012) Altered postural control strategies and sensory organization in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 31(5), 1317-1327. doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.11.003>
- Freitas, C., Vasconcelos, M. O., & Botelho, M. (2014) Handedness and developmental coordination disorder in Portuguese children: study with the M-ABC test. [Abstract] *Laterality*, 19(6), 655-676. doi: 10.1080/1357650X.2014.897349
- Garavan, H., Ross, T. J., Murphy, K., Roche, R. A. P., & Stein, E. A. (2002) Dissociable executive functions in the dynamic control of behaviour: inhibition, error detection, and correction. *Neuroimage*, 17(4), 1820-1829. doi: <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1326>
- Gheysen, F., Van Waelvelde, H., Fias, W. (2011) Impaired visuo-motor sequence learning in developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 32(2), 749-756. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.11.005>
- Gibbs, J., Appleton, J., & Appleton, R. (2007) Dyspraxia or developmental coordination disorder? Unraveling the enigma. *Archives of Diseases in Childhood*, 92(6), 534-539. doi: 10.1136/adc.2005.088054
- Gillen, G. (2009) Cognitive and perceptual rehabilitation: optimizing function. St. Louis, Missouri: Mosby Elsevier. ISBN: 978-0-323-04621-3
- Gómez-Moya, R., Diaz, R., Vaca-Palomares, I., & fernandez-Ruiz, J. (2020) Procedural and strategic visuomotor learning deficits in children with developmental

- coordination disorder. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 91(3), 386-393. doi: 10.1080/02701367.2019.1675852.
- Gomez, A., & Sirigu, A. (2015) Developmental coordination disorder: core sensori-motor deficits, neurobiology and etiology. *Neuropsychologia*, 79(B), 272-287. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.09.032>
- Halsband, U., & Lange, R. K. (2006) Motor learning in man: A review of functional and clinical studies. *Journal of Physiology-Paris*, 99, 414-424. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.03.007>
- Hardwick, R. M., Rottschy, C., Miall, R. CH., & Eickhoff, S. B. (2013) A quantitative meta-analysis and review of motor learning in the human brain. *Neuroimage*, 67, 283-297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.11.020>
- Harris, S. R., Mickelson, E. C. R., Zwicker, J. G. (2015) Diagnosis and management of developmental coordination disorder. *Canadian Medical Association Journal*, 187(9), 6659-6665. doi: 10.1503/cmaj.140994
- Hendrix, C. G., Prins, M. R., & Dekkers, H. (2014) Developmental coordination disorder and overweight and obesity in children: a systematic review. *Obesity Reviews*, 15(5), 408-423. doi: <https://doi.org/10.1111/obr.12137>
- Holland, P., Codol, O., Oxley, E., Taylor, M., Hamshere, E., Joseph, S.,...& Galea, J. M. (2019) Domain-specific working memory, but no dopamine-related genetic variability, shapes reward-based motor learning. *The Journal of Neuroscience*, 39(47), 9383-9396. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0583-19.2019
- Holsti, L., Grunau, R. V. E., & Whitfield, M. F. (2002) Developmental coordination disorder low birth children at nine years. [Abstract] *Journal of Developmental Behavioral Pediatrics*, 23(1), 9-15. doi: 10.1097/00004703-200202000-00002
- Honda, M., Deiber, M. P., Ibáñez, V., Pascual-Leone, A., Zhuang, P., & Hallett, M. (1998) Dynamic cortical involvement in implicit and explicit motor sequence learning. A PET study. *Brain*, 121(11), 2159-2173. doi: 10.1093/brain/121.11.2159
- Cherng, R.-J., Liang, L.-Y., Chen, Y.-J., & Chen, J.-Y. (2009) The effects of a motor and cognitive concurrent task on walking in children with developmental coordination disorder. *Gait & Posture*, 29(2), 204-207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.08.003>
- Chmelík, F. (2014) *Manuál pro publikování v kinantropologii podle normy APA* Olomouc, Česká republika: Univerzita Palackého v Olomouc, Fakulta tělesné kultury. Retrieved from

[https://ftk.upol.cz/fileadmin/userdata/FTK/Studenti/Dokonceni\\_studia/Zaverecna\\_prace/Chmelik\\_\\_F.\\_2014.\\_Manual\\_pro\\_publicovani\\_v\\_kinantropologii\\_podle\\_normy\\_APA..pdf](https://ftk.upol.cz/fileadmin/userdata/FTK/Studenti/Dokonceni_studia/Zaverecna_prace/Chmelik__F._2014._Manual_pro_publicovani_v_kinantropologii_podle_normy_APA..pdf)

- Christova, M., Aftenberger, H., Nardone, R., & Gallasch, E. (2018) Adult gross motor learning and sleep: is there a mutual benefit? *Neural Plasticity*, 2018, 3076986. doi: 10.1155/2018/3076986
- Irie, K., Matsumoto, A., Zhao, S., Kato, T., & Liang, N. (2021) Neural basis and motor imagery intervention methodology based on neuroimaging studies in children with developmental coordination disorders: A review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, 620599. doi: 10.3389/fnhum.2021.620599
- Jarus, T., Ghanouni, P., Abel, R. L., Fomenoff, S. L., Lundberg, J., Davidson, S., Zwicker, J. G. (2015) Effect of internal versus external focus of attention on implicit motor learning in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 37, 119-126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.11.009>
- Jelsma, D., Ferguson, G. D., Smits-Engelsman, B., & Geuze, R. H. (2015) Short-term motor learning of dynamic balance control in children with probable developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 38, 213-222. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.12.027>
- Jie, L. J., Kleynen, M., Meijer, K., Beurskens, A., & Braun, S. (2018) The effects of implicit and explicit motor learning in gait rehabilitation of people after stroke: protocol for a randomized controlled trial. *Journal of Medical Internet Research Protocols*, 7(5). 142-154. doi: 10.2196/resprot.9595
- Kadesjö, B., & Gillberg, C. (1998) Attention deficits and clumsiness in Swedish 7-year-old children. [Abstract] *Developmental Medicine and Child Neurology*, 40(12), 796-804. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1998.tb12356.x>
- Kal E., Van der Kamp, J., & Houdijk, H. (2013) External attentional focus enhances movement automatization: a comprehensive test of the constrained action hypothesis. *Human Movement Science*, 32(4), 527-539. doi: 10.1016/j.humov.2013.04.001
- Kal, E., Prosée, R., Winters, M., & Van der Kamp, J. (2018) Does implicit motor learning lead to greater automatization of motor skills compared to explicit motor learning? A systematic review. *PLOS One*. 13(9). e0203591. doi: 10.1371/journal.pone.0203591

- Kirby, A., Williams, N., Thomas, M., & Hill, E. L. (2013) Self-reported mood, general health, wellbeing and employment status in adults with suspected DCD. *Research in Developmental Disabilities*, 34(4), 1357-1364. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.01.003>
- Kokštejn, J., Musálek, M., & Tufano, J. J. (2018) Construct validity of the movement assessment battery for children—second edition test in preschool children with respect to age and gender. *Frontiers in Pediatrics*, 6: 12, doi: 10.3389/fped.2018.00012
- Kolář, P., et al. (2009) Vyšetření korových funkcí z pohledu korové plasticity. In P. Kolář & M. Lepšíková (Eds.), *Rehabilitace v klinické praxi* (pp. 91-93). Praha, Česká republika: Galén.
- Krajenbrink, H., Van Abswoude, F., Vermeulen, S., Van Cappellen, S., & Steenbergen, B. (2018) Motor learning and movement automatization in typically developing children: the role of instructions with an external or internal focus of attention. *Human Movement Science*, 60(1), 183-190, doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.06.010>
- Krakauer, J. W. (2006) Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. *Current Opinion in Neurology*, 19(1), 84-90. doi: 10.1097/01.wco.0000200544.29915.cc
- Krakauer, J. W., Mazzoni, P., Ghazizadeh, A., Ravindran, R., & Shadmehr, R. (2006) Generalization of motor learning depends on the history of prior action. *Plos Biology*, 4(10), e316. doi: 10.1371/journal.pbio.0040316
- Krishnan, CH. (2019) Learning and interlimb transfer of new gait patterns are facilitated by disrupted practise across days. *Gait Posture*, 70, 84-89. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.02.019
- Kuriyama, K., Stickgold, R., & Walker, M. (2004) Sleep-dependent learning and motor skill complexity. *Learning and Memory*, 11(6), 705-713. doi: 10.1101/lm.76304
- Kumar, N., Manning, T. F., & Ostry, D. J. (2019) Somatosensory cortex participates in the consolidation of human motor memory. *PLOS Biology*, 17(10), e3000469. doi: 10.1371/journal.pbio.3000469
- Kwok, C., Mackay., M., Agnew, J. A., Synnes, A., & Zwicker, J. G. (2019) Does the movement assesment battery for children at 3 years of age predict developmental coordination disorder at 4 .5 years of age in children born very preterm? *Research*

- in *Developmental Disabilities*, 84, 36-42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.04.003>
- Landry, S., Anderson, C., Andrewartha, P., Sasse, A., & Conduit, R. (2014) The impact of obstructive sleep apnea on motor skill acquisition and consolidation. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 10(5), 491-496. doi: 10.5664/jcsm.3692
- Landry, S., O'driscoll, D. M., Hamilton, G. S., & Conduit, R. (2016) Overnight motor skill learning outcomes in obstructive sleep apnea: effects of continuous positive airway pressure. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 12(5), 681-688. doi: 10.5664/jcsm.5794
- Langevin, L. M., Macmaster, F. P., Crawford, S., Lebel, C., & Dewey, D. (2014) Common white matter microstructure alterations in pediatric motor and attention disorders. *The Journal of Pediatrics*, 164(5), 1157-1164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.01.018>
- Langevin, L. M., Macmaster, F. P., & Dewey, D. (2015) Distinct patterns of cortical thinning in concurrent motor and attention disorders. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 57(3), 257-264. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.12561>
- Largo, R. H., Caflish, J. A., Hug, F., Muggli, K., Molnar, A. A., Molinari, L.,... & Gasser, T. (2001) Neuromotor development from 5 to 18 years. Part 1: timed performance. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 43(7), 436-443. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2001.tb00739.x>
- Lee, D., Psotta, R., & Vagaja, M. (2016) Motor skills interventions in children with developmental coordination disorder: a review study. *European Journal of Adapted Physical Activity*, 9(2), 20-29. Dostupné z: <http://eujapa.upol.cz/pdfs/euj/2016/02/03.pdf>
- Lefebvre, S., Dricot, L., Gradkowski, W., Laloux, P., & Vandermeeren, Y. (2012) Brain activations underlying different patterns of performance improvement during early motor skill learning. *Neuroimage*, 62(1), 290-299. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.04.052>
- Lewthwaite, R., & Wulf, G. (2017) Optimizing motivation and attention for motor performance and learning. *Current Opinion in Psychology*, 16, 38-42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.04.005>
- Leonard, H. C. (2016) The impact of poor motor skills on perceptual, social and cognitive development: the case of developmental coordination disorder. *Frontiers in Psychology*, 7:311. doi: 10.3389/fpsyg.2016.00311



- Levac, D. E., Huber, M. E., & Sternad, D. (2019) Learning and transfer of complex motor skills in virtual reality: a perspective review. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, *16*(1), 121. doi: 10.1186/s12984-019-0587-8
- Lewthwaite, R., & Wulf, G. (2017) Optimizing motivational and attention for motor performance and learning. *Current Opinion in Psychology*, *16*, 38-42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.04.005>
- Li, L.-L., Li, Y.-CH., CHu, CH.-H., Pan, CH.-Y. & Chen, F.-CH. (2019) External focus of attention concurrently elicits optimal performance of suprapostural pole-holding task and postural stability in children with developmental coordination disorder. *Neuroscience Letters*, *703*, 32-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2019.03.011>
- Lin, CH.-H., Knowlton, B. J., Chiang, M.-CH., Iacoboni, M., Udompholkul, P., & Wu, A. D. (2011) Brain-behavior correlates of optimizing learning through interleaved practise. *Neuroimage*, *56*(3), 1758-1772. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.02.066>
- Lin, CH.-H., Chiang, M.-CH., Wu, A. D., Iacoboni, M., Udompholkul, P., Yazdanshenas, O., & Knowlton, B. J. (2012) Age related differences in the neural substrates of motor sequence learning after interleaved and repetitive practise. *Neuroimage*, *62*(3), 2007-2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.05.015>
- Lin, CH.-H., Yang H.-CH., Knowlton, B. J., Wu, A. D., Iacoboni, M., Ye, Y.-L., ...& Chiang, M.-CH. (2018) Contextual interference enhances motor learning through increased resting brain connectivity during memory consolidation. *Neuroimage*, *181*(1), 1-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.06.081>
- Lingam, R., Hunt, L., Golding, J., Jongmans, M., & Emond, A. (2009) Prevalence of developmental coordination disorder using the DSM-IV at 7 years of age: a UK population-based study. *Paediatrics*, *123*(4), e693-e700. doi: 10.1542/peds.2008-1770
- Magill, R. A., & Anderson, D. I. (2014) *Motor learning and control: Concepts and applications*. 10th ed. New York, NY: McGraw-Hill Education.
- Magistro, D., Piumatti, G., Carlevaro, F., Sherar, L. B., Esiiger, D. W., Bardaglio, G., ...& Musella, G. (2020) Psychometric properties of the Test of Gross Motor Development-Third Edition in a large sample of Italian children. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *23*(9), 860-865. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.02.014>

- Mander, B. A., Rao, V., Lu, B., Saletin, J. M., Ancoli-Israel, S., Jagust, W. J., & Walker, M. P. (2014) Impaired prefrontal sleep spindle regulation of hippocampal-dependent learning in older adults. *Cerebral Cortex*, *24*(12), 3301-3309. doi: 10.1093/cercor/bht188
- Messerschmidt, A., Brugger, P. C., Boltshauser, E., Gerlinde, Z., Sterniste, W., Birnbacher, R., & Prayer, D. (2005) Disruption of cerebellar development: potential complication of extreme prematurity. *American Journal of Neuroradiology*, *26*(7). Dostupné z: <http://www.ajnr.org/content/26/7/1659>
- Miyahara, M., & Register, C. (2000) Perceptions of three terms to describe physical awkwardness in children. *Research in Developmental Disabilities*, *21*(5), 367-376. doi: [https://doi.org/10.1016/S0891-4222\(00\)00049-4](https://doi.org/10.1016/S0891-4222(00)00049-4)
- Miyahara, M., Hillier, S. L., Pridham, L., & Nakagawa, S. (2017) Task-oriented interventions for children with developmental coordination disorder. *Cochrane Database of Systemic Reviews*, *7*, CD010914. doi: 10.1002/14651858.CD010914.pub2
- Moretto, N. A., Marcori A. J., & Okazaki, V. H. A. (2018) Contextual interference effects on motor skill acquisition, retention and transfer in sport rifle shooting. *Human Movement*, *19*(2), 99-104. doi: <https://doi.org/10.5114/hm.2018.74065>
- Mawase F, Uehara S, Bastian AJ, Celnik P. (2017) Motor learning enhances use-dependent plasticity. *Journal of Neuroscience*, *37*(10), 2673-2685. doi:10.1523/JNEUROSCI.3303-16.2017
- Neto, J. L. C., Steenbergen, B., Zamunér, A. R., & Tudella, E. (2020) Wii training versus non-Wii task-specific training on motor learning in children with developmental coordination disorder: a randomized controlled trial. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2020.03.013>
- Niemeijer, A. S., Schoemaker, M. M., & Smits-Engelsman, B. (2006) Are teaching principles associated with improved motor performance in children with developmental coordination disorder? A pilot study. *Physical Therapy and Rehabilitation Journal*, *86*(9), 1221-1230. doi: <https://doi.org/10.2522/ptj.20050158>
- Niemeijer, A., Smits-Engelsman, B., & Schoemaker, M. M. (2007) Neuromotor task training for children with developmental coordination disorder: a controlled trial. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *49*(6), 406-411. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00406.x>

- Noordstar, J. J., van der Net, J., Voerman, L., Helders, P. J. M., & Jongmans, M. J. (2017) The effect of an integrated perceived competence and motor intervention in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 60, 162-175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.12.002>
- Offor, N., Williamson, O., Caçola, P. (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*, 4, 169-196. doi: 10.1123/jmld.2015-0018
- Pereboom, M. J., Janssen, A. J. W. M., Steiner, K., Steenbergen, B., & Nijhuis-Van der Sanden, M. (2017) Implicit and explicit motor sequence learning in children born very preterm. *Research in Developmental Disabilities*, 60(1), 145-152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.11.014>
- Pereboom, M. J., Nijhuis-van der Sanden, M., & Steenbergen, B. (2019). Explicit and implicit motor sequence learning in children and adults; the role of age and visual working memory. *Human Movement Science*, 64(1), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.12.007>
- Piek, J. P., Pitcher, T. M., & Hay, D. A. (1999) Motor coordination and kinaesthesia in boys with attention deficit-hyperactivity disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 41(3), 159-165. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1999.tb00575.x>
- Pitcher, T. M., Piek, J. P., & Hay, D. A. (2003) Fine and gross motor ability in males with ADHD. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 45(8), 525-535. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2003.tb00952.x>
- Polatajko, H. J., & Cantin, N. (2005) Developmental coordination disorder (dyspraxia): an overview of the state of the art. *Seminars in Pediatric Neurology*, 12(4), 250-258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.spen.2005.12.007>
- Power, J. D., & Schlaggar, B. L. (2017) Neural plasticity across the lifespan. *Wiley Interdisciplinary Reviews Developmental Biology*, 6(1). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5193480/>
- Preston, N., Magallón, S., Hill, L. J. B., Andrews, E., Ahem, S. M., & Mon-Williams, M. (2017) A systematic review of high quality randomized controlled trials investigating motor skill programmes for children with developmental coordination disorder. *Clinical Rehabilitation*, 31(7), 857-870. doi: 10.1177/0269215516661014

- Psotta, R., & Hendl, J. (2012) Movement assessment battery for children – second edition: cross-cultural comparison between 11-15 year old children from the Czech republic and the United Kingdom. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica*, 42(3), 7-16. doi: 10.5507/ag.2012.013
- Psotta, R., Hendl, J., Frömel, K., & Lehnert, M. (2012) The second version of the movement assessment battery for children: a comparative study in 7-10 year old children from the Czech republic and the United Kingdom. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica*, 42(4), 19-27. doi: 10.5507/ag.2012.020
- Psotta, R., & Brom, O. (2016) Factorial structure of the movement assessment battery for children test-second edition in preschool children. *Perceptual and Motor Skills*, 123(3), 702-716. doi: 10.1177/0031512516666072.
- Psotta, R., & Abdollahipour, R. (2017) Factorial validity of the movement assessment battery for children-2nd edition (MABC-2) in 7-16-year-olds. *Perceptual and Motor Skills*, 124(6), 1051-1068. doi: 10.1177/0031512517729951.
- Psotta, R., Abdollahipour, R. & Janura, M. (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*, 101, 103654, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103654>
- Querne, L., Berquin, P., Vernier-Hauvette, M.-P., Fall, S., Deltour, L., Meyer, M.-E., & de Marco, G. (2008) Dysfunction of the attentional brain network in children with developmental coordination disorder: a fMRI study. *Brain Research*, 1244, 89-102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.07.066>
- Rhein, Z. & Vakil, ELI. (2018) Motor sequence learning and the effect of context on transfer from part-to-whole and whole-to-part. *Psychological Research*, 82, 448-458. doi: <https://doi.org/10.1007/s00426-016-0836-4>
- Rivilis, I., Hay, J., Cairney, J., Klentrou, P., Liu, J & Faught, B. E. (2011) Physical activity and fitness in children with developmental coordination disorder: a systematic review. *Research in Developmental Disabilities*, 32(3), 894-910. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.01.017>
- Roemmich, R. T., & Bastian, A. J. (2018) Closing the loop: From motor neuroscience to neurorehabilitation. *Annual Review of Neuroscience*, 41, 415-429. doi: 10.1146/annurev-neuro-080317-062245.

- Ruffino, C., Papaxanthis, CH., & Lebon, F. (2017) Neural plasticity during motor learning with motor imagery practise: review and perspectives. *Neuroscience*, 341, 61-78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.11.023>
- Schoemaker, M. M., Niemeijer, A. S., Reynders, K., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2003) Effectiveness of Neuromotor Task Training for children with developmental coordination disorder: a pilot study. *Neural Plasticity*, 10(1-2), 155-163. doi: 10.1155/NP.2003.155
- Schoemaker, M. M., Flapper, B. C. T., Reinders-Messenlink, H. A., & de Kloet, A. (2008) Validity of the motor observation questionnaire for teachers as a screening instrument for children at risk for developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 27(2), 190-199. doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2008.02.003>
- Schoemaker, M. M., & Smits-Engelsman, B. (2015) Is treating motor problems in DCD just a matter of practise and more practise? *Current Developmental Disorders Reports*, 2(2), 150-156. doi: 10.1007/s40474-015-0045-7
- Siedler, R. D. (2010) Neural correlates of motor learning, transfer of learning and learning to learn. *Exercise and Sport Science Reviews*, 38(1), 3-9. doi: 10.1097/JES.0b013e3181c5cce7
- Siengsukon, C. F., & Boyd, L. A. (2009) Does sleep promote motor learning? Implications for physical rehabilitation. *Physical Therapy*, 89(4), 370-383. doi: <https://doi.org/10.2522/ptj.20080310>
- Sidarta, A., Vahdat, S., Bernandi, N. F., & Ostry, D. J. (2016) Somatic and reinforcement-based plasticity in the initial stages of human motor learning. *The Journal of Neuroscience*, 36(46), 11682-11692. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1767-16.2016
- Sidarta, A., Van Vugt, F. T., & Ostry, D. J. (2018) Somatosensory working memory in human reinforcement-based motor learning. *Journal of Neurophysiology*, 120(6), 3275-3286. doi: 10.1152/jn.00442.2018
- Smits-Engelsman, B., Blank, R., van der Kaay, A.-C., Mosterd-van der Meijs, R., Vlugt-van der Brand, E., Polatajko, H., & Wilson, P. H. (2013) Efficacy of interventions to improve motor performance in children with developmental coordination disorder: a combined systematic review and meta-analysis. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 55(3), 229-237. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.12008>
- Smits-Engelsman, B., Jelsma, L. M., Ferguson, G. D., & Geuze, R. H. (2015) Motor learning: An analysis of 100 trials of a ski slalom game in children with and without

- developmental coordination disorder. *Plos One*, 10(10), 14-47. doi: 10.1371/journal.pone.0140470
- Smits-Engelsman, B., Schoemaker, M. M., Delabastita, T., Hoskens, J., & Geuze, R. (2015) Diagnostic criteria for DCD: past and future. *Human Movement Science*, 42, 293-306. doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.03.010>
- Smits-Engelsman, B., Vinçon. S., Blank, R., Quadrado, V. H., Polatajko, H., & Wilson, P. H. (2018) Evaluating the evidence for motor-based interventions in developmental coordination disorder: A systematic review and meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities*, 74, 72-102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.01.002>
- Sudsawad, P., Trombly, C. A., Henderson, A., Tickle-Dengen, L. (2002) Testing the effect of kinesthetic training on handwriting performance in first-grade students. *American Journal of Occupational Therapy*, 56, 26-33. doi: <https://doi.org/10.5014/ajot.56.1.26>
- Steenbergen, B., Krajenbrink, H., Lust, J., & Wilson, P. H. (2020) Motor imagery and action observation for predictive control in developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 62(12), 1352-1355. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.14612>
- Takeuchi N, Oouchida Y, Izumi S. (2012) Motor control and neural plasticity through interhemispheric interactions. *Neural Plasticity*, 2012:823285. doi:10.1155/2012/823285
- Taylor, J. A., & Ivry, R. B. (2012) The role of strategies in motor learning. *Annals of the New York Accademy of Sciences*, 1251, 1-12. doi: 10.1111/j.1749-6632.2011.06430.x
- Thornton, A. Licari, M., & Reid, S. L. (2015) Cognitive Orientation to (Daily) Occupational Performance intervention leads to improvements in impairments, activity and participation in children with developmental coordination disorder. *Disability and Rehabilitation*, 38(10), 979-986. doi: 10.3109/09638288.2015.1070298
- Tov-Ben, M., Levy-Tzedek, S., & Karniel, A. (2012) The effects of rhythmicity and amplitude on transfer of motor learning. *Plos One*, 7(10), e46983. doi: 10.1371/journal.pone.0046983
- Van Abswoude, F., Buszard, T., Van der Kamp, J., & Steenbergen, B. (2020) The role of working memory capacity in implicit and explicit sequence learning of children:

- differentiating movement speed and accuracy. *Human Movement Science*, 69, 102556, doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.102556>
- Van Cappellen-van Maldegem, S. J. M., Van Abswoude, F., Krajenbrink, H., & Steenbergen, B. (2018) Motor learning in children with developmental coordination disorder: the role of focus of attention and working memory. *Human Movement Science*, 62(1), 211-220. doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.11.001>
- Van der Linde, B. W., van Netten, J. J., Otten, B., Postema, K., Geuze, R. H., & Schoemaker, M. M. (2013) Development and psychometric properties of the DCDDaily: a new test for clinical assessment of capacity in activities of daily living in children with developmental coordination disorder. *Clinical Rehabilitation*, 27(9), 834-844. doi: 10.1177/0269215513481227
- Vargas, S., & Camilli, G. (1999) A meta-analysis of research on sensory integration treatment. *American Journal of Occupational Therapy*, 53, 189-198. doi: <https://doi.org/10.5014/ajot.53.2.189>
- Vinçon, S., Green, D., Blank, R., & Jentzky, E. (2017) Ecological validity of the Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency – Second edition. *Human Movement Science*, 53, 45-54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.10.005>
- Vyas, S., Even-Chen, N., Stavisky, S. D., Ryu, S. I., Nuyujukian, P., & Shenoy, K. V. (2018) Neural population dynamics underlying motor learning transfer. *Neuron*, 97(5), 1177-1186. doi: 10.1016/j.neuron.2018.01.040
- Walker, M., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2002) Practise with Sleep Makes Perfect. *Neuron*, 35(1), 205-211. doi: [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)00746-8](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)00746-8)
- Walker, M., Brakefield, T., Seidman, J., Morgan, A., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2003) Sleep and the time course of motor skill learning. *Learning and Memory*, 10(4), 275-284. doi: 10.1101/lm.58503
- Walz, A. D., Doppl, K., Kaza, E., Roschka, S., Platz, T., & Lotze, M. (2015) Changes in cortical, cerebellar and basal ganglia representation after comprehensive long term unilateral hand motor training. *Behavioural Brain Research*, 278, 393-403. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.08.044>
- Waters, N., Waiserberg, N., Zuk, L., & Lerman-Saige, T. (2007) Developmental coordination disorder in children with attention deficit-hyperactivity disorder and physical therapy intervention. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49(12), 920-925. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00920.x>

- Williams, J., Lee, K., & Anderson, P. (2010) Prevalence of motor skill impairment in preterm children who do not develop cerebral palsy: a systematic review. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 53(3), 232-237. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03544.x>
- Willingham, D. B., & Goedert-Eschmann, K. (1999) The relation between implicit and explicit learning: evidence for parallel development. [Abstract] *Psychological science*, 10(6), 531-534. doi: <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00201>
- Wilson, P. H., Maruff, P., Lum, J. (2003) Procedural learning in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 22(4), 515-526. doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2003.09.007>
- Wilson, P. H. (2005) Practitioner review: approaches to assessment and treatment of children with DCD: an evaluative review. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(8), 806-823. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01409.x>
- Wilson, B. N., Crawford, S. G., Green, D., Roberts, G., Aylott, A., & Kaplan B. J. (2009) Psychometric properties of the revised developmental coordination disorder questionnaire. *Physical and Occupational Therapy in Pediatrics*, 29(2), 182-2020. doi: 10.1080/01942630902784761
- Wilson, P. H., Ruddock, S., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Blank, R. (2012) Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: a meta-analysis of recent research. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 55(3), 217-228. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04436.x>
- Wilson, P. H., Adams, I., Caeyenberghs, K., Thomas, P., Smits-Engelsman, B., & Steenbergen, B. (2017) Motor imagery training enhances motor skill in children with DCD: A replication study. *Research in Developmental Disabilities*, 57, 54-62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.06.014>
- Wilson, P. H., Smits-Engelsman, B., Caeyenberghs, K., Steenbergen, B., Sugden, D., Clark, J.,...& Blank, R. (2017) Cognitive and neuroimaging findings in developmental coordination disorder: new insights from a systematic review of recent research. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 59(11), 1117-1129. doi: <https://doi.org/10.1111/dmcn.13530>
- Wright, D., Verveij, W., Buchanen, J., Chen, J., Rhee J., & Immink, M. (2015) Consolidating behavioral and neurophysiological findings to explain the influence of contextual interference during motor sequence learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23, 1-21. doi: <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0887-3>



- Wulf, G., Mcnevin, N., & Shea, CH. H. (2001) The automacity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 54(4), 1143-1154. doi: 10.1080/713756012
- Wulf, G. (2012) Attentional focus and motor learning: a review of 15 years. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 6(1), 77-104. doi: <https://doi.org/10.1080/1750984X.2012.723728>
- Wulf, G., & Lewthwaite, R. (2016) Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning: The OPTIMAL theory of motor learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23, 1382-1414. doi: <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0999-9>
- Zwicker, J. G., Missiuna, CH., Harris, S. R., & Boyd, L. A. (2012) Developmental coordination disorder: a review and update. *European Journal of Paediatric Neurology*, 16(6), 573-581. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2012.05.005>
- Zwicker, J. G., Missiuna, CH., & Boyd, L. A. (2009) Neural correlates of developmental coordination disorder: a review of hypotheses. *Journal of Child Neurology*, 24(10), 1273-1281. doi: 10.1177/0883073809333537

## 14 Přílohy

### Seznam příloh

**Příloha 1.** Informovaný souhlas pacienta (archiv autora).

**Příloha 2.** Potvrzení o překladu abstraktu a souhrnu (archiv autora).

## Informovaný souhlas

**Název studie (projektu):** Využití motorického učení u vývojové poruchy koordinace ve fyzioterapii

Jméno: L. M.

Datum narození: 19. 4. 2012

Účastník byl do studie zařazen pod číslem: 1

1. Já, níže podepsaný(á) souhlasím s účastí mého dítěte ve studii. Je mi více než 18 let.
2. Byl(a) jsem podrobně informován(a) o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se ode mého dítěte očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností. Pokud je studie randomizovaná, beru na vědomí pravděpodobnost náhodného zařazení do jednotlivých skupin lišících se léčbou.
3. Porozuměl(a) jsem tomu, že účast mého dítěte ve studii mohu kdykoliv přerušit či odstoupit. Účast mého dítěte ve studii je dobrovolná.
4. Při zařazení do studie budou osobní data mého dítěte uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Je zaručena ochrana důvěrnosti osobních dat mého dítěte. Při vlastním provádění studie mohou být osobní údaje poskytnuty jiným než výše uvedeným subjektům pouze bez identifikačních údajů, tzn. anonymní data pod číselným kódem. Rovněž pro výzkumné a vědecké účely mohou být osobní údaje mého dítěte poskytnuty pouze bez identifikačních údajů (anonymní data) nebo s mým výslovným souhlasem.
5. Porozuměl jsem tomu, že jméno mého dítěte se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Podpis účastníka:

Datum: 18.3. 2021

Podpis např. fyzioterapeuta pověřeného touto studii:

Datum: 18.3. 2021

Příloha 2

**POTVRZENÍ O PŘEKLADU ABSTRAKTU A SOUHRNU  
BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Jméno a příjmení studenta: *Ondřej Papáček*

Ročník: 3.

Akademický rok: *2020/2021*

Forma studia: *denní*

Studijní obor: *fyzioterapie*

Název bakalářské/diplomové práce: *Využití motorického učení u vývojové poruchy koordinace ve fyzioterapii / The Use of Motor Learning in Developmental Coordination Disorder in Physiotherapy*

Jméno a příjmení překladatele: *Mgr. Kateřina Harrison Lipenská*

Datum: *21.4.2021*

*Kateřina Harrison Lipenská*  
razítko, podpis