

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

**POROVNÁNÍ TYPICKY SE VYVÍJEJÍCÍCH DĚTÍ A DĚTÍ
S VÝVOJOVOU PORUCHOU KOORDINACE Z POHLEDU
DYNAMIKY CHŮZE**

Diplomová práce

Autor: Bc. Anna Uličná

Studijní program: Aplikovaná fyzioterapie

Vedoucí práce: Mgr. Lucia Bizovská, Ph.D.

Olomouc 2023

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Bc. Anna Uličná

Název práce: Porovnání typicky se vyvíjejících dětí a dětí s vývojovou poruchou koordinace z pohledu dynamiky chůze

Vedoucí práce: Mgr. Lucia Bizovská, Ph.D.

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Rok obhajoby: 2023

Abstrakt:

Cílem diplomové práce bylo porovnat dynamické charakteristiky chůze po překročení překážky mezi typicky vyvíjejícími se (TD) dětmi a dětmi s vývojovou poruchou koordinace (DCD). Do výzkumu bylo zařazeno 51 dětí s DCD a 98 TD dětí rozdělených do věkových podskupin 7-8 let, 9-10 let a 11-12 let. Výška překážky byla nastavena na 1/3 funkční délky dominantní dolní končetiny probanda. K měření reakční síly podložky a pohybu jejího působíště (COP) byla použita silová plošina Kistler 9286AA (Kistler Instrumente, Winterthur, Švýcarsko) se sběrnou frekvencí 1000 Hz, která byla zabudována těsně za překážku umístěnou uprostřed chodníku o délce 10 m. Měřeno bylo pět pokusů v preferovaném tempu chůze. Statisticky významný rozdíl v dynamických charakteristikách chůze přes překážku byl zjištěn ve všech věkových podskupinách, přičemž v jednotlivých podskupinách byl rozdíl pozorován v různých parametrech. Na základě statistické analýzy byla jako parametr s nejlepší predikční validitou pro identifikace jedinců s DCD stanovena rychlost pohybu COP v mediolaterálním směru pro podskupinu 7-8 let, maximum anteroposteriorní složky reakční síly podložky v akcelerační fázi pro podskupinu 9-10 let a doba trvání do dosažení maxima anteroposteriorní složky reakční síly podložky v decelerační fázi pro podskupinu 11-12 let.

Klíčová slova:

vývojová porucha koordinace, motorický vývoj, chůzový vzorec, chůze přes překážku, reakční síla podložky, působíště reakční síly podložky

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author: Bc. Anna Uličná
Title: Comparison of gait dynamics in typically developing children and children with developmental coordination disorder

Supervisor: Mgr. Lucia Bizovská, Ph.D.
Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology
Year: 2023

Abstract:

The aim of this master thesis was to compare the dynamic characteristics of gait after obstacle crossing between typically developing children (TD) and children with developmental coordination disorder (DCD). The study included 51 children with DCD and 98 TD children divided into age subgroups of 7-8, 9-10 and 11-12 years. The obstacle height was set to 1/3 of the functional length of the child's dominant lower limb. A Kistler 9286AA force platform (Kistler Instrumente, Winterthur, Switzerland) with a sampling frequency of 1000 Hz was used to record the ground reaction force (GRF) and center of pressure (COP) movement. The force platform was placed directly behind the obstacle in the middle of a 10-m-long walkway. Five trials were performed at the preferred walking pace. A statistically significant difference was found in all age subgroups. However, each subgroup exhibited differences in different parameters. After detailed statistical analysis, the parameter with the best predictive validity for identifying individuals with DCD was determined to be the velocity of COP movement in the mediolateral direction for the 7-8 years subgroup, the maximum of the anteroposterior GRF in the acceleration phase for the 9-10 years subgroup, and the time to reach the maximum of the anteroposterior GRF in the deceleration phase for the 11-12 years subgroup.

Keywords:

developmental coordination disorder, motor development, gait pattern, obstacle crossing, ground reaction force, center of pressure

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracovala samostatně pod vedením Mgr. Lucie Bizovské, Ph.D., uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 30. dubna 2023

.....

Ráda bych poděkovala vedoucí mé diplomové práce, Mgr. Lucii Bizovské, Ph.D., za trpělivost, vstřícnost, poskytnutí cenných rad a odborné vedení diplomové práce.

SEZNAM ZKRATEK

ADHD	attention deficit hyperactivity disorder
ADL	activities of daily living
AP	anteroposteriorní
APA	American Psychiatric Association
apGRF	anteroposteriorní složka reakční síly podložky
AUC	area under the curve
BOT-2	Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency, Second Edition
CNS	centrální nervový systém
CNV	copy number variation
COM	center of mass
COP	center of pressure
CPG	central pattern generators
DCD	developmental coordination disorder
DCDQ-R	revidovaný Developmental Coordination Disorder Questionnaire
DK	dolní končetina
DKK	dolní končetiny
DSM-V	Diagnostický a statistický manuál pro mentální poruchy – pátá edice
ESC	end-state comfort
fMRI	funkční magnetická rezonance
GDI	gait deviation index
GRF	ground reaction force
HDA	horizontal toe displacement at apex
LR	loading response
MABC-2	Movement Assessment Battery for Children – 2nd Edition
max _{akc}	maximum anteroposteriorní složky reakční síly podložky v akcelerační fázi
max _{dec}	maximum anteroposteriorní složky reakční síly podložky v decelerační fázi
max _{lat}	maximum mediolaterální složky reakční síly podložky v laterálním směru
max _{med}	maximum mediolaterální složky reakční síly podložky v mediálním směru
max _{vert 1}	maximum vertikální složky reakční síly podložky v první polovině stojné fáze
max _{vert 2}	maximum vertikální složky reakční síly podložky v druhé polovině stojné fáze
MKN	Mezinárodní klasifikace nemocí
ML	mediolaterální
MNS	mirror neuron system

MSt	midstance
PAS	poruchy autistického spektra
ROC	Receiver Operating Characteristic Curve
STS	sulcus temporalis superior
TD	typicky vyvíjející se
TGMD-2	Test of Gross Motor Development – Second Edition
TSt	terminal stance
vGRF	vertikální složka reakční síly podložky
WHO	World Health Organization

OBSAH

Obsah	9
1 Úvod	11
2 Přehled poznatků	12
2.1 Vývojová porucha koordinace	12
2.1.1 Definice.....	12
2.1.2 Klinický obraz.....	13
2.1.3 Podtypy.....	14
2.1.4 Prevalence a asociace s jinými poruchami	15
2.1.5 Rizikové faktory	17
2.1.6 Etiologie.....	17
2.1.7 Diagnostika	24
2.2 Chůze	26
2.2.1 Ontogeneze chůze.....	26
2.2.2 Poruchy chůze u jedinců s DCD	28
2.2.3 Chůze přes překážku.....	33
2.2.4 Dynamická analýza chůze.....	36
2.2.5 Dynamická analýza chůze přes překážku	40
3 Cíle.....	42
3.1 Hlavní cíl.....	42
3.2 Dílčí cíle.....	42
3.3 Výzkumné hypotézy.....	42
3.4 Výzkumná otázka.....	43
4 Metodika	44
4.1 Výzkumný soubor	44
4.2 Metody sběru dat	44
4.3 Statistické zpracování dat.....	46
5 Výsledky.....	47
5.1 Charakteristika souboru	47
5.2 Reakční síla podložky	49
5.3 Pohyb COP	53

5.4	ROC analýza	56
6	Diskuse.....	57
7	Závěry	61
8	Souhrn	62
9	Summary.....	63
10	Referenční seznam	64
11	Přílohy	91
	11.1 Vyjádření etické komise.....	91
	11.2 Potvrzení překladu abstraktu.....	92

1 ÚVOD

Vývojová porucha koordinace (developmental coordination disorder, DCD) je neurovývojová porucha charakteristická narušenou schopností osvojit si a vykonávat motorické dovednosti na úrovni odpovídající chronologickému věku jedince (American Psychiatric Association, 2013). Prevalence se pohybuje mezi 1,8 až 8 % v závislosti na použitých diagnostických kritériích a testech hodnotících motoriku (Biotteau et al., 2020). DCD se běžně vyskytuje v kombinaci s ostatními vývojovými poruchami (Blank et al., 2019; Lino & Chieffo, 2022), přičemž nejčastěji je asociováno s hyperaktivní poruchou (Goulardins et al., 2017) či poruchami autistického spektra (Kopp et al., 2010).

V průběhu vývoje se DCD může projevit opožděným dosahováním motorických milníků už v prvním roce života nebo později obtížemi při osvojování motorických dovedností. Pohybový projev dětí s DCD působí nejen při výkonu běžných denních aktivit neobratně, pomalu a nepřesně (World Health Organization, 2023). DCD zasahuje i do řady psychosociálních, kognitivních a fyzických oblastí (Zwicker et al., 2013), což má za následek např. horší školní prospěch (Harrowell et al., 2018), častější výskyt duševních chorob (Omer et al., 2019), marginalizaci ze strany svých vrstevníků (O’Dea et al., 2021) či vyšší riziko výskytu chorob spojených s inaktivitou (Cairney et al., 2007; Hendrix et al., 2014).

Chůze přes překážku vyžaduje přesnou kontrolu pohybu švihové dolní končetiny při zachování rovnováhy těla prostřednictvím vysoce koordinovaných pohybů v kloubech stojné a švihové dolní končetiny (Chen & Lu, 2006; Lu et al., 2006). Vysoké nároky klade také z hlediska prediktivní motorické kontroly, kdy pro úspěšné překonání překážky je nutné adekvátní anticipační plánování s využitím informací ze zrakového, somatosenzorického a vestibulárního systému spolu se zapojením kognitivních funkcí vyšší úrovně (Patla et al., 1991). Děti s DCD vykazují různorodé motorické příznaky, včetně problémů s hrubou anebo jemnou motorikou, s poruchami senzomotorické koordinace, motorického učení nebo posturální kontroly (Biotteau et al., 2020). Tato diplomové práce se zabývá porovnáním dynamických charakteristik chůze po překročení překážky mezi skupinami typicky vyvíjejících se dětí a dětí s DCD.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Vývojová porucha koordinace

2.1.1 Definice

Vývojová porucha koordinace (developmental coordination disorder, DCD) je častá neurovývojová porucha charakterizovaná obtížemi při osvojování dovedností hrubé anebo jemné motoriky se závažnými dopady pro každodenní život (Blank et al., 2019; Ip et al., 2021).

V kontextu vývojových poruch motoriky může docházet k jistým nejasnostem ohledně používání různých pojmů a definic a z tohoto důvodu není vždy jasné, kdy se jedná o termín ekvivalentní DCD (Blank et al., 2019). V desáté revizi Mezinárodní klasifikace nemocí (MKN; World Health Organization, [WHO], 2008) je nozologická jednotka DCD shodná s diagnózou specifické vývojové poruchy motorických funkcí spadající pod poruchy psychického vývoje. V aktuální jedenácté revizi MKN (WHO, 2023) platné od 1. ledna 2022 s pětiletým přechodným obdobím se ale nově vyskytuje pod pojmem vývojová porucha motorické koordinace a je řazena mezi neurovývojové poruchy. Touto změnou došlo k minimalizaci rozdílů v interpretaci a klasifikaci mezi MKN a současnou verzí Diagnostického a statistického manuálu pro mentální poruchy (DSM-V; American Psychiatric Association, [APA], 2013), který je hlavním klasifikačním systémem používaným ve Spojených státech amerických.

Zejména ve starší literatuře se lze setkat i s dalšími pojmy používanými v průběhu let k popisu dětí s poruchou obratnosti jako je syndrom nešikovného dítěte, porucha motorického učení, lehká mozková dysfunkce, porucha sensorické integrace či dyspraxie (Gibbs et al., 2007). Právě s dyspraxií je DCD často zaměňováno (Kirby et al., 2014) nebo je řazeno mezi její symptomy spolu s jinými nemotorickými projevy (Dyspraxia Foundation USA, 2023). Někteří autoři také vymezují rozdíl mezi vývojovou dyspraxií a DCD (Miyahara & Möbs, 1995). Termín „dyspraxie“ nicméně není uznáván jako samostatná jednotka nebo podskupina DCD (Henderson & Henderson, 2002) a jeho používání není doporučováno (Blank et al., 2019).

V anglicky psané odborné literatuře hojně rozšířený termín „DCD“ je převzat z klasifikace DSM-V, ve které byla také formulována diagnostická kritéria, jejichž splnění podmiňuje udělení diagnózy DCD. Dle nových pokynů pro diagnostiku vyplývajících ze závěrů mezinárodní konference pořádané pod záštitou organizace European Academy of Childhood Disability byly doporučeny drobné změny v těchto kritériích, včetně pořadí kritérií C a D:

- A. Osvojování a provádění motorických dovedností vyžadujících koordinaci je na podstatně nižší úrovni, než je očekáváno vzhledem k chronologickému věku jedince a dostatečným příležitostem získat věku přiměřené motorické dovednosti.
- B. Deficit motorických dovedností popsany v kritériu A významně a trvale zasahuje do běžných denních činností odpovídajících chronologickému věku (např. sebeobsluha, sebezpečí a mobilita) a má dopad také na školní výkonnost, předprofesní a profesní přípravu, volnočasové aktivity a hraní.
- C. Motorické nedostatky nejsou způsobeny jiným zdravotním, neurovývojovým nebo psychologickým problémem ani sociálním nebo kulturní zázemím.
- D. Příznaky poruchy se projeví v dětství, ikdyž někdy mohou být identifikovány až v období dospívání či dospělosti (Blank et al., 2019).

2.1.2 Klinický obraz

DCD se někdy může projevit již během prvního roku života opožděným dosahováním motorických milníků (např. sezení, lezení, chůze) nebo později obtížemi při osvojování dovedností jako je zapínání knoflíků, zavazování tkaniček, jezení příborem, jízda na kole, chůze do schodů, skládání puzzle, stavění modelů nebo hraní s míčem. I když se dítě novou dovednost naučí, provedení daného pohybu může působit neohrabaně, pomalu nebo nepřesně. Oproti svým vrstevníkům děti s DCD častěji upouští věci z rukou, zakopávají, padají nebo naráží do překážek (APA, 2013; WHO, 2023).

Ačkoli je DCD primárně motorickou poruchou, zasahuje do celé řady psychologických, kognitivních, fyzických a sociálních oblastí (Zwicker et al., 2013). Narušení exekutivních funkcí, konkrétně pracovní paměti, kognitivní flexibility anebo inhibiční kontroly (Leonard et al., 2015; Sartori et al., 2020) spolu s deficitem jemné motoriky negativně ovlivňuje proces učení. Ve škole proto mívají děti s DCD potíže se čtením, pravopisem a čtenářskou gramotností (Alloway, 2007; Dewey et al., 2002). S problémy se potýkají také při psaní (Missiuna et al., 2004; Rosenblum & Livneh-Zirinski, 2008) nebo v matematice (Gomez & Huron, 2020; Gomez et al., 2015). Důsledkem těchto školních nedostatků je horší prospěch, který se promítá do omezených budoucích akademických nebo pracovních příležitostí (Cantell et al., 2003; Harrowell et al., 2018).

Z důvodu vyšší náročnosti běžných aktivit jako běhání, skákání nebo chytání či kopání míče se děti s DCD méně zapojují do volnočasových pohybových aktivit (Engel-Yeger & Hanna Kasis, 2010; Oudenampsen et al., 2013) a ve srovnání s typicky vyvíjejícími se (typically developing, TD) dětmi jsou méně tělesně zdatné (Batey et al., 2014; Rivlis et al., 2011). Kvůli nedostatku

pohybové aktivity u nich stoupá riziko kardiovaskulárních onemocnění (Cairney et al., 2007; Faught et al., 2005), obezity (Cermak et al., 2015; Hendrix et al., 2014) či snížené kostní denzity (J. Tan et al., 2022) a deficity v oblasti motorických dovedností jsou dále prohlubovány (James et al., 2022). Výhledově jsou jedinci s DCD více ohroženi i úrazy, časnějším vznikem degenerativních poruch, entezopatií a dalšími ortopedickými poruchami způsobenými chronickým přetěžováním pohybového aparátu (Kolář et al., 2011).

DCD může dále vést k rozvoji komplexních psychosociálních problémů, kdy děti s DCD hůře navazují přátelské vztahy, jsou více sociálně izolované (Izadi-Najafabadi et al., 2019; Sylvestre et al., 2013) a častěji obětmi šikany (O’Dea et al., 2021; Wagner et al., 2012). Při sebeobsluze a školních aktivitách pociťují frustraci, což je reflektováno v nízkém sebevědomí a sebehodnocení vlastních schopností (Caçola, 2016; Piek et al., 2006). Častěji také vykazují známky emočních a duševních onemocnění, a to zejména internalizovaných poruch, pod které spadají např. úzkostné poruchy a dětská deprese (Omer et al., 2019). Vysvětlit souvislost mezi významně vyšší prevalencí těchto chorob u dětí s DCD oproti TD dětem (Li et al., 2018; Missiuna et al., 2014) se pokusili autoři hypotézy enviromentálního stresu, podle nichž motorické nedostatky vystavují děti s DCD různým sekundárním stresorům (např. omezení ve funkčnosti sociálních vztahů, sebevědomí nebo míře aktivity), které mohou v delším časovém horizontu způsobit rozvoj duševních poruch (Cairney et al., 2013). DCD nesnižuje kvalitu života pouze daného dítěte, ale společensky, mentálně a finančně zatěžuje i celou rodinu (Cleaton et al., 2019) .

V 50 až 70 % případů DCD přetrvává do dospělosti (APA, 2013), přičemž ale klinický obraz může být odlišný díky zlepšeným pohybovým dovednostem, terapii anebo schopnosti přizpůsobit se, případně úplně se vyhnout, náročným situacím a úkolům (Cleaton et al., 2021). DCD se nicméně může nadále manifestovat např. duševními poruchami (Harris et al., 2021), sníženou pohybovou aktivitou (J. L. K. Tan et al., 2022) a nově potížemi při učení se řídit automobil (Gentle et al., 2021; Missiuna et al., 2008).

2.1.3 Podtypy

Děti s DCD tvoří heterogenní skupinu – primární symptomy se u jednotlivců liší nejen charakterem a závažností motorických problémů, ale také sensorických a kognitivních deficitů často asociovaných s DCD. Některé děti mohou mít potíže s udržováním rovnováhy, jiné s jemnými a precizními pohyby prstů či s koordinací oko-ruka. Tato různorodost v klinickém obraze ztěžuje identifikaci a účinnou léčbu dětí s DCD, zároveň také poukazuje na existenci určitých podtypů DCD (Lust et al., 2022).

Dosavadní výzkumy zabývající se podtypy DCD přinesly rozporuplné výsledky ohledně počtu existujících podtypů a hlavních motorických obtíží společných pro jednotlivé podtypy. Vaivre-Douret et al. (2011) identifikovali tři hlavní podtypy (ideomotorická dyspraxie, vizuálně-prostorová a vizuálně-konstrukční dyspraxie, smíšená dyspraxie), zatímco Lust et al. (2022) zjistili podtypy čtyři. Pod první dva podtypy spadají děti s podprůměrným výkonem ve všech motorických dovednostech a alespoň v jednom aspektu percepce a hraničním výkonnostním IQ, přičemž jedna skupina se liší navíc výrazně horší úrovní hrubé motoriky. Zbylé dva podtypy tvoří děti vykazující obtíže s hrubou motorikou nebo rovnováhou a obtíže s jemnou motorikou v kombinaci s nižšími zrakově-percepčními dovednostmi a výkonnostním IQ.

Kolář et al. (2011) popisuje rozdělení na ideativní, motorický a nejčastější smíšený, ideomotorický, typ DCD. V případě ideativního typu je porušena představa i schopnost provést daný pohybový stereotyp, což souvisí s abnormálním zpracováním sensorických informací. Není jasné, zda se může jednat o poruchu v percepci jedné modalitě nebo je příčinou vždy multisenzorická porucha. Pro motorickou formu DCD je typická zachovaná schopnost naplánovat pohybové sekvence nutné pro vykonání příslušného úkolu a problémy s jeho provedením. Tento typ je charakteristický:

- poruchami selektivní hybnosti;
- poruchami posturální adaptace;
- poruchami svalové (často i psychické) relaxace;
- poruchami rovnováhy;
- poruchami silového přizpůsobení;
- poruchami plynulosti, rychlosti a rytmu pohybu;
- poruchami pohybového odhadu (Kolář et al., 2011).

Při posuzování dalších kognitivních funkcí našli Asonitou et al. (2020) dalších šest kognitivních podtypů mezi dětmi s DCD. Je tedy pravděpodobné, že existuje značná komplexnost motorických symptomů DCD, která se při zohlednění jejich interakce s kognitivními příznaky jen zvyšuje (Meachon, 2023).

2.1.4 Prevalence a asociace s jinými poruchami

Prevalence DCD ve všech věkových kategoriích se pohybuje v rozmezí od 1,8 do 8 % (Biotteau et al., 2020), přičemž pro děti ve věku 5 až 11 let je udávána hodnota mezi 5 až 6 % (APA, 2013). Míra prevalence se liší v závislosti na použitých diagnostických kritériích a dotaznících či škálách hodnotících úroveň motoriky. Při aplikaci kritérií dle DSM-V byla u dětí

ve věkové kategorii 8 až 17 let zjištěna prevalence DCD 3,8 % (Sujatha et al., 2020). Z hlediska zastoupení pohlaví bývají častěji postiženi chlapci, v poměru k dívkám přibližně 2:1 až 7:1 (APA, 2013). Pro Českou republiku je udávána prevalence 2,5 % u dětí předškolního věku (Kokštejn et al., 2017) a mezi 1-4 % pro děti ve věku 7-15 let (Kokštejn et al., 2015; Psotta et al., 2012; Psotta & Hendl, 2012).

DCD se běžně vyskytuje v kombinaci s jinými poruchami emocí, učení nebo sociálních funkcí se začátkem v dětství a v dospívání (Blank et al., 2019; Lino & Chieffo, 2022). Nejčastěji je asociováno s hyperaktivní poruchou (attention deficit hyperactivity disorder, ADHD) – jejich souběžný výskyt je odhadován až na 50 % (Goulardins et al., 2017). Obě poruchy mají řadu společných příznaků: děti s ADHD mají často potíže s koordinací a programováním motoriky, zatímco děti s DCD vykazují větší impulzivitu a potíže s inhibiční kontrolou (James et al., 2022; Montes-Montes et al., 2021). S cílem sjednotit symptomy ADHD a DCD do jednoho konceptu byl v 70. letech definován syndrom DAMP (Deficits in Attention, Motor Control, and Perception; Gillberg, 2003). V současnosti je ale tento termín zřídka používán s výjimkou skandinávských zemí (Blank et al., 2019).

Z důvodu vysoké prevalence výskytu DCD spolu s ADHD se vědci začali zabírat otázkou potenciálního stejného etiologického základu, dle výsledků studií využívajících funkční magnetickou rezonanci (fMRI) jsou ale atypické mozkové okruhy hrající roli v rozvoji DCD a ADHD rozdílné (Goulardins et al., 2015; McLeod et al., 2016).

Z prognostického hlediska představuje diagnóza ADHD s DCD negativní faktor. Autoři longitudinální studie Landgren et al. (2021) zjistili u takových jedinců významně vyšší výskyt psychiatrických onemocnění, užívání psychotropních léků, trestné činnosti a delší dobu pracovní neschopnosti. Zároveň dosáhli významně nižšího stupně vzdělání, více let byli nezaměstnaní a častěji pobírali sociální dávky (Landgren et al., 2021). Děti a adolescenti s ADHD a DCD se také častěji potýkají s neoblíbeností, marginalizací či viktimizací ze strany svých vrstevníků (Dewey & Volkovinskaia, 2018).

Poruchy autistického spektra (PAS) patří mezi další komorbidity často spojované s DCD (Kopp et al., 2010; Wisdom et al., 2007). Narušený motorický vývoj je jedním z možných znaků PAS, a proto není zřejmé, zda se v tomto případě jedná o současný výskyt dvou samostatných poruch nebo je postižení motorických funkcí u PAS etiologicky odlišné od DCD (Kilroy et al., 2019). DCD je dáváno do spojitosti také s poruchami řeči (Flapper & Schoemaker, 2013; Visscher et al., 2007), specifickými poruchami učení (Biotteau et al., 2019; Iversen et al., 2005), očními abnormalitami (Sumner et al., 2018) a duševními poruchami (Caçola & Killian, 2018; Pratt & Hill, 2011).

Vzhledem k průniku v některých symptomech výše zmíněných neurovývojových poruch může být stanovení přesné diagnózy, zejména v raném věku, obtížné (Lino & Chieffo, 2022). U některých dětí nelze také vždy určit, do jaké míry jsou poruchy chování komorbiditou nebo důsledkem dlouhodobých negativních životních zkušeností spojených s DCD (Blank et al., 2019). To vše komplikuje diagnostický proces a oddaluje zahájení vhodné intervence (Licari et al., 2021).

2.1.5 Rizikové faktory

K významným rizikovým faktorům pro vznik DCD patří mužské pohlaví, předčasný porod a nízká porodní hmotnost (Du et al., 2020; van Hoorn et al., 2021). Riziko DCD u dětí narozených velmi předčasně (před 32. týdnem) nebo s velmi nízkou porodní hmotností (pod 1500 g) je šesti až osminásobně vyšší než u dětí donošených či s normální porodní hmotností (Edwards et al., 2011). Obecně lze říci, že s přibývajícím gestačním věkem riziko klesá – pro děti narozené před 37. týdnem se jedná o hodnotu tři až čtyřikrát vyšší (Williams et al., 2010).

Dalšími, již méně statisticky významnými, rizikovými faktory jsou subfertilita, kouření matky v těhotenství, podávání kortikosteroidů postnatálně u předčasně narozených novorozenců k léčbě onemocnění plic a jiné prenatální, perinatální a neonatální faktory značící nepříznivý vývoj dítěte jako např. extrakorporální membránová oxygenace, retinopatie nedonošených dětí ad. (van Hoorn et al., 2021).

Faktory ovlivňující rozvoj DCD mají pravděpodobně nejen enviromentální, ale i genetickou etiologii. Přestože je genetický podklad DCD předmětem vědeckého zájmu již delší dobu, přesné důkazy zatím chybí (Biotteau et al., 2020). Jednou z možných příčin je dle studie Mosca et al. (2016) nadměrné zastoupení variabilních částí DNA (copy number variation, CNV) v genech exprimovaných v nervových buňkách mozku. Jako CNV jsou označovány některé sekvence DNA, které se v lidském genomu vyskytují ve variabilním počtu a za normálních okolností umožňují genetickou různorodost jedinců. Z výsledků také vyplývá, že mohou existovat vzácné CNV společné i pro ostatní neurovývojové poruchy.

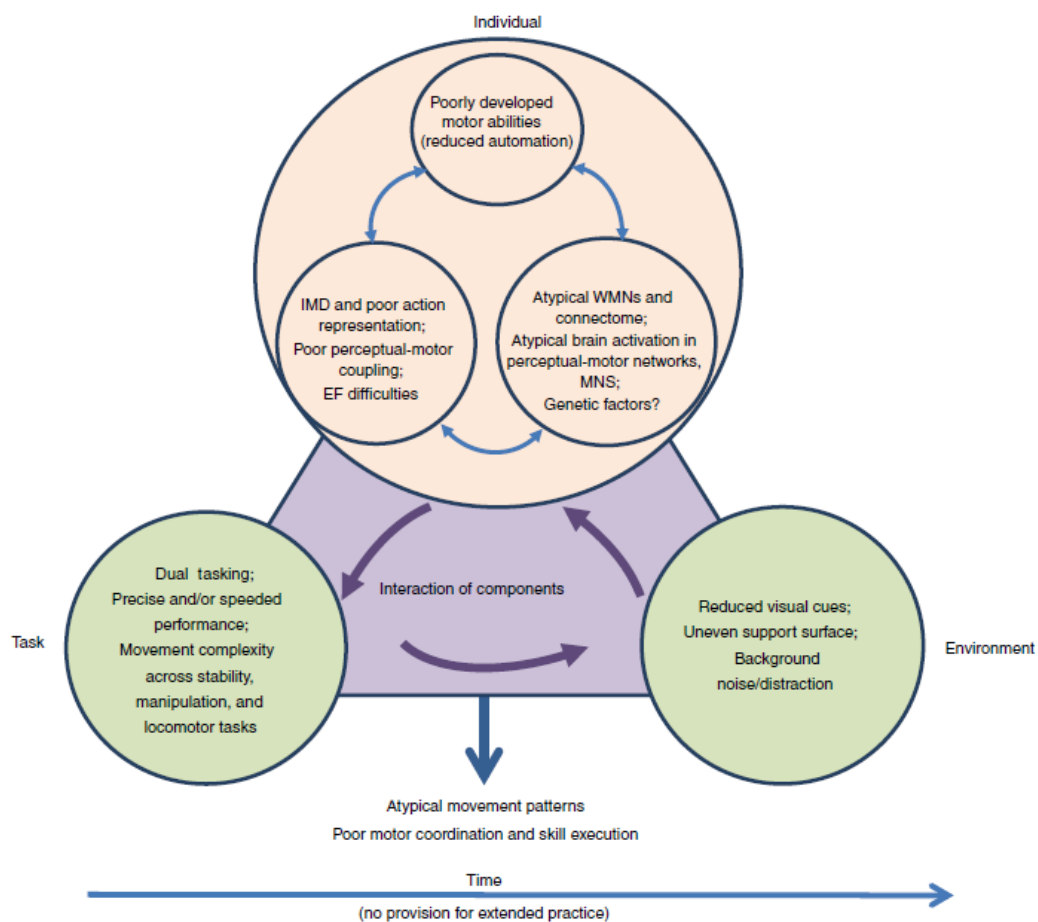
2.1.6 Etiologie

Zlepšená kvalita experimentálních prací zabývajících se DCD v posledních letech umožnila lépe porovnávat výsledky napříč studiemi, což následně vedlo k integraci konstruktů kognitivních neurověd (McNamee & Wolpert, 2019) s teorií ekologických systémů (Adolph, 2020) a vytvoření vícesložkového rámce DCD za účelem lepšího modelování a porozumění různým omezením pohybového chování (Gentsch et al., 2016; P. H. Wilson et al., 2017a). Tento hybridní model

formuluje, že motorická výkonnost je důsledkem interakcí mezi omezeními na úrovni jedince, prostředí a úkolu (viz Obrázek 1; P. H. Wilson et al., 2017b). Vznikající motorická kompetence tedy bude výsledkem individuálních omezení (např. fyzická zralost, genetická výbava, neurokognitivní mechanismy, psychologické charakteristiky), enviromentálních omezení (např. příležitosti k tréninku, tělesná výchova, sociokulturní zázemí) a omezení souvisejících s úkolem (např. pravidla hry, cíle úkolu, použité vybavení). Tento koncept lze podobně aplikovat na vývoj základních motorických kontrolních a učících procesů, který se může v chování projevat různými způsoby v závislosti na úkolu a faktorech prostředí. Například motorická a kognitivní kontrola potřebná k zavázání tkaniček doma vsedě se velmi liší od zavazování tkaniček ve škole v rušné třídě, kde se dítě snaží zároveň sledovat rozhovor vrstevníků (Subara- Zukic et al., 2022).

Obrázek 1

Hybridní model vzniku DCD (Blank et al., 2019)



Ačkoli z výsledků dosavadních studií vyplývá, že v etiologii DCD nehraje roli jediný kauzální faktor, dřívější výzkum identifikoval několik potenciálních faktorů, které zůstávají aktuální

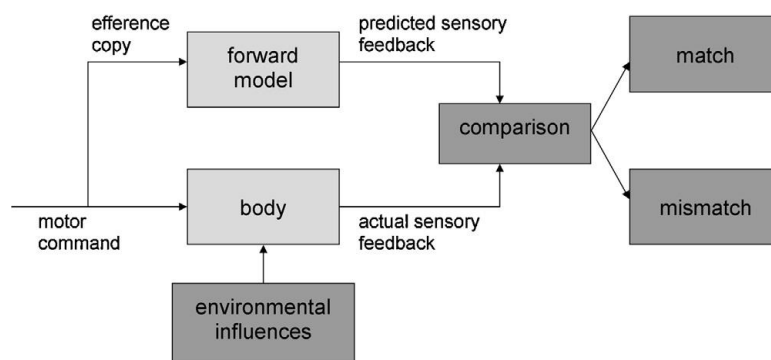
i podle nejnovějších prací (Subara-Zukic et al., 2022). Mezi tyto faktory patří deficity v prediktivní motorické kontrole a automatizaci dovedností (hypotéza deficitu vnitřního modelování; Adams et al., 2014; P. H. Wilson et al., 2017b), atypická struktura a funkce neuronálních sítí podporujících motorické plánování a imitaci, včetně systému zrcadlových neuronů (Biotteau et al., 2016; Brown-Lum & Zwicker, 2015), a opoždění ve vývoji interhemisférické komunikace související s narušenou motorickou inhibicí (Sigmundsson et al., 1999; Tallet et al., 2013).

- **Deficit vnitřního modelování**

Vnitřní modely jsou mechanismy, které simulují vstupní nebo výstupní funkce pohybového systému (Kawato, 1999). Současně s vysláním příkazu k pohybu cestou pyramidové dráhy je kopie tohoto příkazu vedena do parietální kůry a mozečku (Wolpert, 1997). Zde dochází k porovnání predikované a skutečné sensorické zpětné vazby, přičemž somatosenzorické informace jsou zpracovávány v mozečku, zatímco integrace vizuálně-prostorových dat probíhá v parietální korové oblasti (viz Obrázek 2). Pokud spolu prediktivní odhad polohy končetiny a poloha indikovaná aferentní zpětnou vazbou nesouhlasí, dojde k vygenerování chybových signálů za účelem korekce či modulace odvíjejících se motorických výstupních příkazů v reálném čase. Online oprava je nutná v případě, kdy počáteční plán pohybu není přesně specifikován buď proto, že počáteční model byl nesprávný, nebo v důsledku změn vnějšího prostředí (Adams et al., 2014). Schopnost provádět rychlé online korekce koreluje s tím, jak dobře dokáže nervový systém předvídat budoucí polohu pohybujících se končetin prostřednictvím dopředného vnitřního modelování (Desmurget & Grafton, 2003; Jeannerod, 2006; Shadmehr et al., 2010; Wolpert, 1997). Předpokládá se, že funkční smyčka mezi parietální oblastí a mozečkem je fundamentálním základem pro online opravy (Blakemore & Sirigu, 2003; Shadmehr et al., 2010).

Obrázek 2

Model prediktivní motorické kontroly (Adams et al., 2014)



Chybové signály fungují také jako tréninkové podněty pro zpřesňování predikčních modelů – tento iterativní proces je považován za zásadní pro motorické učení (Davidson & Wolpert, 2005). Vnitřní modely jsou konstruovány s cílem poskytnout očekávání somatosenzorické zpětné vazby a zlepšit zpracování aferentních informací. I pomocí pohybu v představě lze vyhodnocovat motorické reprezentace a trénovat prediktivní řízení, neboť modelování průběhu pohybu může probíhat i offline (Grush, 2004).

Vývoj vnitřních modelů bývá specifický pro daný efektorový systém (Kawato, 1999; Wolpert & Miall, 1996), ale je dostatečně flexibilní pro určitou míru zobecnění mezi příbuznými typy pohybu. Například pro okulomotorickou kontrolu byl navržen vnitřní model nacházející se v okruzích mozkového kmene a další pro cílenou manuální činnost. Oddělitelné, ale překrývající se systémy skutečně podporují dopředné modelování očních pohybů, dosahových pohybů, řízení síly stisku a dynamické posturální kontroly (Davidson & Wolpert, 2005). Zároveň se lze naučit více vnitřních modelů, které je možné při opakovaném cvičení adaptivně kombinovat (Ahmed & Wolpert, 2009; Wolpert & Kawato, 1998; Wolpert et al., 1998). Vnitřní modely lze tedy připodobnit ke stavebním kamenům používaným ke konstrukci motorického chování a motorického učení (Wolpert & Kawato, 1998).

Podle hypotézy deficitu vnitřního modelování (internal modeling deficit) mají děti s DCD sníženou schopnost využívat prediktivní motorickou kontrolu, což může být způsobeno opožděním nebo narušením parieto-cerebellární osy (P. H. Wilson & Butson, 2007; P. H. Wilson et al., 2013). Dopady dysfunkce tohoto kontrolního systému odpovídají výkonnostnímu profilu pozorovanému u dětí s DCD, včetně přílišné závislosti na vizuální zpětné vazbě (P. H. Wilson et al., 2013).

- **Systém zrcadlových neuronů**

Systém zrcadlových neuronů (mirror neuron system, MNS) je pravděpodobně hlavní modalitou observačního typu motorického učení, které je založeno na učení se napodobováním druhé osoby (Iacoboni & Dapretto, 2006). MNS se skládá z distribuované sítě multimodálních neuronů nacházejících se v pars opercularis v gyrus frontalis inferior (BA44; Kilner et al., 2009), přilehlé ventrální části premotorické oblasti (BA6; Buccino et al., 2001; Grafton et al., 1996; Rizzolatti et al., 1996) a rostrálně v lobulus parietalis inferior (BA39, 40; Arbib et al., 2000; Caspers et al., 2010; Rizzolatti & Craighero, 2004). Aktivují se při imitaci, v průběhu vykonávání cílené činnosti (např. uchopení předmětu) a také během pozorování podobné cílené činnosti (Rizzolatti et al., 1996), čímž zprostředkovávají spárování percepce a akce (Iacoboni, 2009; Kilner et al., 2007; Miall, 2003). Svou aktivací v reakci na pozorování činnosti druhých (Buccino et al.,

2001; Maeda et al., 2002; Uddin et al., 2005) poskytují pozorovateli přímý senzomotorický kontakt s činností druhých, perspektivu pozorované činnosti, včetně simulace ztělesněných prožitků jiných lidí (Keysers & Gazzola, 2014) jako je vnímání doteku (Keysers et al., 2004) nebo emoce značící se ve výrazu obličeje (Jabbi & Keysers, 2008; Keysers & Gazzola, 2009).

Proces, při kterém observace činnosti může vyvolat aktivaci senzomotorických neuronových sítí jako je MNS, je znám také pod pojmem motorická rezonance (Fogassi et al., 2005; Rizzolatti et al., 2001). Dochází k ní na úrovni jednotlivých motorických úkonů, tj. po sobě jdoucích pohybů (např. natahování, uchopování, otáčení, zvedání), které dohromady tvoří motorickou akci (např. otevírání a pití z láhve; Fogassi et al., 2005). Aby pozorovatel danou činnost správně napodobil, musí provádět motorické úkony ve správném pořadí a s ohledem na požadovaný cíl (např. otočení uzávěrem místo láhve). Předpokládá se, že frontální a parietální oblasti MNS reprezentují motorické úkony a akční cíle (action goals; Fogassi et al., 2005; Hamilton & Grafton, 2008; van Elk et al., 2014) a zrcadlové neurony hrají důležitou roli při propojování dílčích motorických úkonů v akčním řetězci (action chain; Werner et al., 2012).

Prostřednictvím fasciculus arcuatus a paralelních spojek je s okruhem MNS propojena i oblast sulcus temporalis superior (STS; Catani et al., 2005; Iacoboni et al., 1999; Rizzolatti et al., 2001), významná pro kódování cílených a smysluplných činností (Jellema et al., 2000; Perrett et al., 1989). Zde jsou zpracovávány zrakové vstupy během pozorování a napodobování, které jsou poté přenášeny do lobulus parietalis inferior pro specifické kinestetické kódování akce a následně do gyrus frontalis inferior k definování cíle (Arbib et al., 2000; Iacoboni, 2005; Iacoboni et al., 2001; Rizzolatti & Craighero, 2004). Eferentní kopie plánovaného motorického příkazu jsou poslány zpět do STS pro přiřazení plánované k pozorované akci (Iacoboni, 2005). Dohromady tak tyto oblasti vytváří dynamický zpětnovazebný řídicí systém (Schippers & Keysers, 2011).

Zrcadlové neurony jsou aktivní také při pohybu v představě, který lze definovat jako skrytý kognitivní proces imaginace pohybu vlastního těla bez skutečného provedení pohybu (Page et al., 2007). Bývá využíván ve fázi plánování pohybu (Guillot et al., 2010; MacIntyre & Moran, 2010) a napomáhá získávání a rozvoji motorických dovedností (Decety, 1996).

Míra aktivace MNS se liší v závislosti na předchozí motorické zkušenosti a motorické kompetenci (Calvo-Merino et al., 2005; Calvo-Merino et al., 2006), což bylo prokázáno fMRI studiemi porovnávajícími profesionální tanečnický a hudebnický s běžnou populací (Calvo-Merino et al., 2005; Haslinger et al., 2005). Neobjasněnou ale zůstává otázka, zda rozdíly v aktivaci odrážejí motorickou aktivitu, zdatnost a repertoár, nebo je úroveň motorické zdatnosti výsledkem stupně aktivace MNS. Přesto lze usuzovat, že pokud je aktivita MNS jedince vyšší v případě pozorování činností navazujících na část jeho aktuálního motorického repertoáru, děti

s DCD budou vykazovat sníženou aktivaci MNS i s dopady na jejich schopnost imaginace či napodobování pohybů a ve výsledku i možnostech motorického učení (Reynolds et al., 2015).

- **Motorická inhibice**

Další hypotéza vzniku DCD se zabývá možným vlivem deficitu v inhibici motorické odpovědi. Motorická inhibice představuje formu inhibiční reakce týkající se dobrovolného zrušení nebo potlačení nežádoucího pohybu (Coxon et al., 2006). Pro přesný motorický výstup vycházející z motorické korové oblasti M1 je stejně důležitá jako excitační příkazy podporující vybraný pohyb. Může se jednat o inhibici prepotentních, avšak nechtěných motorických reakcí označovanou jako action restraint nebo zrušení předpřipravených či právě probíhajících pohybů, anglicky nazývané action cancellation (Rubia et al., 2001; Schachar et al., 2007).

Intrakortikálně se inhibiční interneurony v kontralaterální oblasti M1 podílejí na supresi aktivity proximálních, pro danou dobrovolnou manuální činnost nevhodných svalů (Byblow & Stinear, 2006; Cowie et al., 2016; Coxon et al., 2006; MacDonald et al., 2014). Před i během unimanuálního úkolu klesá aktivita inhibičního GABA neurotransmiteru pro úkolově relevantní svaly a současně se selektivně zvyšuje pro blízké, úkolově nerelevantní nebo synergické svaly (Capaday, 2004; Liepert et al., 1998; Schneider et al., 2002). Klinický korelát snížení této okolní inhibice (surround inhibition) lze pozorovat při narušení schopnosti vykonávat vysoce přesné manuální činnosti např. u fokální dystonie ruky či Parkinsonovy choroby (Beck et al., 2009; Beck & Hallett, 2011). Regulace intrakortikální inhibice M1 je klíčová nejen pro jemné vyladování komplexních akcí, ale stejný neurofyziologický mechanismus je použit při požadavku na ukončení připravené nebo prepotentní akce (Coxon et al., 2006; Leocani et al., 2000; Sohn et al., 2002).

Úspěšné provedení mnoha unimanuálních i bimanuálních činností (šněrování bot, používání nože a vidličky, tiskání do klávesnice nebo telefonu, psaní ad.) vyžaduje diferenciaci pohybů pravé a levé ruky, nervový systém ale přirozeně vykazuje spontánní tendenci k aktivaci homologních svalů na ipsilaterální končetině během jednostranných pohybů (Beaulé et al., 2012; Swinnen et al., 1991). K zabránění kontralaterální aktivity M1 procházející přes corpus callosum do ipsilaterální M1 a následné nechtěné replikaci kompletní akce nebo její části v ipsilaterální hemisféře je nutná interhemisférická korová inhibice. Její snížení se projevuje zrcadlovými pohyby (Beaulé et al., 2012; Li et al., 2007; Nadkarni & Deshmukh, 2012), u nás častěji nazývanými jako asociované pohyby (Largo et al., 2001).

Účinná a přesná motorická kontrola je tedy podmíněna schopností nervového systému regulovat inhibiční mechanismy kůry M1, od nichž se dále odvíjí i kvalita motorického výkonu

(Berardelli et al., 2008). U jedinců s DCD byly zjištěny behaviorální fenotypy, které jsou typicky spojovány se sníženou intrahemisférickou a interhemisférickou kortikální inhibicí jako jsou již zmiňované zrcadlové pohyby a obtíže při plnění úkolů vyžadujících náhlé zrušení připravených nebo prepotentních pohybů (He et al., 2018; Tallet et al., 2013).

K zobecnitelnosti každé z těchto popsaných hypotéz nicméně existují výhrady. Další komplikací pro současné pojetí DCD je skutečnost, že mnohé z těchto domnělých deficitů se projevují různě v závislosti na individuálních, enviromentálních a zejména úkolových omezeních (Subara-Zukic et al., 2022). Nedostatky motorické kontroly jsou nejvíce patrné u úkolů se současnou kognitivní úlohou a úkolů vyžadujících větší prostorovou a časovou přesnost, pokročilejší plánování nebo u úkolů zatěžujících organismus způsobem, který vyžaduje určitou adaptaci nebo úpravu na percepčně-motorické úrovni k zachování stability (Blank et al., 2019).

Pro správný vývoj motoriky je zásadní propojení motorických a kognitivních funkcí jakými jsou např. exekutivní funkce nebo pozornost (Leisman et al., 2016; Mendoza & Merchant, 2014). Tyto funkce se vyvíjí paralelně a jejich propojení nabývá s přibývajícím věkem na důležitosti pro provedení cílených akcí. Příkladem lze uvést význam frontálních exekutivních systémů v integraci pracovní paměti s alokací zdrojů pozornosti, což je klíčový proces při plnění úkolů se současnou kognitivní úlohou (Braver & Bongiolatti, 2002). Nelze tedy opomenout, že exekutivní funkce jsou u DCD běžně snížené – tento atribut je důvodem diskuze, zda by nemělo být DCD považováno spíše za poruchu motoricko-kognitivních funkcí (Subara-Zukic et al., 2022).

K náročnosti rozlišení patofyziologických motorických nebo kognitivních procesů u DCD přispívá i společný výskyt s dalšími neurovývojovými poruchami, který je spíše pravidlem než výjimkou (Cleaton & Kirby, 2018). Dle Meachon (2023) může být jedním ze způsobů, jak se vypořádat s komplexností a značným překrýváním poruch exekutivních a motorických funkcí, vytvořit diagnostické a terapeutické přístupy nahlížející na DCD symptomaticky na makro úrovni nebo „top-down“ způsobem. Dále navrhuje pro záznam hlavních kategorií symptomů a sekundárních obtíží DCD používat rámec Research Domain Criteria (RDoC; Mittal & Wakschlag, 2017), který zahrnuje screening příznaků v mnoha různých doménách (motorické, kognitivní, emoční, sociální ad.) a již dříve byl úspěšně aplikován na jiné neurovývojové poruchy. Díky tomuto přístupu by bylo možné zachytit podrobnější individuální rozdíly a unikátní adaptace na symptomy DCD (Meachon, 2023).

Závěrem lze říci, že o specifických mechanismech vysvětlujících problémy v oblasti motorické kontroly je známo stále málo a to zejména v kontextu vývoje v závislosti na věku.

Neobjasněnou zůstává také otázka „opožďení vs odchylky ve vývoji“. Vzhledem k vysokému procentu perzistence DCD v dospělosti je nicméně pravděpodobné, že příčina bude pravděpodobně spočívat v něčem jiném než pouhém vývojovém opožďení (Blank et al., 2019).

2.1.7 Diagnostika

Motorické obtíže se obvykle projevují již v raném věku ještě před nástupem dítěte do základní školy, nicméně stanovení diagnózy je v tomto období z více důvodů problematické. Některé děti mohou vykazovat známky opožďeného motorického vývoje, později své vrstevníky ale spontánně doženou. Míra osvojování motorických dovedností potřebných pro běžné denní činnosti (activities of daily living, ADL) je u dětí předškolního věku variabilní (Blank et al., 2019). Také validita testů hodnotících úroveň motoriky může být poznamenána různou ochotou ke spolupráci a motivací takto malých dětí (Darrach et al., 2003). Neposledně bylo vysledováno, že pouze u závažných případů DCD stanovených před dosažením školního věku porucha přetrvávala i po dvou až třech letech od prvotního stanovení diagnózy (Pless et al., 2002). Proto se DCD zvyčejně diagnostikuje po pátém roce života, kdy se motorické problémy stávají více zřetelnějšími (více zvýrazněné i kvůli vzrůstajícím požadavkům na dítě z okolí) a nelze je již přičítat opožďení ve vývoji (Biotteau et al., 2019).

Stanovit diagnózu DCD může ve většině zemí pouze lékař (pediatr nebo dětský neurolog) a to na základě splnění diagnostických kritérií DSM-V (APA, 2013). Diagnostický proces vyžaduje zapojení dalších odborníků a na evaluaci psychomotorického vývoje se tedy dále podílejí ergoterapeuté, fyzioterapeuté či psychologové. Pro určení diagnózy DCD je nutné, aby motorickou dysfunkci nebylo možné vysvětlit neurologickou poruchou či jiným zdravotním stavem ovlivňujícím pohyb, postižením zrakového nebo vestibulárního aparátu anebo středním až těžkým mentálním postižením. U dětí s lehkým mentálním postižením může být stanovena přidružená diagnóza DCD, pokud zjištěné motorické dovednosti neodpovídají kognitivním schopnostem dítěte (Ip et al., 2021).

Základem klinického vyšetření je odebrání podrobné rodinné, osobní a sociální anamnézy. V rámci rodinné anamnézy je zjišťována přítomnost vývojových poruch nebo jiných genetických onemocnění. Důležité jsou informace týkající se závažných úrazů, neurologických chorob, psychických či sensorických poruch vyskytujících se u dítěte (Harris et al., 2015). Rodiče jsou dotazováni ohledně těhotenství, porodu, věku dosažení jednotlivých motorických milníků, pohybových návyků celé rodiny a sociálních kompetencí jejich potomka. Nezbytné jsou i otázky mířené na současnou strukturu rodiny, vztahy mezi jejími členy a socioekonomický status. Do lékařské zprávy by měly být zahrnuty i údaje popisující průběh vzdělávacího procesu včetně

případných dokumentů od příslušných odborníků jakými jsou např. učitelé v mateřských školách, primárním a sekundárním školství či školní psychologové (Kirby et al., 2014).

Komplexní klinické vyšetření sestává dále z neurologického vyšetření, hodnocení celkového zdravotního stavu (např. obezita, malnutrice, hypotyreóza), vyšetření muskuloskeletálního systému (např. hypermobilita, posturální funkce, otok nebo bolest kloubů, svalová síla), funkce smyslových ústrojí a chování spolu s observací pohybového projevu dítěte. Vyšetření kognitivních funkcí je nutné doplnit v případě podezření na jakoukoli poruchu učení (Blank et al., 2019). Součástí vyšetření je posouzení tzv. měkkých a tvrdých neurologických příznaků. Měkké neurologické příznaky jsou nespecifické ukazatele abnormality ve funkcích centrální nervové soustavy (CNS), které nesouvisí s konkrétní oblastí mozku nebo specifickou poruchou (Gurvits et al., 2000). U většiny dětí mizí do 6 let věku, ale u dětí s DCD mohou přetrvávat. Patří mezi ně asociované pohyby (např. pohyby rukou při chůzi po patách nebo po špičkách), zrcadlové pohyby nebo agnozie prstů (např. pohyb očí doprovázející pohyb prstů při nedostatečné proprioceptivní zpětné vazbě; Ip et al., 2021).

Abnormální myotatické reflexy, hypertonus či hypotonus jsou příklady tvrdých neurologických příznaků a jejich nálezy značí patologii centrálního nebo periferního nervového systému. U dětí s DCD může být pozitivní zkouška taxy a diadochokineze, ale další známky mozečkového postižení jako např. cerebellární ataxie by neměly být přítomny (Ip et al., 2021). V rámci diferenciální diagnostiky je nutné rozpoznat DCD od řady neurologických (např. dětská mozková obrna, Friedreichova ataxie, myopatie), muskuloskeletálních a genetických chorob. Nezbytná je také identifikace častých komorbidit DCD (Biotteau et al., 2019).

K objektivizaci motorických deficitů lze využít mnoho standardizovaných testových baterií a škál, z nichž ale jen některé byly navrženy a testovány pro posouzení DCD (Blank et al., 2019). Nejrozšířenějším a nejlépe ověřeným nástrojem pro hodnocení kritérií DCD (Subara-Zukic et al., 2022) je test Movement Assessment Battery for Children – 2nd Edition (MABC-2; Henderson et al., 2007), v České republice publikovaný pod názvem Test motoriky pro děti MABC-2 (Psotta, 2014). Skládá se z osmi úloh, jejichž úroveň je přizpůsobena třem věkovým kategoriím (3-6 let, 7-10 let, 11-16 let), a jeho administrace trvá přibližně 20-50 minut. Hodnocené úlohy spadají do tří oblastí motorické způsobilosti: manuální dovednosti, míření a chytání, rovnováha. Na základě výsledného bodování jsou rozlišovány tři stupně motorického deficitu – žádný, mírný a vážný (Henderson et al., 2007).

Druhým nejpoužívanějším testem (Subara-Zukic et al., 2022) je Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency, Second Edition (BOT-2). Podle výsledků 53 položek obsažených v osmi subtestech jsou posuzovány čtyři kategorie motorických dovedností: jemná motorika, manuální koordinace, koordinace těla, síla a hbitost. Skóre testu jsou normovány pro věkovou kategorii

4 až 21 let. Administrace BOT-2 trvá 40-60 minut, ale pro účely screeningu existuje i zkrácená verze trvající přibližně 20 minut (Bruininks & Bruininks, 2005).

K posouzení pouze hrubě-motorických dovedností lze použít Test of Gross Motor Development – Second Edition (TGMD-2) určený pro děti ve věku 3-10 let, který má sloužit k identifikaci jedinců zaostávajících za svými vrstevníky z hlediska vývoje hrubé motoriky. Je tvořen dvěma subtesty zaměřenými na lokomoční (běh, poskakování, výskok, přeskok, cval, klouzání) a manipulační (míření, chytání, driblování, kopání, házení, koulení) úlohy. Administrace trvá 15-20 minut a na rozdíl Testu MABC-2 a BOT-2 k němu není potřeba žádných speciálních pomůcek (Ulrich, 2000). V současnosti není v České republice k dispozici standardizovaná verze BOT-2 ani TGMD-2.

Obširnější informace o denním fungování jedince v přirozeném prostředí a jeho sebepojetí lze získat pomocí observačních nástrojů pro dospělé a sebesuzovacích dotazníků pro děti. Příkladem lze uvést rodiči často užívaný revidovaný Developmental Coordination Disorder Questionnaire (DCDQ-R; B. N. Wilson et al., 2009) spolu s jeho adaptací pro děti ve věku 3-4 let Little DCDQ (Rihtman et al., 2011), specificky na ADL zaměřený DCDDaily Questionnaire (van der Linde et al., 2013) či Inventář MABC-2 (Henderson et al., 2007) určený zejména pro učitele. Pro hodnocení vlastních motorických schopností slouží např. The Pictorial Scale of Perceived Movement Skill Competence (PMSC; Barnett et al., 2015) nebo Perceived Efficacy and Goal Setting System (PEGS; Missiuna & Pollock, 2000).

2.2 Chůze

2.2.1 Ontogeneze chůze

Vývoj chůze je úzce spjat s vývojem postury, která je základem všech cílených pohybů (Vařeka & Vařeková, 2009). Posturální ontogeneze zahrnuje vývoj lokomoce postupně od starších kvadrupedálních vzorů až do vertikálního bipedálního vzoru chůze (Véle, 2006). Postura uzrává v průběhu zrání CNS, kdy se objevuje přesně definované, cílené pohybové chování. Výsledný pohybový projev dítěte tedy odpovídá vývojovému stáří CNS a lze z něj také rozpoznat, zda vývoj CNS probíhal fyziologicky či patologicky (Kolář et al., 2009).

Na konci třetího měsíce dozrává sagitální stabilizace trupu a je dokončena první opora. V poloze na břiše tvoří opěrnou bázi symfýza a mediální epikondyly humeru obou končetin. Diferenciace končetin na opěrnou a nákročnou se objevuje ve čtyři a půl měsících s prvním zkříženým vzorem vleže na břiše. Mezi šestým a sedmým měsícem dochází k propojení ipsilaterálního a kontralaterálního vzoru při otáčení. První lokomoční tendence vznikají plížením (tuleněním), které se objevuje v sedmi a půl měsících. Pokročilejším druhem lokomoce je

navazující lezení v osmém měsíci. Vertikalizace do stoje se připravuje v osmém a na začátku devátého měsíce nárokem v poloze na čtyřech a ve vzpřímeném kleku. V devíti měsících je dítě schopno chůze ve frontální rovině (podél nábytku). Na ni navazuje samostatný bipedální stoj mezi 10. a 12. měsícem a samostatná bipedální lokomoce mezi 14. a 16. měsícem (Skaličková-Kováčiková, 2017).

Prvních šest měsíců samostatné chůze představuje proces integrace posturálních omezení do požadavků dynamické mobility při chůzi. Po tomto období dochází k vyladování a zpřesňování kinematických parametrů chůze (Bril & Brenière, 1992). Dokud dítě nezíská schopnost stabilizace vertikálního postavení těla na jedné noze alespoň po dobu 2-3 s, bude stabilizaci vzpřímené polohy udržovat hmotností svého těla, která působí jako setrvačnick udržující rovinu pohybu. Děti proto chodí rychle a pokud se chtějí zastavit, zpomalit nebo změnit směr, lehce padají (Véle, 2006).

Ve druhém roce se chůze vyznačuje dopadem paty, flexí kolena ve fázi mezistoje a mechanismem kotník-koleno. Palec není odvíjen konstantně a chůze je energeticky velmi náročná, doprovázená přidruženými kývavými pohyby horních končetin. Děti do tří let vykazují nestejnou délku kroku, větší flexi v kolenním i kyčelním kloubu spolu s větší abdukci a zevní rotací v kyčelním kloubu při švihové fázi. Iniciální kontakt se děje došlapem na celou plošku, dochází k hyperextenzi kolenního kloubu a váha je přenášena v pronované poloze chodidla. Děti v tomto věku chodí o opěrné bázi širší než trup a nedostatečně naklápějí a rotují pánev (Kolář et al., 2009).

S přibývajícím věkem se chůze dětí začíná více přibližovat chůzi dospělých. U tříletých dětí je kontrola svalů pánevního pletence zvýšena a zlepšena je také rovnováha během stoje a kroku. Délka, šířka a výška kroku jsou rovnoměrné a dítě odvíjí palec od podložky. Chůze je nicméně nadále energeticky náročnější, přičemž tyto zvýšené nároky přetrvávají až do 12 let (Kolář et al., 2009). Ve věku 3-4 let jsou kinematické parametry téměř totožné s parametry chůze dospělých (Perry & Burnfield, 2010), zrání chůze však pokračuje dále. Ohledně přesného věku ukončení vývoje chůze nepanuje shoda. Některé práce uvádí věk mezi 5 až 7 lety, což by znamenalo, že změny po tomto věku jsou pravděpodobně ovlivněny změnami výšky a ne věkem. Jiní autoři uvádí, že věk dozrání chůze je vyšší než 8 let, případně, že vzorec chůze se vyvíjí až do dospělosti (Bisi & Stagni, 2016). Po dosažení zralosti zůstává chůze během dospělosti stabilní, k různým změnám parametrů chůze v pozdějším věku dochází vlivem stárnutí nebo rozličných patologií (Runge & Hunger, 2006).

2.2.2 Poruchy chůze u jedinců s DCD

Chůze je základní dovedností integrovanou do mnoha všedních denních činností. Vzhledem ke složitosti koordinovaných pohybů potřebných pro její efektivní provedení je nasnadě, že jedincům s DCD může činit potíže (Gentle et al., 2016). Neodborně bývá chůze dětí s DCD popisována jako neobratná s častým klopýtáním a narážením do předmětů (Farmer et al., 2016; Zwicker et al., 2012). Vědeckými pracovníky a terapeuty bylo vyzorováno, že vzorec chůze dětí s DCD je odlišný od dětí s typickým vývojem (Gillberg & Kadesjö, 2003). Výsledky dostupných studií zabývajících se touto problematikou jsou smíšené.

Ve starších studiích zkoumajících časoprostorové charakteristiky nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl mezi dětmi s DCD a TD dětmi (Deconinck et al., 2010; Cherng et al., 2009). Kratší délka kroku a vyšší kadence ve srovnání s vrstevníky byly zaznamenány u dětí s DCD při chůzi na běžícím pásu (Deconinck et al., 2006). Tento rozdíl je nicméně považován spíše za artefakt zvolené metody než za stereotyp chůze po rovném povrchu typický pro děti s DCD, neboť při chůzi na běžícím pásu je probandům vnucována určitá konstantní a pravděpodobně umělá rychlost chůze (Wilmot et al., 2017). V kontrastu s výsledky předchozích výzkumů byla ve studii Wilmot et al. (2016) u dětí s DCD při chůzi po rovině pozorována větší šířka kroku, což by dle autorů mohlo značit potřebu větší opěrné báze z důvodu narušené kontroly dynamické rovnováhy. V této studii byla zohledněna také variabilita časoprostorových charakteristik stanovením směrodatné odchylky a dle výsledků děti s DCD vykazovaly vyšší variabilitu trvání dvojité fáze opory a trvání dvojkroku. Vyšší variabilitu časoprostorových parametrů lze považovat za znak nezralosti biomechanických a nervových struktur řídících lokomoci, jak bylo demonstrováno ve studii zaměřené na TD děti, kdy byla variabilita vyšší u mladších dětí ve srovnání se staršími. Déletrvající proces maturace složek podílejících se na řízení lokomoce by mohl vysvětlovat nález nezralého vzorce chůze u dětí s DCD (Wilmot et al., 2016).

U dospělých s DCD nebyl během chůze po rovině zjištěn žádný statisticky významný rozdíl v časoprostorových charakteristikách v porovnání s TD dospělými, avšak na rozdíl od dětí s DCD vykazovali dospělí s DCD vyšší variabilitu normovaných hodnot čtyř parametrů – délky kroku, šířky kroku, trvání dvojité fáze opory a trvání dvojkroku (Du et al., 2015). Ke zvýraznění rozdílu mezi jedinci s DCD a bez něj dojde pravděpodobně až poté, co se sníží variabilita u typické populace, resp. vyšší variabilita pozorovaná u TD dětí ve srovnání s dospělými přestane maskovat rozsah dopadu DCD na vzorec chůze (Wilmot et al., 2016).

Z hlediska pohybu těžiště (center of mass, COM) vykazovaly děti s DCD vyšší rychlost a zrychlení v mediolaterálním (ML) směru spolu s vyšší variabilitou zrychlení v ML směru (Wilmot

et al., 2016). U dospělých s DCD byly nalezeny změny pouze ve variabilitě a to její vyšší hodnoty v anteroposteriorním (AP) a vertikálním směru rychlosti pohybu COM a ve vertikálním směru zrychlení pohybu COM (Du et al., 2015). Charakter variability pohybu u dospělých s DCD není totožný se změnami popsanými u stárnoucí populace, kdy s přibývajícím věkem dochází k nárůstu rychlosti i zrychlení v ML směru pohybu trupu a zvýšení variability zrychlení pohybu COM v ML směru (Marigold & Patla, 2008; Woledge et al., 2005).

Z výše uvedeného vyplývají určité paralely mezi problémy s rovnováhou u dětí s DCD a stárnoucí populací. Zároveň lze vyvodit, že mechanismus vzniku potíží s kontrolou pohybů v jednotlivých směrech při chůzi je odlišný. Podle jedné z hypotéz o řízení lokomoce (O'Connor & Kuo, 2009) by vyvolávající příčinou vyšší variability pohybu v AP směru u dospělých s DCD mohla být porucha řízení na úrovni spinální míchy (Du et al., 2015), zatímco deficit v integraci senzorických informací by vysvětloval zvýšenou variabilitu zrychlení COM v ML směru u dětí s DCD. Při srovnání mladších a starších dětí s DCD s jejich vrstevníky je v pozdějším věku patrná tendence ke snižování rozdílu ve variabilitě zrychlení pohybu COM v ML směru až k jeho úplnému vymizení. To naznačuje, že neschopnost efektivně využívat senzorickou zpětnou vazbu ke kontrole pohybu COM v tomto směru u malých dětí s DCD je pravděpodobně důsledkem opoždění ve vyžívání příslušných řídicích složek. Zvýšení variability rychlosti pohybu COM v AP směru u dospělých s DCD lze vysvětlit dvěma způsoby. Buď nedojde z důvodu abnormálního vývoje u dospělých s DCD k jinak fyziologickému zlepšení kontroly pohybu v AP směru v dospělém věku, nebo některý aspekt vývoje dospělých s DCD vede ke ztrátě řízení v tomto směru (Wilmot et al., 2016).

Jedním z faktorů, který může vést ke zvýšené variabilitě chůzového cyklu, může být asymetrie neboli rozdíl v časoprostorových charakteristikách pravé a levé dolní končetiny (DK) při chůzi. Wilmot et al. (2017) zjistili větší asymetrii délky kroku a trvání kroku u dětí a dospělých s DCD ve srovnání s jejich TD kontrolami. Asymetrie se u jedinců s DCD s přibývajícím věkem snižuje stejně jako u jejich typických protějšků, což je v souladu s ostatními studiemi demonstrujícími zlepšení v některých parametrech chůze vlivem věku. I přesto ji lze u některých jedinců s DCD pozorovat i v dospělosti. Výsledky této studie dále prokazují příčinnou souvislost mezi asymetrií a variabilitou.

Cílem studie Ito et al. (2021) bylo zhodnotit symetrii chůze u dětí školního věku (6-12 let) se znaky DCD prostřednictvím Gait Deviation Index (GDI). GDI je bezrozměrný parametr vyjádřený jediným skórem pro individuální odchylku chůze od normativní referenční skupiny, jehož cílem je poskytnout snadno interpretovatelnou a klinicky významnou metriku celkové kvality chůze. Vypočítává se na základě 15 charakteristik chůze získaných z 3D kinematické analýzy krokového cyklu (Schwartz & Rozumalski, 2008). Ito et al. (2021) uvádí, že děti ve skupině

se znaky DCD měly významně nižší skóre GDI (tj. kvalitu chůze) a vyšší poměr symetrie GDI než TD děti. Hodnota 100 % u poměru symetrie GDI značí dokonalou symetrii mezi dolními končetinami (DKK), což znamená, že poměr symetrie GDI je vždy vyšší než 100 % a s rostoucím poměrem se zvyšuje asymetrie. Nutno zdůraznit, že tato zjištění mohou být ovlivněna odlišnou metodikou, kdy bylo k posouzení přítomnosti znaků DCD u dětí použito japonské verze dotazníku DCDQ-J.

Předpokládá se, že stereotypní rytmický vzorec lokomoce je řízen spinální interneuronální sítí central pattern generators (CPG), přičemž levé a pravé DK jsou přiřazeny autonomní okruhy CPG, které ale navzájem interagují (Minassian et al., 2017). Výsledná aktivita je modulována vstupy z eferentních i aferentních drah s propriocepcí jako rozhodujícím faktorem zvyšování symetrie chůze v raném dětství ve smyslu lepšího využívání proprioceptivní zpětné vazby (Bosch & Rosenbaum, 2010). Symetrie může být kromě propriocepce ovlivňována také posturální kontrolou a rozsahem pohybu kloubů. Na základě těchto poznatků lze tedy usuzovat, že vyšší variabilita v časoprostorových parametrech chůze u jedinců s DCD je částečně zapříčiněna nízkou úrovní interakce mezi jednotlivými okruhy CPG při generaci rytmické aktivity DKK a nikoli pouze obecným deficitem v řízení motoriky (Wilmot et al., 2017).

Podle autorů studie Gentle et al. (2016) lze tvrdit, že při chůzi v laboratorním prostředí (tj. po rovných, přehledných drahách) bude hlavním zdrojem aferentních informací zrak. V přirozeném prostředí skýtajícím kontakt s různými terény a v návaznosti na to zvýšenými nároky na udržení dynamické stability bude na důležitosti nabývat integrace vstupů ze všech sensorických systémů. Zatímco mladí dospělí při chůzi po nerovném terénu nemění nebo dokonce zvyšují rychlost chůze, starší dospělí reagují na nerovný terén snížením rychlosti a zkrácením délky kroku (Marigold & Patla, 2008). Gentle et al. (2016) si tedy kladli otázku, jak bude probíhat adaptace na nerovný povrch u populace, pro kterou je i za normálních okolností integrace smyslových informací obtížná. Zjistili, že změny vzorce chůze byly výraznější u jedinců s DCD oproti TD skupině a spočívaly ve zkrácení délky kroku, zvětšení šířky kroku, snížení rychlosti chůze a sklonění hlavy k zemi. Zvolená strategie je podobná té u starších TD dospělých, přičemž těmto jedincům umožňuje udržet propulzi při chůzi a zároveň snížit riziko pádu zvýšením opěrné báze.

Při srovnání výsledků probandů s DCD v závislosti na věku děti vykazovaly nižší rychlost než dospívající a větší předklon trupu než dospělí. Nižší rychlost chůze může dětem poskytovat dodatečný čas na zpracování komplexních informací a kompenzovat tím nezralost procesů nutných pro efektivní řízení motoriky za složitějších podmínek. V kontrastu nálezu celkově markantnějších změn v parametrech chůzového cyklu u jedinců s DCD nebyl v kategorii dospívajících pozorován žádný rozdíl v šířce kroku mezi oběma skupinami. U TD dospívajících byl

dokonce zjištěn větší procentuální nárůst poměru šířky kroku ve srovnání s TD dětmi a dospělými (Gentle et al., 2016). Fenomén růstového spurtu by mohl přinést vysvětlení těchto výsledků, neboť podle Beunen & Malina (1988) je rychlost vývoje během růstového spurtu dospívajících nepřímou úměrnou kvalitě motorického výkonu před tímto spurtem. Visser et al. (1998) shodně referují o negativním vlivu růstového spurtu na motorické dovednosti v období dospívání, kdy byl tento vliv více patrný u TD dospívajících než u skupiny s DCD, u nichž se motorické kompetence ve skutečnosti zlepšily.

Předklon hlavy lze dle Gentle et al. (2016) považovat za zástupný ukazatel pohledu očí a větší předklon interpretovat jako potřebu více využívat vizuální vstupy při orientaci v měnícím se prostředí. Pohled očí zkoumali také Warlop et al. (2020) za pomoci brýlí pro sledování očních pohybů na souboru mladých dospělých s DCD, jejichž úkolem bylo chodit po 12 nepravidelně rozmístěných čtvercových plastových deskách označovaných jako „kameny“.

Alokace pohledu do míst obsahujících náležitě informace je zajištěna řadou funkcí a vzorců očních pohybů, které jsou zřejmě specifické pro daný úkol (Foulsham, 2015). Přesně vyladěné časové párování mezi cílenými pohyby očí a motorickou akcí usnadňuje plynulou souhru pohybů. Při chůzi v nepřehledném prostředí je pohled směřován do vzdáleného prostoru, podél budoucí dráhy a na stěžejní oblasti, které mohou snížit nejistotu související s prostředím nebo trasou (Higuchi, 2013; Jovancevic-Misic & Hayhoe, 2009; Patla & Vickers, 2003). V takových situacích jsou zrakové informace využívány dopředným způsobem k předvídání dráhy (Matthis & Fajen, 2014). V případě nerovného terénu nebo při požadavku přesného umístění chodidla na určité terče se však strategie přizpůsobí a každý terč je před došlápnutím fixován pohledem (Domínguez-Zamora et al., 2018; Hollands & Marple-Horvat, 2001). Předpokládá se, že popsaná změna v zaměření pohledu reflektuje posun od anticipační k online kontrole umožňující rychlé přizpůsobení a korekci probíhající činnosti. Tato zjištění prokazují význam úzké spolupráce mezi okohybným a pohybovým systémem pro řízení chůze (Warlop et al., 2020).

Bylo zjištěno, že mladí dospělí s DCD pohledem fixovali téměř každý nášlapný kámen, k němuž byl učiněn krok, a průměrná doba fixace byla u této skupiny delší. Na druhou stranu TD mladí dospělí nefixovali výlučně pouze kameny, ale sledovali i okolí těchto terčů a svůj pohled směřovali dále podél dráhy. Z toho vyplývá, že mladí dospělí s DCD potřebují více času na extrakci relevantních informací z terčů, na které měli umístit chodidla. Zacílení pohledu na blízká místa vypovídá o zvýšené závislosti na vizuálních vstupech pro optimální plánování a řízení pohybu. Souhrnně lze říci, že strategie alokace pohledu pozorovaná u mladých dospělých s DCD odráží narušenou vizuomotorickou kontrolu a zvýšené spoléhání se na online vizuální zpětnou vazbu (Warlop et al., 2020).

Parr et al. (2020) se snažili určit, zda lze i obtíže, které děti s DCD vykazují při pohybu po schodech, přičíst poruchám vizuomotorické kontroly a zpracování vizuálních informací. Přesné umístění nohou při chůzi po schodech je také závislé na zaměření pohledu tak, aby bylo možné ve vhodnou chvíli rozpoznat relevantní prvky prostředí. Mladší i starší TD dospělí používají při chůzi po schodech dopředný způsob kontroly pohybu, kdy se dívají do vzdálenosti odpovídající zhruba třem krokům a tím kontrolují své chování přibližně jeden až dva kroky dopředu (Miyasike-Dasilva et al., 2011; Zietz & Hollands, 2009). Tento proces je důležitý zejména na začátku výstupu či sestupu ze schodů, neboť v případech, kdy jedinec nefixoval pohledem tyto počáteční kroky, byl prokázán častější výskyt pádů (Archea et al., 1979).

Dalšími faktory, které mohou negativně ovlivňovat kvalitu vizuomotorické kontroly a tím přispívat k obtížím při chůzi po schodech u dětí s DCD, jsou úzkost a strach z pádu (Parr et al., 2020). Příkladem lze uvést situaci, kdy jedinci čelí řadě překážek. Úzkost spojená se strachem z pádu způsobí, že jedinci upřednostní fixaci pohledem nejbližší překážky na úkor výhodnějšího zhodnocení celé dráhy před započítáním pohybu (Ellmers & Young, 2019). Úzkostní jedinci mohou v důsledku toho formulovat nepřesné krokové sekvence a následně být vystaveni zvýšenému riziku pádu. Maladaptivní účinky těchto emocí se pravděpodobně také projeví odvedením kognitivních zdrojů k vědomé kontrole probíhajícího pohybu místo jejich využití k provádění souběžných procesů nezbytných pro bezpečnou lokomoci jako je např. dopředné plánování pohybu (Gage et al., 2003; Young & Mark Williams, 2015).

Při chůzi do schodů i ze schodů vykazovaly děti s DCD nižší rychlost chůze, vyšší variabilitu v trvání kroku i celkové doby chůze spolu s vyšší variabilitou ve vertikální vzdálenosti palce, resp. paty, od schodu a v porovnání s TD dětmi častěji používaly zábradlí. Rozdíl ve strategii alokace pohledu a míře úzkosti mezi oběma skupinami byl zjištěn pouze u chůze ze schodů, kdy se děti s DCD během počáteční fáze sestupu dívaly významně dále podél schodiště (Parr et al., 2020). Tím může být usnadněno získávání relevantních zrakových informací a periferní sledování DKK a schodů (Zietz & Hollands, 2009). Udržování pohledu dále podél dráhy avšak zřejmě znamená i větší závislost na internalizované reprezentaci rozměrů schodů a využití prediktivní kontroly, přičemž ale vytváření a realizace prediktivních modelů činností činí dětem s DCD potíže (Adams et al., 2014). Tento nesoulad může vyústit v pozorovanou zvýšenou variabilitu vzdálenosti paty od schodu a zvýšení rizika pádu (Parr et al., 2020).

Pomalejší rychlost chůze v kombinaci s častějším používáním zábradlí může představovat kompenzační mechanismus (Menz et al., 2004), díky kterému byly děti s DCD schopné udržet dynamickou stabilitu při chůzi do schodů. I přesto u nich byla zaznamenána vyšší variabilita vzdálenosti palce od schodu, která může přispívat k pádům ze schodů tím, že zvyšuje pravděpodobnost náhodného kontaktu s hranou schodu (Hamel et al., 2005). Ze studie dále

vyplývá, že děti s DCD během výstupu po schodech udržují svůj pohled o několik kroků dopředu podobně jako TD děti. Zvolení této strategie se nicméně jeví jako nevhodné, neboť pro její úspěšné použití je zapotřebí intaktních procesů prediktivní kontroly pohybu a jak bylo již dříve zmíněno, právě s tímto typem mají děti s DCD problémy (Adams et al., 2014). Ve výsledku to může vést k nepřesnému našlapování na schody a zvýšení rizika pádu (Parr et al., 2020).

Chůze ze schodů klade větší nároky na udržení dynamické stability a přináší větší riziko zranění v případě pádu (Mian et al., 2007). Problémy s řízením balance proto mohou u dětí s DCD zvyšovat strach z pádu při chůzi ze schodů navzdory použití stejného kompenzačního mechanismu jako při chůzi do schodů. Pocit úzkosti při chůzi ze schodů může značit nadměrnou koncentraci pozornosti (hypervigilanci) upřenou na vzdálené prvky prostředí, které jsou vnímány jako hrozba pro zachování rovnováhy (Young & Mark Williams, 2015). Vzhledem k obecně vyšší frekvenci pádů v souvislosti s chůzí po schodech u dětí s DCD může být úzkost při chůzi ze schodů také důsledkem přetrvávajících obav způsobených předchozími negativními zkušenostmi (Parr et al., 2020).

2.2.3 Chůze přes překážku

Chůze přes překážku je forma adaptivní lokomoce, která jasně demonstruje význam integrace percepce a akce. Pro úspěšné překonání překážky je nutné příhodné plánování pohybu včetně správného umístění nohou, délky kroku a rychlosti chůze (Austin et al., 1999). K tomu jsou vyžadovány kognitivní vstupy vyšší úrovně a zpětná vazba prostřednictvím zrakového, somatosenzorického a vestibulárního systému (Patla et al., 1991). Převážně je však chůze přes překážku řízena zrakovým systémem, který umožňuje identifikaci vlastností prostředí a plánování případných změn ve vzorci chůze (Mohagheghi et al., 2004; Patla & Greig, 2006). Nároky na plánování a řízení jsou tedy při navigaci chůze přes překážku vyšší než při chůzi po rovině, která je více automatizovanou činností. Neschopnost zpracovat a zahrnout relevantní informace o prostředí do pohybového plánu může vést k zakopnutí o překážku nebo pádu (Maidan et al., 2018).

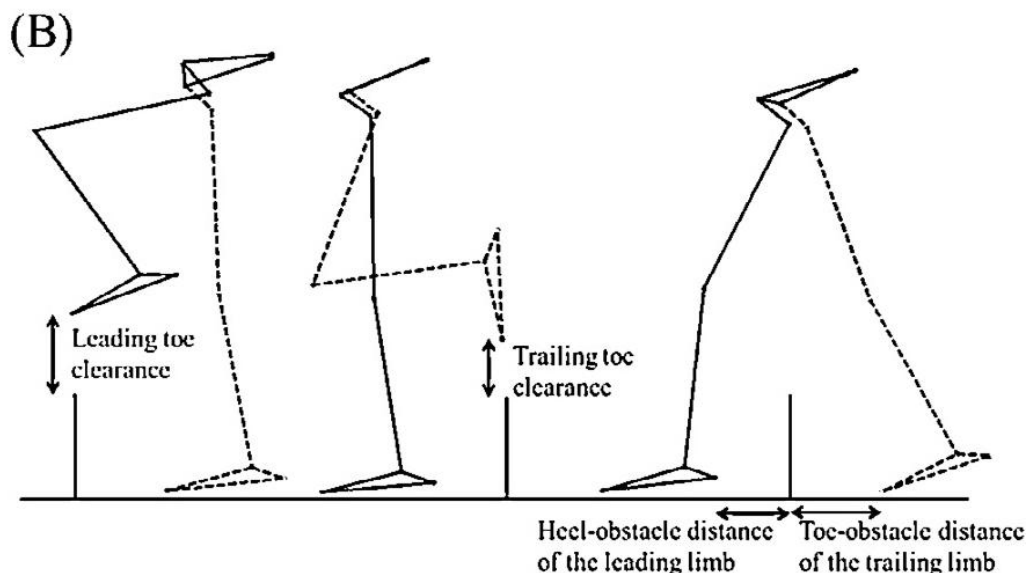
Překonání překážky má tři fáze – přiblížení se k překážce, překročení překážky a došlápnutí za překážkou (Chen et al., 1991). O strategii přechodu přes překážku je prostřednictvím anticipačního řízení pohybu rozhodnuto na základě dostupných zrakových informací v průměru dva kroky před překročením překážky. Trvání dvou kroků odpovídá přibližně 200-300 ms, což je doba dostačující k získání informací o poloze překážky vzhledem k aktuální poloze končetin a trupu a k naprogramování příslušných změn v následné délce a šířce kroku, elevaci DK nad překážku či upravení směru pohybu tak, aby bylo překročení překážky bezpečné a úspěšné

(Patla & Vickers, 2003). Překážka je pohledem fixována ve vzdálenosti dvou a jednoho kroku před ní, při samotném kroku přes překážku již ne. Fixace překážky pohledem je tedy soustředěna do fáze přibližování se překážce, přičemž překážka není fixována nepřetržitě, ale spíše je vizuálně vzorkována. To jasně ilustruje, že informace o prostředí jsou pro řízení lokomoce využívány v dopředném módu (Patla & Vickers, 1997).

Jedinec překračuje překážku nejprve jednou DK (vedoucí) a poté druhou DK (následná; viz Obrázek 3). Pro úspěšné provedení této krokové sekvence je zapotřebí správných lokomočních reakcí, které optimalizují trajektorie vedoucí a následné DK tak, aby nedošlo k zakopnutí o překážku (Novak & Deshpande, 2014). Nedostatečné zvednutí chodidla při neúmyslném kontaktu s překážkou může být přímým důsledkem nastavení nevhodných kloubních úhlů v době přechodu nebo nepřímým důsledkem nevhodného umístění chodidla před přechodem překážky. Pokud je chodidlo následné DK umístěno příliš blízko překážky, zvyšuje se pravděpodobnost kontaktu překážky s palcem následné DK z důvodu nedostatečného času a prostoru pro adekvátní flexi následné DK při překročení (Heijnen et al., 2012; Chou & Draganich, 1998a; Patla & Greig, 2006). Pokud je chodidlo vedoucí DK umístěno příliš daleko od překážky, zvyšuje se pravděpodobnost kontaktu překážky s patou vedoucí DK (Heijnen et al., 2012; Chen et al., 1991; Muir et al., 2015).

Obrázek 3

Schéma chůze přes překážku (Chen et al., 2016)



Bylo prokázáno, že tvar trajektorie vedoucí DK se při přechodu přes překážku značně liší od trajektorie následné DK (Park & Lee, 2012). Pro objasnění tohoto rozdílu byly navrženy dvě

hypotézy. Podle hypotézy „před-programování zraku“ (vision pre-programming; Weerdesteyn et al., 2004) je o trajektorii následné DK nutné rozhodnout na základě anticipačního chování, neboť zrakové informace jsou dostupné pouze při pohybu vedoucí DK. O strategii přechodu přes překážku následnou DK je tedy s využitím zrakových vstupů rozhodováno, když je jedinec vzdálen od překážky dva kroky (Patla & Vickers, 2003). Druhá hypotéza „přenosu informací mezi dolními končetinami“ (transfer information between legs; van Hedel et al., 2002) tvrdí, že poté, co vedoucí noha překročí přes překážku, dojde somatosenzorickými dráhami k předání informací o velikosti a výšce překážky následné DK.

Adaptivní lokomoční chování se v průběhu života mění (Rapos & Cinelli, 2020). Překročení překážky může být u TD dětí prováděno již kolem začátku samostatné chůze, ačkoli batolata obvykle potřebují k udržení stability oporu o ruce (Dominici et al., 2010). Anticipační kontrola se stále vyvíjí i po šestém roce (Corporaal et al., 2016; Hirschfeld & Forssberg, 1992), strategie překonávání překážek u TD dětí je tedy rozdílná oproti mladším TD dospělým. Při překračování překážky o výšce 15 % délky DK vykazují TD děti sice podobný lokomoční vzor jako TD dospělí, ale nezralé anticipační zapojení svalů, kdy postrádají např. výbušnou aktivaci antagonistických extenzorů kolenního kloubu při odrazu palce (McFadyen et al., 2001). V případě překážky vysoké 20 cm, což představovalo $28,6 \pm 1,8$ % délky DK, byla u TD dětí pozorována větší vertikální vzdálenost mezi palcem a nejbližší hranou překážky spolu s větší horizontální vzdáleností palce od hrany překážky v okamžiku, kdy palec dosáhl své max. výšky (horizontal toe displacement at apex, HDA). To značí, že TD děti začnou pokládat chodidlo na zem, až když se jejich chodidlo dostane dále za překážku než u TD dospělých. Větší HDA snižuje pravděpodobnost kontaktu chodidla s překážkou a zároveň poskytuje delší čas k využití vizuálních informací k převedení vedoucí DK přes překážku. Nález většího HDA u TD dětí je obzvláště významný, protože děti mají menší chodidla než dospělí, takže logicky byly u dětí očekávány menší hodnoty HDA (Berard & Vallis, 2006).

Zvyšující se obtížnost úkolu jako je chůze přes dvě překážky nebo překonání překážky při současném plnění kognitivního úkolu dále ovlivňuje strategii motorické kontroly u TD dětí (Berard & Vallis, 2006; Boonyong et al., 2012; Vallis & McFadyen, 2005). V případě dvou překážek TD děti plánují přechod každé překážky zvlášť na rozdíl od mladých dospělých, kteří plánují překročení obou překážek před přechodem první překážky (Krell & Patla, 2002). Obecně platí, že k zabránění pádu při překonávání překážky volí TD děti opatrnější strategii, včetně kratších kroků a nižší rychlosti chůze, než TD dospělí (Berard & Vallis, 2006; Boonyong et al., 2012; Vallis & McFadyen, 2005).

Postupný útlum kognitivních funkcí je pravděpodobně hlavní příčinou poklesu výkonnosti při překonávání překážek ve stáří (Allali et al., 2008; Brown et al., 2005). Roli zde hraje také

snížení svalové síly, což výrazně ovlivňuje odraz (Pijnappels et al., 2008). Ve snaze udržet bezpečnou vertikální vzdálenost mezi švihovou DK a překážkou starší TD dospělí vykazují výrazné zvýšení elevace švihové DK nad překážkou v porovnání s mladšími TD dospělými (Chen et al., 1991; Lowrey et al., 2007; Patla et al., 1991; Shin et al., 2015). Volba konzervativnější strategie se projevuje také kratší délkou kroku, změnou horizontální vzdálenosti mezi odrazem palce a překážkou a po překonání překážky kratší horizontální vzdáleností mezi dopadem paty a překážkou (Chen et al., 1991; Chou & Draganich, 1998b; Lowrey et al., 2007; Patla et al., 1991). Nižší rychlost chůze zapříčiněná kratší délkou kroků spolu s menší flexí kolenního kloubu a větší dorzální flexí hlezenního kloubu při dopadu paty vedoucí DK po překročení překážky a větší flexí v kyčelním kloubu při přechodu překážky zajišťuje minimální požadavky na hybnost trupu k udržení stability horní poloviny těla při překračování překážky (Galna et al., 2009; Kovacs, 2005; van Dieën et al., 2005). Zvednutí DK dostatečně vysoko nad překážku je zároveň napomáháno velkou rotací v kyčelních kloubech (McFadyen & Prince, 2002; Patla et al., 1991; Shin et al., 2015).

Překonávání překážek je komplexní motorický úkol vyžadující přesnou kontrolu pohybu švihové DK při zachování rovnováhy těla prostřednictvím vysoce koordinovaných pohybů v kloubech stojné a švihové DK (Chen & Lu, 2006; Lu et al., 2006). Poloha COM musí být udržována v rámci úzké opěrné báze vymezené kontaktem stojné DK s podložkou, zatímco švihová DK překračuje překážku (Novak & Deshpande, 2014). Hodnoty vertikální vzdálenosti palce od překážky, max. flexe v kyčelním kloubu během střední švihové fáze, max. dorzální flexe v hlezenním kloubu v pozdější švihové fázi a max. plantární flexe v hlezenním kloubu v pozdějším období stojné fáze se významně liší mezi vedoucí a následnou DK (Park & Lee, 2012), což klade rozdílné nároky na řízení DKK (Kuo et al., 2017). Procesy související se stářím nevedou ke změnám vzorců mezikloubní koordinace, přispívají nicméně ke zvýšené variabilitě mezikloubní koordinace švihové i stojné končetiny při přechodu vedoucí DK, což může být spjato s větší vertikální vzdáleností palce od překážky. Zvýšená variabilita mezikloubní koordinace stojné DK navíc ztěžuje kontrolu pohybu COM v sagitální rovině při překračování překážky. Překročení následnou DK nepředstavuje již tak obtížný úkol a nevede ke zvýšení variability mezikloubní koordinace (Yen et al., 2009).

2.2.4 Dynamická analýza chůze

Dynamická analýza využívá k hodnocení chůze měření síly a parametrů od síly odvozených. Působící síla odpovídající velikosti a směru je základní podmínkou provedení

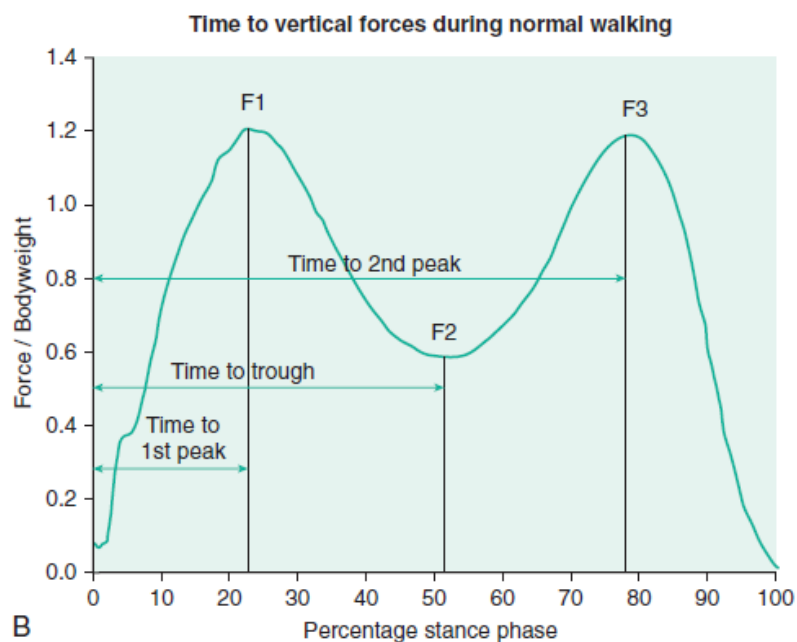
pohybu, zároveň je příčinou zatížení a v některých případech také zranění pohybového aparátu (Neumannová et al, 2015).

Aktivita svalů při chůzi vytváří určitou sílu, kterou působí dolní končetina na povrch. Podle třetího Newtonova zákona působí na lidské tělo stejně velká, opačně orientovaná reakční síla podložky (ground reaction force, GRF; Richards, 2018). Výsledný vektor GRF se skládá ze tří navzájem kolmých základních složek – vertikální, anteroposteriorní a mediolaterální. Dalšími parametry určujícími vektor GRF jsou tři souřadnice (x, y, z) vymezující počátek vektoru GRF a tři na sebe kolmé momenty síly (M_x , M_y , M_z ; Whittle, 2007).

Vertikální složka GRF (vGRF) dosahuje v průběhu stojné fáze dvou maxim. První se nachází kolem 20 % celkové doby trvání stojné fáze a souvisí s přenosem zatížení na předonoží ve fázi postupného zatěžování (loading response, LR). Druhé maximum nastává kolem 80 % celkové doby trvání stojné fáze a týká se propulze směrem nahoru během fáze konečného stoje (terminal stance, TSt). Obě maxima dosahují velikosti kolem 120 % tíhové síly měřené osoby. Při mezistoji (midstance, MSt) klesá velikost vGRF na přibližně 70 % tíhové síly (viz Obrázek 4). Toto minimum nastává, když je celé chodidlo v kontaktu s podložkou, a odpovídá zhruba momentu přechodu anteroposteriorní složky GRF (apGRF) ze záporných do kladných hodnot (Richards, 2018).

Obrázek 4

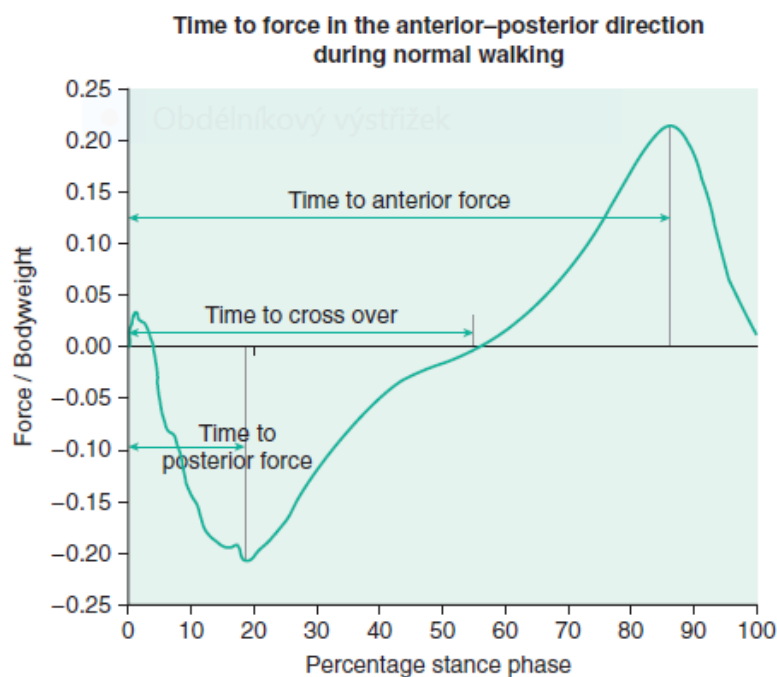
Vertikální složka reakční síly podložky (Richards, 2018)



Pro apGRF jsou charakteristické dvě specifické fáze. V průběhu decelerační fáze se po počátečním kontaktu vektor apGRF postupně zvětšuje v posteriorním (záporném) směru, přičemž k tomuto brždění dochází v období LR. Akcelerační fáze nastává po zvednutí paty (odražení) během Tst, kdy se vektor apGRF zvětšuje v anteriorním (kladném) směru. Nulové hodnoty dosahuje apGRF v průběhu MSt (kolem 55 % celkové doby trvání stojné fáze). Obě maxima (v decelerační i akcelerační fázi) nabývají velikosti přibližně 20 % tíhové síly (viz Obrázek 5; Richards, 2018).

Obrázek 5

Anteroposteriorní složka reakční síly podložky (Richards, 2018)



Mediolaterální složka působí převážně mediálním směrem s krátkými laterálními výchylkami na začátku a konci stojné fáze. Z důvodu vysoké variability se ale při hodnocení chůze využívá méně často (Bizovská et al., 2017).

Časový účinek působení síly je vyjádřen vektorovou veličinou impuls síly. Jeho velikost závisí na velikosti síly na čase, po který tato síla působila. Čím delší byla doba působení, tím větší bude impuls síly. Impuls síly je užitečný např. při posuzování změn rychlosti během propulze (Richards, 2018).

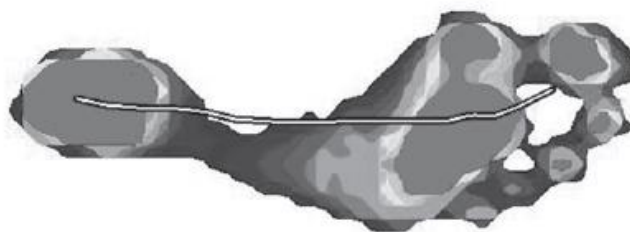
Působíště vektoru výsledné reakční síly od podložky je označováno pojmem center of pressure (COP). Představuje vážený průměr všech tlaků působících na kontaktní plochu (Bizovská et al., 2017). Trajektorie COP v průběhu stojné fáze chůzového cyklu je důležitým

parametrem, který může poukazovat na problémy ve způsobu zatěžování nohy a případně příčiny těchto problémů pomoci identifikovat (Neumannová et al., 2015).

Při fyziologické chůzi má trajektorie COP začátek v oblasti paty, po počátečním kontaktu se krátce vychýlí mediálně a následně pokračuje laterálním směrem podél hrany plosky nohy. Poté se přesouvá přes střed plosky nohy k hlavičkám I. a II. metatarzu a končí u palce (viz Obrázek 6). Při pronaci chodidla se COP posouvá mediálním směrem, zatímco při supinaci se pohybuje směrem laterálně (Kirtley, 2006).

Obrázek 6

Trajektorie COP během stojné fáze chůzového cyklu (Richards, 2018)



- **Silové plošiny**

Silové plošiny jsou používány k měření složek GRF a trajektorie COP v průběhu stojné fáze chůzového cyklu. V rozích plošiny jsou rozmístěny tři až čtyři piezoelektrické nebo tenzometrické senzory. Na základě reakčních sil naměřených jednotlivými senzory se poté dopočítávají složky výsledné GRF v každém směru. Některé typy plošin jsou schopny zaznamenávat pouze vertikální GRF, jedná se však o plošiny používané pro základní analýzu chůze (Bizovská et al., 2017).

Pro testování chůze je většinou nezbytné využít alespoň dvě silové plošiny, které jsou sériově uspořádány a umístěny doprostřed několikametrové dráhy. Testovaná osoba by si neměla být vědoma poloh silových plošin, jinak by mohlo dojít k cílené manipulaci s délkou kroku. Z tohoto důvodu je vhodné, aby byly silové plošiny zabudovány do chodníku stejné barvy a povrchu (Janura et al., 2012). Pokud je k měření používána pouze jedna plošina, proband musí absolvovat více pokusů, aby bylo zajištěno získání dat z obou dolních končetin. V průběhu testování je důležité dodržet správné umístění chodidel na silové plošiny. Došlap jednoho celého chodidla na jednu silovou plošinu činí problémy zejména vysokým lidem (dlouhý krok) nebo seniorům či pacientům (naopak krátký krok). Probandi bývají nejčastěji instruováni k přirozené rychlosti chůze (Bizovská et al., 2017).

- **Tlakové plošiny**

Tlakové plošiny umožňují měřit rozložení a velikosti tlaku na kontaktu chodidla s podložkou. Spolu se speciálními stélkami do bot jsou využívány v metodě dynamické plantografie (pedobarografie). Svrchní vrstva těchto plošin je zhotovena z odolného materiálu, který zabraňuje poškození střední vrstvy obsahující vlastní kapacitní nebo tenzometrické senzory. Díky přesně definované hustotě rozmístění senzorů po celé ploše tlakové plošiny je možné získat detailní data o distribuci tlaku (Janura et al., 2012).

Tlakové plošiny se mezi sebou mohou výrazně lišit co do jejich délky (od několika desítek centimetrů až po několik metrů), což v případě použití užších plošin může u některých testovaných osob způsobit nepřírozené omezení šířky opěrné báze. Pro testování chůze jsou stejně jako silové plošiny zabudovány do středu chodníku dlouhého několik metrů. Hlavními výstupy jsou velikost a rozložení tlaku pod ploškou nohy ve stejné fázi chůzového cyklu, trajektorie COP a průběh GRF. Na rozdíl od silových plošin je možné analýzu zatížení provádět na celé plošce nohy i na vybraných oblastech chodidla (Bizovská et al., 2017).

2.2.5 Dynamická analýza chůze přes překážku

Úkolem následné DK je při překračování překážky vedoucí DK zastavit dopřednou hybnost těla, poskytnout stabilní oporu vedoucí DK a generovat dostatečný vertikální impuls k zajištění potřebné elevace a dopředné hybnosti COM. Při překračování následnou DK nemusí být elevace COM již tak velká a není ani nutné zpomalovat dopřednou hybnost těla po překonání překážky. Odlišné nároky na řízení následné a poté vedoucí DK během stejné fáze se promítají do hodnot impulsů složek GRF. V porovnání s následnou DK vytváří vedoucí DK výrazně nižší celkový vertikální impuls a nižší vertikální impuls až do období druhého maxima vGRF nezávisle na výšce překážky. Co se týče apGRF, následná DK produkuje větší brzděné a propulzní impulsy (Begg et al., 1998).

S rostoucí výškou překážky se u obou DKK zvyšují maxima apGRF v decelerační i akcelerační fázi spolu s vertikálním, brzděným a propulzním impulsem. U následné DK se zvyšují také obě maxima vGRF, zatímco minimum vGRF se v závislosti na rostoucí výšce překážky snižuje. Doba do dosažení minima vGRF, druhého maxima vGRF a maxima apGRF v akcelerační fázi se s rostoucí výškou překážky prodlužuje u obou DKK (Bovonsunthonchai et al., 2015). Maximum apGRF v decelerační fázi nastává oproti chůzi po rovině později během stejné fáze (Begg et al., 1998).

Trajektorie COP má při chůzi přes překážku tvar relativně přímé linie začínající v oblasti paty a sledující střed chodidla až k bázi falangů. Rychlost COP dosahuje během LR velmi vysokých

hodnot, což ukazuje na rychlý přenos síly vpřed. V závislosti na výšce překážky se rychlost COP nicméně nemění, fáze LR při chůzi přes překážku je tedy stejná jako při chůzi po rovině. Výška překážky má však významný vliv na rychlost COP během MSt, kdy se rychlost COP s rostoucí výškou překážky snižuje u vedoucí i následné DK. Toto snížení může značit strategii řízení motoriky, jejímž cílem je zachovat plynulý přesun těla přes stojnou DK při překonávání vyšších překážek. Dostatek času na stabilizaci COP v rámci přípravy na překonání překážky a udržení rovnováhy celého těla je zajištěn lokací COP do střední části chodidla během MSt, kde se nachází až po dobu trvání 23 % chůzového cyklu. V průběhu MSt je rychlost COP nižší než ve fázi LR. V průběhu TSt prochází COP oblastí středu chodidla, přičemž výška překážky neovlivňuje rychlost COP v této fázi. Během fáze předšvihů se rychlost COP vedoucí DK zvyšuje s rostoucí výškou překážky (Wang & Watanabe, 2008).

3 CÍLE

3.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem práce je porovnat dynamické charakteristiky chůze po překročení překážky mezi skupinami TD a DCD dětí.

3.2 Dílčí cíle

- 1) Porovnat charakteristiky reakční síly podložky po překročení překážky mezi skupinami TD a DCD dětí v různých věkových podskupinách.
- 2) Porovnat charakteristiky pohybu COP po překročení překážky mezi skupinami TD a DCD dětí v různých věkových podskupinách.
- 3) Určit predikční validitu k identifikaci DCD jedinců z dynamických charakteristik chůze po překročení překážky v různých věkových podskupinách dětí.

3.3 Výzkumné hypotézy

H1: Provedení chůze po překročení překážky se z hlediska charakteristik reakční síly podložky mezi skupinami DCD a TD dětí liší

- a) u skupiny 7 – 8letých,
- b) u skupiny 9 – 10letých,
- c) u skupiny 11 – 12letých.

H2: Provedení chůze po překročení překážky se z hlediska charakteristik pohybu COP mezi skupinami DCD a TD dětí liší

- a) u skupiny 7 – 8letých,
- b) u skupiny 9 – 10letých,
- c) u skupiny 11 – 12letých.

Pro zamítnutí hypotéz H1-H2 bude kritérium nenalezení žádného statistického rozdílu mezi DCD a TD skupinami dětí podle testů popsaných níže v kapitole metodiky práce samostatně pro části a), b) a c) každé hypotézy.

3.4 Výzkumná otázka

VO1: Jaká je predikční validita dynamických charakteristik chůze po překročení překážky pro identifikaci DCD jedinců?

4 METODIKA

Diplomová práce byla zpracována v rámci projektu „Objasnění rozvoje zpracování duálních úloh u typicky se vyvíjejících dětí a dětí s vývojovou poruchou koordinace“ podpořeného Grantovou agenturou České republiky (hlavní řešitel: prof. Peter Wilson). Projekt byl schválen Etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého pod jednacím číslem 46/2020 (Příloha 11.1).

4.1 Výzkumný soubor

Výzkumný soubor zahrnoval 149 žáků čtyř základních škol v Olomouci a okolí ve věkovém rozmezí 7 až 12 let. Děti byly na základě výsledků Testu motoriky pro děti MABC-2 rozděleny na skupinu TD dětí a skupinu DCD dětí (viz kapitola Výsledky). Výzkumu se účastnily děti splňující následující inkluzivní kritéria: potvrzení o zdravotní způsobilosti k tělesné výchově; absence akutních zranění; minimálně týdenní odstup od poslední nemoci. Podmínkou zařazení do výzkumu byla také dostatečně dlouhá délka kroku, aby se dítě bylo schopné trefit jedinou a zároveň celou nohou na silovou plošinu. Kritéria pro vyřazení z účasti na výzkumu byla: jakákoli bolest nebo diskomfort před nebo během testování; pohybová nebo psychická omezení, která by znemožňovala pochopení a správné provedení úlohy; přidružené poruchy k DCD (např. ADHD apod.); nutnost přítomnosti asistenta (případně nutnost asistence přímo při testování).

4.2 Metody sběru dat

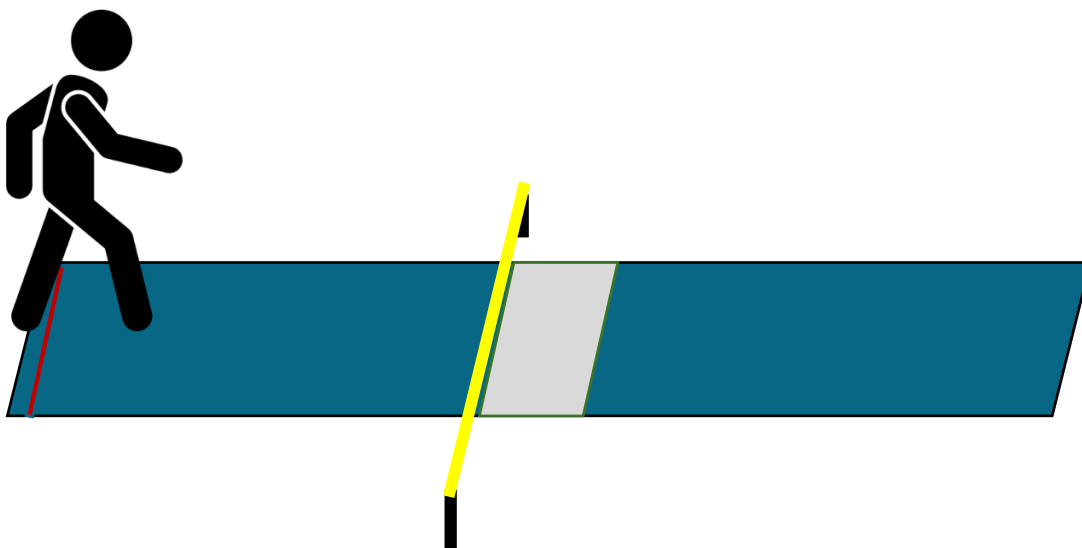
Měření probíhalo během chůze přes překážku v laboratoři Katedry přírodních věd v kinantropologii FTK UP. Výška překážky byla nastavena na 1/3 funkční délky (od spina iliaca anterior superior po malleolus medialis) dominantní dolní končetiny probanda. Dominantní dolní končetina byla určena preferencí dané dolní končetiny při kopu do míče. Překážka byla umístěna uprostřed chodníku o délce 10 metrů. K měření reakční síly podložky a pohybu COP byla použita silová plošina Kistler 9286AA (Kistler Instrumente, Winterthur, Švýcarsko) se sběrnou frekvencí 1000 Hz. Silová plošina byla zabudována do chodníku těsně za překážku tak, aby byl její povrch ve stejné rovině jako povrch chodníku (viz Obrázek 7).

Testování bylo zahájeno několika zkušebními pokusy, během kterých měl proband možnost seznámit se s prostředím. Poté bylo označeno místo pro zahájení chůze tak, aby byly vytvořeny podmínky pro chůzi přirozenou rychlostí a plynulý přechod přes překážku se správným došlapem na silovou plošinu. Jako platné pokusy byly uznány pouze ty, při kterých proband

došlápl jediným a zároveň celým chodidlem na silovou plošinu. Následovalo 5 měřených pokusů v preferovaném tempu chůze. Analýza chůze probíhala naboso.

Obrázek 7

Schéma chůze přes překážku



Za stojnou fázi byly považovány úseky, během kterých byla absolutní velikost vertikální složky reakční síly vyšší než 30 N. Po filtrování dat obousměrným Butterworthovým filtrem 4. řádu s hraniční frekvencí 20 Hz došlo k vyhodnocení vertikální, anteroposteriorní a mediolaterální složky reakční síly podložky z pohledu normalizovaných velikostí jejich lokálních extrémů a impulsů:

- vertikální složka – maximum v první ($\max_{\text{vert } 1}$) a druhé ($\max_{\text{vert } 2}$) polovině stejné fáze chůzového cyklu a časy nutné k jejich dosažení (čas $\max_{\text{vert } 1}$, čas $\max_{\text{vert } 2}$), impuls síly během celé stejné fáze (impuls);
- anteroposteriorní složka – maximum síly v decelerační (\max_{dec}) a akcelerační (\max_{akc}) fázi stejné fáze chůzového cyklu a časy nutné k jejich dosažení (čas \max_{dec} , čas \max_{akc});
- mediolaterální složka – maximum síly v laterálním (\max_{lat}) a mediálním (\max_{med}) směru.

Pohyb COP byl vyhodnocen za celou stojnou fázi z pohledu celkové délky jeho trajektorie, rozsahu a průměrné rychlosti pohybu. Do statistické analýzy byla zahrnuta průměrná hodnota

vypočítaná z 5 platných provedených pokusů. Zpracování dat proběhlo v prostředí softwaru Matlab (2022b, MathWorks, Inc., Natick, MA, USA).

4.3 Statistické zpracování dat

Statistická analýza se skládala z porovnání jednotlivých výsledných charakteristik reakční síly a pohybu COP mezi skupinami TD dětí a dětí s DCD se zohledněním věku probandů. Shapiro-Wilk test nepotvrdil normální rozložení dat u všech skupin, dále proto byly využity metody neparametrické statistické analýzy. Pro porovnání skupin byl využit Mann-Whitney U test. V případě odhalení statisticky významného rozdílu byla charakteristika dále zpracována pomocí Receiver Operating Characteristic Curve (ROC) analýzy a na základě obsahu plochy pod ROC křivkou (area under the curve, AUC) byla vyhodnocena predikční validita dané charakteristiky pro identifikaci DCD jedinců (viz Tabulka 1). Hladina statistické významnosti byla nastavena ve všech případech na $p = 0,05$. Statistická analýza proběhla v prostředí softwarů Statistica (v. 14, StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA) a SPSS Statistics pro Windows (v. 18, IBM, New York, NY, USA).

Tabulka 1

Interpretace obsahu plochy pod ROC křivkou (AUC; upraveno dle Nahm, 2022)

Obsah plochy pod ROC křivkou (AUC)	Interpretace
$0.9 \leq AUC$	Výborná
$0.8 \leq AUC < 0.9$	Dobrá
$0.7 \leq AUC < 0.8$	Ucházející
$0.6 \leq AUC < 0.7$	Nízká
$0.5 \leq AUC < 0.6$	Nedostatečná

5 VÝSLEDKY

5.1 Charakteristika souboru

Do výzkumu bylo zahrnuto 51 DCD a 98 TD dětí rozdělených na věkové podskupiny následovně. Ve věkové skupině 7 – 8letých dětí bylo zahrnuto 23 DCD a 24 TD dětí, ve věkové skupině 9 – 10letých bylo 11 DCD a 45 TD dětí, nejstarší skupina dětí v rozmezí 11-12 let sestávala z 15 DCD a 28 TD dětí. Popisné charakteristiky všech skupin jsou uvedeny v Tabulce 2. Mezi skupinami DCD a TD rozdělenými na věkové podskupiny nebyl v popisných charakteristikách nalezen statisticky významný rozdíl.

Tabulka 2*Popisné charakteristiky skupin*

Charakteristika	Skupina podle věku	Skupina podle vývoje	Medián	DK	HK	Hodnota <i>p</i>	
Věk (let)	Všechny	DCD	9.0	8.3	11.6	> 0,05	
		TD	10.9	9.0	11.7		
	7-8	DCD	8.3	8.1	8.6	> 0,05	
		TD	8.2	7.9	8.6		
	9-10	DCD	9.7	9.2	10.6	> 0,05	
		TD	9.8	9.3	10.7		
	11-12	DCD	12.1	11.6	12.5	> 0,05	
		TD	11.9	11.4	12.3		
	Výška (cm)	Všechny	DCD	138.0	131.0	148.0	0,008
			TD	144.5	138.0	154.0	
7-8		DCD	131.0	128.5	135.8	> 0,05	
		TD	130.5	129.0	137.8		
9-10		DCD	138.0	134.0	141.0	> 0,05	
		TD	140.8	138.0	144.8		
11-12		DCD	156.0	149.0	158.0	> 0,05	
		TD	154.0	149.5	159.0		
Hmotnost (kg)		Všechny	DCD	31.0	26.0	38.0	0,038
			TD	34.5	28.0	46.0	
	7-8	DCD	27.0	24.0	32.5	> 0,05	
		TD	26.0	24.0	30.0		
	9-10	DCD	32.0	27.5	35.5	> 0,05	
		TD	30.0	28.0	35.0		
	11-12	DCD	45.0	31.0	47.0	> 0,05	
		TD	46.0	39.0	54.0		

Poznámka. DCD – skupina dětí s vývojovou poruchou koordinace, TD – skupina typicky vyvíjejících se dětí, DK – dolní kvartil, HK – horní kvartil.

5.2 Reakční síla podložky

Hodnoty lokálních extrémů vertikální složky reakční síly podložky (Tabulka 3) ani jejich načasování (Tabulka 5) se mezi skupinami DCD a TD bez ohledu na věk dětí statisticky signifikantně nelišily s výjimkou kratšího času nutného na dosažení druhého lokálního maxima u skupiny DCD ve věkové podskupině 9-10 let (Tabulka 5). Pro anteroposteriorní složku reakční síly byla u skupiny DCD ve věkové podskupině 9-10 let pozorována nižší hodnota \max_{akc} (Tabulka 4), ve věkové podskupině 11-12 let byl pro děti s DCD nutný kratší čas pro dosažení \max_{dec} této složky síly (Tabulka 5). Mediolaterální složka reakční síly podložky dosáhla u skupiny DCD dětí ve dvou mladších věkových podskupinách vyšší hodnoty \max_{med} (Tabulka 4). Z hlediska charakteristik reakční síly podložky se provedení chůze po překročení překážky liší mezi skupinami DCD a TD dětí ve všech věkových podskupinách. Hypotézu H1 nelze zamítnout pro části: a) skupinu 7 – 8letých, b) skupinu 9 – 10letých a c) skupinu 11 – 12letých.

Tabulka 3*Velikost lokálních extrémů vertikální složky reakční síly podložky a impuls této složky síly*

Charakteristika	Skupina	Skupina	Medián	DK	HK	Hodnota <i>p</i>
	podle věku	podle vývoje				
impuls (% tíhové síly)	7-8	DCD	0.71	0.64	0.80	> 0,05
		TD	0.71	0.65	0.81	
	9-10	DCD	0.73	0.65	0.89	> 0,05
		TD	0.73	0.68	0.82	
	11-12	DCD	0.75	0.69	0.80	> 0,05
		TD	0.73	0.65	0.81	
max _{vert} 1 (% tíhové síly)	7-8	DCD	1.32	1.23	1.50	> 0,05
		TD	1.22	1.12	1.28	
	9-10	DCD	1.25	1.09	1.45	> 0,05
		TD	1.34	1.21	1.43	
	11-12	DCD	1.16	1.09	1.33	> 0,05
		TD	1.26	1.18	1.37	
max _{vert} 2 (% tíhové síly)	7-8	DCD	1.14	1.09	1.21	> 0,05
		TD	1.16	1.09	1.20	
	9-10	DCD	1.16	1.09	1.28	> 0,05
		TD	1.14	1.10	1.20	
	11-12	DCD	1.18	1.14	1.29	> 0,05
		TD	1.18	1.12	1.25	

Poznámka. DCD – skupina dětí s vývojovou poruchou koordinace, TD – skupina typicky vyvíjejících se dětí, DK – dolní kvartil, HK – horní kvartil, max_{vert} 1 – maximum vertikální složky reakční síly podložky v první polovině stejné fáze, max_{vert} 2 – maximum vertikální složky reakční síly podložky v druhé polovině stejné fáze

Tabulka 4*Velikost lokálních extrémů anteroposteriorní a mediolaterální složky reakční síly podložky*

Charakteristika	Skupina	Skupina	Medián	DK	HK	Hodnota <i>p</i>
	podle věku	podle vývoje				
\max_{akc} (% tíhové síly)	7-8	DCD	0.34	0.30	0.40	> 0,05
		TD	0.35	0.33	0.38	
	9-10	DCD	0.31	0.29	0.32	0,009
		TD	0.33	0.31	0.36	
	11-12	DCD	0.35	0.27	0.37	> 0,05
		TD	0.32	0.29	0.36	
\max_{dec} (% tíhové síly)	7-8	DCD	0.31	0.28	0.35	> 0,05
		TD	0.31	0.25	0.35	
	9-10	DCD	0.25	0.23	0.31	> 0,05
		TD	0.30	0.25	0.33	
	11-12	DCD	0.29	0.25	0.34	> 0,05
		TD	0.26	0.22	0.28	
\max_{lat} (% tíhové síly)	7-8	DCD	0.05	0.04	0.08	> 0,05
		TD	0.06	0.04	0.07	
	9-10	DCD	0.05	0.04	0.07	> 0,05
		TD	0.04	0.03	0.07	
	11-12	DCD	0.05	0.04	0.07	> 0,05
		TD	0.05	0.03	0.06	
\max_{med} (% tíhové síly)	7-8	DCD	0.08	0.06	0.11	0,027
		TD	0.06	0.04	0.09	
	9-10	DCD	0.08	0.07	0.09	0,021
		TD	0.07	0.04	0.08	
	11-12	DCD	0.06	0.05	0.07	> 0,05
		TD	0.06	0.04	0.08	

Poznámka. \max_{akc} – maximum anteroposteriorní složky reakční síly podložky v akcelerační fázi, \max_{dec} – maximum anteroposteriorní složky reakční síly podložky v decelerační fázi, \max_{med} – maximum mediolaterální složky reakční síly podložky v mediálním směru, \max_{lat} – maximum mediolaterální složky reakční síly podložky v laterálním směru, dále viz Tabulka 3.

Tabulka 5

Časové charakteristiky lokálních extrémů složek reakční síly podložky

Charakteristika	Skupina		Medián	DK	HK	Hodnota <i>p</i>
	podle věku	Skupina podle vývoje				
čas trvání stejné fáze (s)	7-8	DCD	0.81	0.73	0.91	> 0,05
		TD	0.82	0.76	0.92	
	9-10	DCD	0.83	0.75	0.96	> 0,05
		TD	0.85	0.75	0.93	
	11-12	DCD	0.84	0.73	0.96	> 0,05
		TD	0.88	0.80	0.95	
čas max _{vert} 1 (% času trvání stejné fáze)	7-8	DCD	13.4	10.1	16.1	> 0,05
		TD	13.7	10.8	16.5	
	9-10	DCD	14.6	12.7	19.6	> 0,05
		TD	13.8	10.3	18.1	
	11-12	DCD	14.5	11.7	14.9	> 0,05
		TD	15.5	12.1	21.4	
čas max _{vert} 2 (% času trvání stejné fáze)	7-8	DCD	84.2	81.0	85.5	> 0,05
		TD	85.5	83.5	87.0	
	9-10	DCD	82.0	80.2	84.4	0,011
		TD	85.3	83.3	86.2	
	11-12	DCD	84.6	83.2	86.2	> 0,05
		TD	84.4	82.4	85.4	
čas max _{akc} (% času trvání stejné fáze)	7-8	DCD	89.8	88.0	91.3	> 0,05
		TD	90.8	89.0	91.7	
	9-10	DCD	89.4	88.7	91.4	> 0,05
		TD	90.3	89.2	90.9	
	11-12	DCD	89.9	88.9	91.8	> 0,05
		TD	89.8	89.2	90.9	
čas max _{dec} (% času trvání stejné fáze)	7-8	DCD	11.4	9.6	13.2	> 0,05
		TD	12.3	9.6	13.9	
	9-10	DCD	11.2	10.5	13.5	> 0,05
		TD	11.9	8.5	12.9	
	11-12	DCD	11.4	8.7	13.0	0,043
		TD	12.3	11.1	13.7	

Poznámka. Viz Tabulka 3 a 4.

5.3 Pohyb COP

Charakteristiky popisující pohyb COP v průběhu stojné fáze prvního chůzového cyklu po překročení překážky jsou uvedeny v Tabulkách 6 a 7. Délka trajektorie pohybu COP a rozsah pohybu COP v anteroposteriorním směru se mezi skupinami DCD a TD bez ohledu na věk dětí nelišily (Tabulka 6). Rozsah pohybu COP v mediolaterálním směru se mezi skupinami DCD a TD lišil u dvou mladších věkových skupin – tzn. dětí ve skupinách 7 – 8letých a 9 – 10letých s vyšším rozsahem pohybu COP pozorovaném vždy u skupiny DCD dětí (Tabulka 6). Statisticky signifikantní rozdíl v rychlosti pohybu COP byl pozorován pouze u nejmladší skupiny v mediolaterálním směru s vyšší hodnotou pozorovanou opět u skupiny DCD dětí (Tabulka 7). Z hlediska charakteristik pohybu COP se provedení chůze po překročení překážky liší mezi skupinami DCD a TD dětí kromě věkové podskupiny nejstarších dětí. Hypotézu H2 nelze zamítnout pro části: a) skupinu 7 – 8letých a b) skupinu 9 – 10letých. Hypotézu H2 zamítáme pro část: c) skupinu 11 – 12letých.

Tabulka 6*Charakteristiky pohybu COP během stojné fáze chůzového cyklu po překročení překážky*

Charakteristika	Skupina	Skupina	Medián	DK	HK	Hodnota <i>p</i>
	podle věku	podle vývoje				
Délka trajektorie (cm)	7-8	DCD	34.4	30.9	42.6	> 0,05
		TD	33.3	26.9	40.1	
	9-10	DCD	37.5	34.8	39.3	> 0,05
		TD	34.5	29.5	40.6	
	11-12	DCD	43.4	36.9	51.7	> 0,05
		TD	42.0	37.3	50.7	
AP rozsah (cm)	7-8	DCD	11.1	9.3	13.3	> 0,05
		TD	11.1	8.5	13.4	
	9-10	DCD	12.1	11.3	14.8	> 0,05
		TD	11.3	10.2	14.3	
	11-12	DCD	14.3	10.8	18.0	> 0,05
		TD	15.5	12.7	20.1	
ML rozsah (cm)	7-8	DCD	5.7	4.9	7.3	0,034
		TD	4.8	4.0	5.8	
	9-10	DCD	6.5	4.7	8.2	0,045
		TD	4.8	3.9	6.3	
	11-12	DCD	5.2	4.2	7.8	> 0,05
		TD	5.5	4.7	6.5	

Poznámka. DCD – skupina dětí s vývojovou poruchou koordinace, TD – skupina typicky vyvíjejících se dětí, DK – dolní kvartil, HK – horní kvartil, AP – anteroposteriorní směr, ML – mediolaterální směr.

Tabulka 7*Rychlost pohybu COP během stojné fáze chůzového cyklu po překročení překážky*

Charakteristika	Skupina	Skupina	Medián	DK	HK	Hodnota <i>p</i>
	podle věku	podle vývoje				
AP rychlost (cm.s ⁻¹)	7-8	DCD	37.3	29.1	41.5	> 0,05
		TD	34.8	27.8	44.0	
	9-10	DCD	38.3	29.6	48.5	> 0,05
		TD	33.8	31.2	42.6	
	11-12	DCD	47.8	27.8	57.8	> 0,05
		TD	45.0	35.5	53.0	
ML rychlost (cm.s ⁻¹)	7-8	DCD	17.3	15.1	20.5	0,002
		TD	14.6	11.2	16.3	
	9-10	DCD	14.5	13.6	21.9	> 0,05
		TD	14.2	12.6	15.6	
	11-12	DCD	15.3	12.8	19.1	> 0,05
		TD	16.8	14.4	19.9	
Celková rychlost (cm.s ⁻¹)	7-8	DCD	43.9	38.4	50.4	> 0,05
		TD	40.7	32.3	48.4	
	9-10	DCD	44.6	35.3	55.5	> 0,05
		TD	40.7	35.8	47.2	
	11-12	DCD	52.2	35.8	62.8	> 0,05
		TD	51.3	39.8	57.1	

Poznámka. Viz Tabulka 6.

5.4 ROC analýza

ROC analýza proběhla jenom u charakteristik, u kterých byl nalezen statisticky signifikantní rozdíl mezi skupinami DCD a TD dětí. V každé věkové skupině přitom nejlepší predikční validitu pro identifikaci DCD jedinců vykazuje jiná proměnná (Tabulka 8). Pro věkovou podskupinu 7-8 let se jeví jako nejdůležitější rychlost pohybu COP v mediolaterálním směru. Pro podskupinu 9-10 let vykazuje nejlepší predikční validitu maximum anteroposteriorní složky reakční síly podložky v akcelerační fázi. U podskupiny nejstarších dětí byla nejlepší predikční validita zjištěna u doby trvání do dosažení maxima anteroposteriorní složky reakční síly podložky v decelerační fázi.

Tabulka 8

Obsah plochy pod ROC křivkou pro vybrané charakteristiky reakční síly a pohybu COP pro rozlišení skupin DCD a TD dětí

Věková podskupina	Charakteristika	AUC
7-8	ML rozsah	0,679
	ML rychlost	0,755
	max _{med}	0,686
9-10	ML rozsah	0,702
	max _{akc}	0,759
	max _{med}	0,732
	čas max _{vert} 2	0,753
11-12	čas max _{dec}	0,675

Poznámka. Viz kapitola 5.2 a 5.3.

6 DISKUSE

Motorické dovednosti hrubé motoriky jsou základním stavebním kamenem pohybu a mají zásadní význam pro podporu a udržení fyziologických vývojových trajektorií (Veldman et al., 2019). Mladší školní věk neboli prepubescence je vymezen nástupem do první třídy a začátkem puberty. Toto období od 6-7 do 11-12 let je charakteristické zdokonalováním dosavadních a osvojováním nových dovedností. TD dítě se v průběhu 5.-7. roku naučí mj. udržovat rovnováhu při stožení na jedné noze, s druhou ve flexi v kolenu a se zavřenými očima; udržovat rovnováhu při stožení na špičkách; seskakovat ze židle bez držení; přeskakovat sounož šnůru ve výšce 20 cm či jezdit na bruslích, lyžích nebo kole (Kolář et al., 2009). V období mladšího školního věku dochází k velkému rozvoji v rychlosti pohybu a obratnosti, díky čemuž se TD děti naučí zvládat i komplexnější dovednosti jako je např. tandemová chůze, fotbal, plavání nebo tanec (Scharf et al., 2016). Děti s DCD v průběhu vývoje vykazují různorodé motorické příznaky, včetně poruch posturální kontroly a obtíží s osvojováním dovedností hrubé motoriky (Biotteau et al., 2020). Chůze přes překážku představuje náročnou dovednost z hlediska nároků na řízení dynamické posturální stability, koordinaci a anticipační plánování s využitím senzoryckých vstupů a kognitivních funkcí. Tato diplomová práce se zabývala porovnáním dynamických charakteristik chůze po překročení překážky mezi skupinami TD a DCD dětí. Provedení chůze po překročení překážky bylo hodnoceno z hlediska charakteristik reakční síly podložky a pohybu COP ve věkových podskupinách 7-8 let, 9-10 let a 11-12 let.

Analýza pohybu COP představuje jeden z možných způsobů hodnocení posturální stability během lokomočních úloh, přičemž pohyb COP je relativní k pohybu COM, s nímž je synchronizován a řízen tak, aby zajišťoval stabilitu v AP a ML směru během stožení a chůze (Ferdjallah et al., 2002). Deconinck et al. (2010) zkoumali pohyb COM při chůzi přes překážku na skupině 12 dětí s DCD ve věku 9-12 let (průměrný věk 7,8 let) a věkově odpovídající skupině 12 TD dětí (průměrný věk 7,7 let). U dětí s DCD zaznamenali významně vyšší rychlost a rozsah pohybu COM v ML směru v porovnání s TD dětmi. Výsledky této studie jsou v souladu s našimi výsledky, kdy jsme zjistili vyšší rozsah pohybu COP v ML směru v podskupinách 7 – 8letých a 9 – 10letých DCD dětí spolu s vyšší rychlostí pohybu COP v ML směru u dětí s DCD ve věku 7-8 let. Vyšší rozsah pohybu COP u dvou mladších věkových podskupin DCD oproti skupině nejstarších DCD dětí může značit nevyzrálou mechanismů udržování dynamické rovnováhy po překročení překážky.

Při překračování překážky švihovou DK musí být poloha COM udržována v rámci úzké opěrné báze vymezené kontaktem stojné DK s podložkou (Novak & Deshpande, 2014). Během této fáze jedné opory musí aktivita svalů stojné DK vyvážit tíhovou sílu působící na trup

a švihovou DK. Vyšší rozsah pohybu COP v ML směru může odrážet neschopnost stabilizátorů kyčelního kloubu ve frontální rovině vytvořit dostatečný abdukční či addukční moment k udržení pánve a trupu na straně švihové DK, což je podporováno nálezem nižšího nárůstu svalové síly abduktorů kyčelního kloubu na centimetr výšky u dětí s DCD ve věku 6-12 let v porovnání s kontrolní skupinou TD dětí (Demers et al., 2020).

Vyšší rozsah pohybu COP, zejména v ML směru, byl prokázán jako prediktor pádů u starších TD dospělých (Hilliard et al., 2008; Piirtola & Era, 2006), na základě čehož lze poukázat na určitou analogii s dětmi s DCD, u kterých jsou v porovnání s jejich zdravými vrstevníky pády častější (APA, 2013). K zabránění pádu je nutné prostřednictvím přesného umístění chodidel umístit COP tak, aby reakční síla podložky vytvářela dostatečný moment k akceleraci pohybu COM od laterálního okraje opěrné báze (Bruijn & van Dieën, 2018; Hof, 2007). Na obtíže s řízením dynamické rovnováhy při chůzi přes překážku poukazuje také vyšší hodnota max_{med} mediolaterální složky reakční síly podložky u podskupin 7 – 8letých a 9 – 10letých dětí s DCD zjištěná v této práci.

V podskupině 9 – 10letých dětí s DCD jsme dále zjistili nižší hodnotu max_{akc} anteroposteriorní složky reakční síly a kratší čas do dosažení druhého lokálního maxima vertikální složky reakční síly podložky, které se týká propulze směrem nahoru během fáze konečného stoje, zatímco maximum anteroposteriorní složky v akcelerační fázi souvisí s odrazem v tomto směru během stejné fáze chůzového cyklu. Dle popsaných výsledků vykazují děti s DCD v této věkové kategorii obtíže se zpracováním odrazu v průběhu fáze konečného stoje. Rozdíl v propulzní strategii mezi dětmi s DCD a TD dětmi byl prokázán také ve studii Diamond et al. (2014) při běhu a sprintu, kdy děti s DCD nevyvíjeli dostatečnou svalovou sílu plantárními flexory hlezna, což kompenzovali větším zapojením flexorů kyčelního kloubu. Důvodem může být kloubní hypermobilita, narušené motorické plánování nebo nezralost motorických dovedností. Výzkumný soubor tvořilo 22 dětí (11 DCD, 11 TD) ve věku 9-13 let. Vzorec chůze využívající k odrazu hlavně sílu plantárních flexorů hlezna se však nevyskytuje u TD dětí mladších devíti let (Chang et al., 2009; Chester & Wrigley, 2008), z čehož vyplývá, že pozorovaný rozdíl ve zpracování propulze může reflektovat opožděný motorický vývoj dětí s DCD.

Chůze přes překážku klade vysoké nároky na souhrn pohybů stojné a švihové DK (Chen & Lu, 2006, Lu et al., 2006), přičemž jako jeden z potenciálních faktorů asociovaných se špatnou koordinací u dětí s DCD bývá uváděna narušená propriocepce. Lze předpokládat, že jedinci s intaktní propriocepcí vytváří přesnější vnitřní reprezentaci polohy kloubů, což se promítá do plánování a řízení pohybu (Adams et al., 2016). Jednou z modalit zastřešených pojmem propriocepce je statestezie neboli vnímání vzájemné polohy segmentů. Lze ji chápat

také jako schopnost aktivně či pasivně reprodukovat úhly mezi segmenty artikulujícími v daném kloubu (Ager et al., 2020). Chen et al. (2020) ověřili snížení statestzie kolenního a hlezenního kloubu u dětí s DCD v porovnání s kontrolní skupinou během pasivního repositionálního testu na isokinetickém dynamometru. Výzkumný soubor tvořilo 56 probandů ve věku 9-12 let rovnoměrně rozdělených do skupin DCD a TD s průměrným věkem 10, 86 let pro DCD děti a 10, 96 let pro TD děti. Autoři dále zjistili rozdíly mezi jednotlivými klouby, přičemž děti s DCD vykazovaly větší deficit ve statestzii hlezna oproti kolennímu kloubu.

Ve věkové podskupině 11-12 let je rozdíl v dynamických charakteristikách mezi skupinami DCD a TD výrazně menší – zjistili jsme pouze kratší čas do dosažení max_{dec} anteroposteriorní složky reakční síly podložky. To může značit zlepšení schopnosti anticipačního plánování přechodu přes překážku s přibývajícím věkem u dětí s DCD. Podobný trend dohánění deficitu motorických dovedností pozorovali také Adams et al. (2017), kteří se zabývali změnami v aspektech prediktivní kontroly pohybu v čase. Anticipační plánování zkoumali u 60 dětí (30 DCD, 30 TD) ve věku 6-11 let ve třech měřeních po dobu dvou let. Úloha spočívala v zasouvání dřevěného meče do slotu uprostřed dřevěné truhly, přičemž meč byl prezentován na listu papíru s nakreslenými šesti možnými orientacemi meče. Čtyři z těchto šesti výchozích poloh sloužily jako kontrolní a dvě jako kritické orientace, při kterých děti musely obětovat pohodlnost výchozí polohy, aby mohly úkol ukončit v pohodlné poloze (end-state comfort, ESC; Adams et al., 2017). Efekt ESC označuje tendenci zvolit si více pohodlný úchop spíše na konci než na začátku jednoduchých manipulačních úloh. Většina studií prokázala zvýšený výskyt ESC v souvislosti s pokročilejším vývojem (Adams et al., 2016). Méně efektivní plánování ESC může být důsledkem obtíží s používáním prediktivního řízení motoriky (P. H. Wilson et al., 2013). Při prvním měření byl průměrný věk skupiny s DCD 8,87 let a 8,85 let pro kontrolní skupinu. Z důvodu omezeného počtu probandů v jednotlivých věkových kategoriích nebyli autoři schopni určit přesné vývojové trajektorie specifické pro daný věk. Podle výsledků prvního měření vykazovaly děti s DCD významně nižší procentuální zastoupení ESC při kritické i kontrolní orientaci v porovnání s TD dětmi, zatímco v dalších letech nebyl zjištěn žádný rozdíl mezi oběma skupinami (Adams et al., 2017).

V kontrastu k hypotéze zlepšení anticipačního plánování přechodu přes překážku s přibývajícím věkem u dětí s DCD stojí poznatky Deconinck et al. (2010), kteří nepozorovali žádné rozdíly v časoprostorových charakteristikách před a během překonávání překážky mezi TD dětmi a dětmi s DCD, což naznačuje adekvátní strategii vizuální kontroly před přechodem překážky a správné anticipační plánování u dětí s DCD. Při srovnávání výsledků studií s odlišným designem je nutné vzít v potaz, že důležitým faktorem v případném deficitu v anticipačním plánování je složitost dané úlohy (Adams et al., 2016).

Vzhledem k nutnosti zapojení kognitivních funkcí do plánování a řízení chůze přes překážku lze uvažovat také nad potenciálním účinkem maturace kognitivních funkcí. Bernardi et al. (2018) ve své longitudinální studii hodnotili s odstupem dvou let exekutivní funkce u 17 DCD dětí a 17 TD dětí ve věku 7-11 let. Děti s DCD nicméně vykazovali při obou měřeních výrazně horší výsledky než TD děti ve všech úlohách neverbálních exekutivních funkcí (pracovní paměť, plánování, kognitivní flexibilita, inhibiční kontrola, plynulost) a v úlohách zaměřených na plynulost verbálního projevu.

Dalším vysvětlením malého rozdílu v dynamických charakteristikách mezi dětmi ve věkové podskupině 11-12 let může být již nedostačující citlivost testování pro tuto věkovou kategorii v naší práci.

7 ZÁVĚRY

Na základě porovnání dynamických charakteristik chůze po překročení překážky se nám podařilo rozlišit TD děti a děti s DCD, přičemž v jednotlivých věkových kategoriích byl zjištěn rozdíl v odlišných parametrech. V podskupině 7 – 8letých dětí se jednalo o vyšší hodnotu maxima mediolaterální složky reakční síly v mediálním směru spolu s vyšší rychlostí a rozsahem pohybu COP v mediolaterálním směru u DCD dětí v porovnání s TD dětmi. Děti s DCD ve věku 9-10 let vykazovaly oproti TD dětem nižší hodnotu maxima anteroposteriorní složky reakční síly v akcelerační fázi, kratší čas do dosažení druhého lokálního maxima vertikální složky reakční síly, vyšší hodnotu maxima mediolaterální složky reakční síly v mediálním směru a vyšší rozsah pohybu COP v mediolaterálním směru. Nejmenší rozdíl jsme pozorovali mezi 11 – 12letými dětmi, kdy u dětí s DCD byl zjištěn kratší čas do dosažení maxima anteroposteriorní složky reakční síly podložky v decelerační fázi v porovnání s jejich TD vrstevníky.

Výraznější rozdíly v dynamických charakteristikách mezi DCD a TD dětmi ve dvou mladších věkových kategoriích mohou reflektovat nevyzrálost mechanismů udržování dynamické rovnováhy po překročení překážky. Jiné vysvětlení může spočívat v nedostačující citlivosti použitého testování pro rozlišení mezi skupinami DCD a TD nejstarších dětí.

Z výsledků ROC analýzy vyplývá, že nejlepší predikční validitu pro identifikaci DCD jedinců vykazuje pro věkovou podskupinu 7-8 let rychlost pohybu COP v mediolaterálním směru, pro podskupinu 9-10 let maximum anteroposteriorní složky reakční síly podložky v akcelerační fázi a pro podskupinu 11-12 let doba trvání do dosažení maxima anteroposteriorní složky reakční síly podložky v decelerační fázi.

8 SOUHRN

Hlavním cílem diplomové práce bylo porovnat dynamické charakteristiky chůze po překročení překážky mezi skupinami TD a DCD dětí. V teoretické části jsou shrnuty nejdůležitější poznatky o DCD, včetně klinického obrazu, podtypech, rizikových faktorech spolu s etiologií a diagnostikou DCD. Dále je popsána ontogeneze chůze, poruchy chůze u jedinců s DCD, specifika chůze přes překážku a dynamická analýza chůze.

Výzkumný soubor tvořilo 51 DCD a 98 TD dětí rozdělených do věkových podskupin 7-8 let, 9-10 let a 11-12 let. Překážka byla umístěna uprostřed chodníku o délce 10 metrů a její výška byla nastavena na 1/3 funkční délky dominantní dolní končetiny probanda. K měření reakční síly podložky a pohybu COP byla použita silová plošina Kistler 9286AA (Kistler Instrumente, Winterthur, Švýcarsko) se sběrnou frekvencí 1000 Hz. Silová plošina byla zabudována do chodníku těsně za překážku tak, aby byl její povrch ve stejné rovině jako povrch chodníku. Po zkušebních pokusech následovalo 5 měřených pokusů v preferovaném tempu chůze.

Statisticky významný rozdíl v dynamických charakteristikách chůze přes překážku byl zjištěn v odlišných parametrech ve všech věkových podskupinách DCD a TD dětí. V podskupině 7-8 let byla u dětí s DCD v porovnání s TD dětmi pozorována vyšší hodnota maxima mediolaterální složky reakční síly podložky v mediálním směru spolu s vyšší rychlostí a rozsahem pohybu COP v mediolaterálním směru. Děti s DCD ve věku 9-10 let vykazovaly nižší hodnotu maxima anteroposteriorní složky reakční síly v akcelerační fázi, kratší čas do dosažení druhého lokálního maxima vertikální složky reakční síly, vyšší hodnotu maxima mediolaterální složky reakční síly podložky v mediálním směru a vyšší rozsah pohybu COP v mediolaterálním směru. U dětí ve věku 11-12 let byl rozdíl mezi DCD a TD skupinou nalezen v kratším čase nutném pro dosažení maxima anteroposteriorní složky reakční síly v decelerační fázi. Tyto výsledky prokázaly potíže s kontrolou dynamické posturální stability po překročení překážky u dětí s DCD.

Po vyhodnocení ROC analýzy byla jako parametr s nejlepší predikční validitou pro identifikace jedinců s DCD stanovena rychlost pohybu COP v mediolaterálním směru pro podskupinu 7-8 let, maximum anteroposteriorní složky reakční síly podložky v akcelerační fázi pro podskupinu 9-10 let a doba trvání do dosažení maxima anteroposteriorní složky reakční síly podložky v decelerační fázi pro podskupinu 11-12 let.

9 SUMMARY

The main aim of this master thesis was to compare the dynamic characteristics of gait after obstacle crossing between groups of TD and DCD children. The theoretical part summarizes the most important knowledge about DCD including clinical presentation, subtypes, risk factors along with etiology and assessment of DCD. Additionally, the ontogeny of gait, gait abnormalities in individuals with DCD, and dynamic gait analysis are described.

The study included 51 DCD and 98 TD children divided into age subgroups of 7-8, 9-10 and 11-12 years. The obstacle was placed in the middle of a 10 metres long walkway and adjusted to 1/3 of the functional length of the child's dominant lower limb. A Kistler 9286AA force platform (Kistler Instrumente, Winterthur, Switzerland) with a sampling frequency of 1000 Hz was used to record the ground reaction force and center of pressure movement. The force platform was placed directly behind the obstacle so that its surface was level with the walkway. The test trails were followed by five trials performed at the preferred walking pace.

A statistically significant difference in the dynamic characteristics of gait after obstacle crossing was found in various parameters in all age subgroups of DCD and TD children. In the subgroup of 7-8 years, a higher value of the maximum of the mediolateral component of the ground reaction force in the medial direction was observed in DCD children compared to TD children, along with a higher velocity and range of motion of the COP in the mediolateral direction. Children with DCD aged 9-10 years showed a lower value of the maximum of the anteroposterior component of the ground reaction force in the acceleration phase, a shorter time to reach the second local maximum of the vertical component of the ground reaction force, a higher value of the maximum of the mediolateral component of the ground reaction force in the medial direction, and a higher range of motion of the COP in the mediolateral direction. In children aged 11-12 years, the difference between the DCD and TD groups was found in the shorter time required to reach the maximum of the anteroposterior component of the ground reaction force in the deceleration phase. These results demonstrated difficulties in control of dynamic postural stability after obstacle crossing in children with DCD.

After evaluating the ROC analysis, the parameter with the best predictive validity for identifying individuals with DCD was determined to be the velocity of COP movement in the mediolateral direction for the 7-8 years subgroup, the maximum of the anteroposterior component of the ground reaction force in the acceleration phase for the 9-10 years subgroup, and the time to reach the maximum of the anteroposterior component of the ground reaction force in the deceleration phase for the 11-12 years subgroup.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Adams, I. L. J., Ferguson, G. D., Lust, J. M., Steenbergen, B., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2016). Action planning and position sense in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science, 46*, 196–208. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.01.006>
- 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 Biobehavioral Reviews, 47*, 225–244. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.08.011>
- Adams, I. L. J., Lust, J. M., Wilson, P. H., & Steenbergen, B. (2017). Development of motor imagery and anticipatory action planning in children with developmental coordination disorder – A longitudinal approach. *Human Movement Science, 55*, 296–306. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.08.021>
- Adolph, K. E. (2020). An ecological approach to learning in (not and) development. *Human Development, 63*(3–4), 180–201. <https://doi.org/10.1159/000503823>
- Ager, A. L., Borms, D., Deschepper, L., Dhooghe, R., Dijkhuis, J., Roy, J. S., & Cools, A. (2020). Proprioception: How is it affected by shoulder pain? A systematic review. *Journal of Hand Therapy, 33*(4), 507–516. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2019.06.002>
- Ahmed, A. A., & Wolpert, D. M. (2009). Transfer of dynamic learning across postures. *Journal of Neurophysiology, 102*(5), 2816–2824. <https://doi.org/10.1152/jn.00532.2009>
- Allali, G., Assal, F., Kressig, R. W., Dubost, V., Herrmann, F. R., & Beauchet, O. (2008). Impact of impaired executive function on gait stability. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders, 26*(4), 364–369. <https://doi.org/10.1159/000162358>
- Alloway, T. P. (2007). Working memory, reading, and mathematical skills in children with developmental coordination disorder. *Journal of Experimental Child Psychology, 96*(1), 20–36. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.07.002>
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (5th Ed.). American Psychiatric Publishing.
- Arbib, M. A., Billard, A., Iacoboni, M., & Oztop, E. (2000). Synthetic brain imaging: Grasping, mirror neurons and imitation. *Neural Networks, 13*(8–9), 975–997. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(00\)00070-8](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(00)00070-8)
- Archea, J., Collins, B. L., & Stahl, F. I. (1979). *Guidelines for stair safety*. National Bureau of Standards. <https://doi.org/10.6028/NBS.BSS.120>
- Asonitou, K., Prodromitis, G., & Koutsouki, D. (2020). Research on hierarchical agglomerative cluster analysis as a trial method revealing developmental coordination disorder (DCD)

- subtypes. In A. Anand (Ed.), *Current topics in medicine and medical research Vol. 7* (pp. 14-31). BP International. <https://doi.org/10.9734/bpi/ctmamr/v7>
- Austin, G. P., Garrett, G. E., & Bohannon, R. W. (1999). Kinematic analysis of obstacle clearance during locomotion. *Gait and Posture*, *10*(2), 109–120. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(99\)00022-3](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(99)00022-3)
- Barnett, L. M., Ridgers, N. D., Zask, A., & Salmon, J. (2015). Face validity and reliability of a pictorial instrument for assessing fundamental movement skill perceived competence in young children. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *18*(1), 98–102. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.12.004>
- Batey, C. A., Missiuna, C. A., Timmons, B. W., Hay, J. A., Faight, B. E., & Cairney, J. (2014). Self-efficacy toward physical activity and the physical activity behavior of children with and without developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, *36*, 258–271. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.10.003>
- Beaulé, V., Tremblay, S., & Théoret, H. (2012). Interhemispheric control of unilateral movement. *Neural Plasticity*, *2012*. 627816. <https://doi.org/10.1155/2012/627816>
- Beck, S., Shamim, E. A., Richardson, S. P., Schubert, M., & Hallett, M. (2009). Inter-hemispheric inhibition is impaired in mirror dystonia. *European Journal of Neuroscience*, *29*(8), 1634–1640. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2009.06710.x>
- Beck, S., & Hallett, M. (2011). Surround inhibition in the motor system. *Experimental Brain Research*, *210*(2), 165–172. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2610-6>
- Begg, R. K., Sparrow, W. A., & Lythgo, N. D. (1998). Time-domain analysis of foot-ground reaction forces in negotiating obstacles. *Gait and Posture*, *7*(2), 99–109. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(97\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(97)00039-8)
- Berard, J. R., & Vallis, L. A. (2006). Characteristics of single and double obstacle avoidance strategies: A comparison between adults and children. *Experimental Brain Research*, *175*(1), 21–31. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0529-0>
- Berardelli, A., Abbruzzese, G., Chen, R., Orth, M., Ridding, M. C., Stinear, C., Suppa, A., Trompetto, C., & Thompson, P. D. (2008). Consensus paper on short-interval intracortical inhibition and other transcranial magnetic stimulation intracortical paradigms in movement disorders. *Brain Stimulation*, *1*(3), 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2008.06.005>
- Bernardi, M., Leonard, H. C., Hill, E. L., Botting, N., & Henry, L. A. (2018). Executive functions in children with developmental coordination disorder: A 2-year follow-up study. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *60*(3), 306–313. <https://doi.org/10.1111/dmnc.13640>

- Beunen, G., & Malina, R. (1988). Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. In K. Pandolf (Ed.), *Exercise and sport sciences reviews* (pp. 503-540). Macmillan.
- Biotteau, M., Albaret, J. M., & Chaix, Y. (2020). Developmental coordination disorder. In M. J. Aminoff, F. Boller, & D. F. Swaab (Eds.), *Handbook of clinical neurology* (pp. 3-20). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64148-9.00001-6>
- 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*, 7–10. <https://doi.org/10.3389/fneur.2016.00227>
- Biotteau, M., Danna, J., Baudou, É., Puyjarinet, F., Velay, J. L., Albaret, J. M., & Chaix, Y. (2019). Developmental coordination disorder and dysgraphia: Signs and symptoms, diagnosis, and rehabilitation. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, *15*, 1873–1885. <https://doi.org/10.2147/NDT.S120514>
- Bisi, M. C., & Stagni, R. (2016). Complexity of human gait pattern at different ages assessed using multiscale entropy: From development to decline. *Gait and Posture*, *47*, 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.04.001>
- Bizovská, L., Janura, M., Míková, M., & Svoboda, Z. (2017). *Rovnováha a možnosti jejího hodnocení*. Univerzita Palackého v Olomouci. <https://doi.org/10.5507/ftk.17.24452593>
- Blakemore, S. J., & Sirigu, A. (2003). Action prediction in the cerebellum and in the parietal lobe. *Experimental Brain Research*, *153*(2), 239–245. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1597-z>
- Blank, R., Barnett, A. L., Cairney, J., Green, D., Kirby, A., Polatajko, H., Rosenblum, S., Smits-Engelsman, B., Sugden, D., Wilson, P., & Vinçon, S. (2019). International clinical practice recommendations on the definition, diagnosis, assessment, intervention, and psychosocial aspects of developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *61*(3), 242–285. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14132>
- Boonyong, S., Siu, K. C., van Donkelaar, P., Chou, L. S., & Woollacott, M. H. (2012). Development of postural control during gait in typically developing children: The effects of dual-task conditions. *Gait and Posture*, *35*(3), 428–434. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.11.002>
- Bosch, K., & Rosenbaum, D. (2010). Gait symmetry improves in childhood - A 4-year follow-up of foot loading data. *Gait and Posture*, *32*(4), 464–468. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.07.002>

- Bovonsunthonchai, S., Khobkhun, F., & Vachalathiti, R. (2015). Ground reaction forces of the lead and trail limbs when stepping over an obstacle. *Medical Science Monitor*, *21*, 2041–2049. <https://doi.org/10.12659/MSM.893965>
- Braver, T. S., & Bongiolatti, S. R. (2002). The role of frontopolar cortex in subgoal processing during working memory. *NeuroImage*, *15*(3), 523–536. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.1019>
- Bril, B., & Brenière, Y. (1992). Postural requirements and progression velocity in young walkers. *Journal of Motor Behavior*, *24*(1), 105–116. <https://doi.org/10.1080/00222895.1992.9941606>
- Brown-Lum, M., & Zwicker, J. G. (2015). Brain imaging increases our understanding of developmental coordination disorder: A review of literature and future directions. *Current Developmental Disorders Reports*, *2*(2), 131–140. <https://doi.org/10.1007/s40474-015-0046-6>
- Brown, L. A., McKenzie, N. C., & Doan, J. B. (2005). Age-dependent differences in the attentional demands of obstacle negotiation. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *60*(7), 924–927. <https://doi.org/10.1093/gerona/60.7.924>
- Bruijn, S. M., & van Dieën, J. H. (2018). Control of human gait stability through foot placement. *Journal of the Royal Society Interface*, *15*(143), 20170816. <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0816>
- Bruininks, R. H., & Bruininks, B. D. (2005). *BOT2: Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency*. AGS Publishing.
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G. R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R. J., Zilles, K., Rizzolatti, G., & Freund, H. J. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: An fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, *13*(2), 400–404. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2001.01385.x>
- Byblow, W. D., & Stinear, C. M. (2006). Modulation of short-latency intracortical inhibition in human primary motor cortex during synchronised versus syncopated finger movements. *Experimental Brain Research*, *168*(1–2), 287–293. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-0205-9>
- Caçola, P. (2016). Physical and mental health of children with developmental coordination disorder. *Frontiers in Public Health*, *4*, 1–6. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2016.00224>
- Caçola, P., & Killian, M. (2018). Health-related quality of life in children with developmental coordination disorder: Association between the PedsQL and KIDSCREEN instruments and comparison with their normative samples. *Research in Developmental Disabilities*, *75*, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.02.009>

- Cairney, J., Hay, J. A., Fought, B. E., Flouris, A., & Klentrou, P. (2007). Developmental coordination disorder and cardiorespiratory fitness in children. *Pediatric Exercise Science, 19*(1), 20–28. <https://doi.org/10.1123/pes.19.1.20>
- Cairney, J., Rigoli, D., & Piek, J. (2013). Developmental coordination disorder and internalizing problems in children: The environmental stress hypothesis elaborated. *Developmental Review, 33*(3), 224–238. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2013.07.002>
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2005). Action observation and acquired motor skills: An fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex, 15*(8), 1243–1249. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi007>
- Calvo-Merino, B., Grèzes, J., Glaser, D. E., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2006). Seeing or doing? Influence of visual and motor familiarity in action observation. *Current Biology, 16*(19), 1905–1910. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.07.065>
- Cantell, M. H., Smyth, M. M., & Ahonen, T. P. (2003). Two distinct pathways for developmental coordination disorder: Persistence and resolution. *Human Movement Science, 22*(4–5), 413–431. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2003.09.002>
- Capaday, C. (2004). The integrated nature of motor cortical function. *Neuroscientist, 10*(3), 207–220. <https://doi.org/10.1177/107385403262109>
- Caspers, S., Zilles, K., Laird, A. R., & Eickhoff, S. B. (2010). ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *NeuroImage, 50*(3), 1148–1167. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.12.112>
- Catani, M., Jones, D. K., & Ffytche, D. H. (2005). Perisylvian language networks of the human brain. *Annals of Neurology, 57*(1), 8–16. <https://doi.org/10.1002/ana.20319>
- Cermak, S. A., Katz, N., Weintraub, N., Steinhart, S., Raz-Silbiger, S., Munoz, M., & Lifshitz, N. (2015). Participation in physical activity, fitness, and risk for obesity in children with developmental coordination disorder: A cross-cultural study. *Occupational Therapy International, 22*(4), 163–173. <https://doi.org/10.1002/oti.1393>
- Cleaton, M. A. M., & Kirby, A. (2018). Why do we find it so hard to calculate the burden of neurodevelopmental disorders. *Journal of Childhood & Developmental Disorders, 04*(3), 1–20. <https://doi.org/10.4172/2472-1786.100073>
- Cleaton, M. A. M., Tal-Saban, M., Hill, E. L., & Kirby, A. (2021). Gender and age differences in the presentation of at-risk or probable developmental coordination disorder in adults. *Research in Developmental Disabilities, 115*, 104010. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2021.104010>

- Cleaton, M. A. M., Lorgelly, P. K., & Kirby, A. (2019). Developmental coordination disorder: The impact on the family. *Quality of Life Research, 28*(4), 925–934. <https://doi.org/10.1007/s11136-018-2075-1>
- Corporaal, S. H. A., Swinnen, S. P., Duysens, J., & Bruijn, S. M. (2016). Slow maturation of planning in obstacle avoidance in humans. *Journal of Neurophysiology, 115*(1), 404–412. <https://doi.org/10.1152/jn.00701.2015>
- Cowie, M. J., MacDonald, H. J., Cirillo, J., & Byblow, W. D. (2016). Proactive modulation of long-interval intracortical inhibition during response inhibition. *Journal of Neurophysiology, 116*(2), 859–867. <https://doi.org/10.1152/jn.00144.2016>
- Coxon, J. P., Stinear, C. M., & Byblow, W. D. (2006). Intracortical inhibition during volitional inhibition of prepared action. *Journal of Neurophysiology, 95*(6), 3371–3383. <https://doi.org/10.1152/jn.01334.2005>
- Darrah, J., Hodge, M., Magill-Evans, J., & Kembhavi, G. (2003). Stability of serial assessments of motor and communication abilities in typically developing infants - Implications for screening. *Early Human Development, 72*(2), 97–110. [https://doi.org/10.1016/S0378-3782\(03\)00027-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3782(03)00027-6)
- Davidson, P. R., & Wolpert, D. M. (2005). Widespread access to predictive models in the motor system: A short review. *Journal of Neural Engineering, 2*(3). <https://doi.org/10.1088/1741-2560/2/3/S11>
- Decety, J. (1996). The neurophysiological basis of motor imagery. *Behavioural Brain Research, 77*(1–2), 45–52. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0166432895002251>
- Deconinck, F. J. A., Savelsbergh, G. J. P., De Clercq, D., & Lenoir, M. (2010). Balance problems during obstacle crossing in children with developmental coordination disorder. *Gait and Posture, 32*(3), 327–331. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.05.018>
- Deconinck, F. J. A., De Clercq, D., Savelsbergh, G. J. P., van Coster, R., Oostra, A., Dewitte, G., & Lenoir, M. (2006). Differences in gait between children with and without developmental coordination disorder. *Motor Control, 10*(2), 125–142. <https://doi.org/10.1123/mcj.10.2.125>
- Demers, I., Moffet, H., Hébert, L., & Maltais, D. B. (2020). Growth and muscle strength development in children with developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology, 62*(9), 1082–1088. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14507>
- Desmurget, M., & Grafton, S. (2003). Feedback or feedforward control: End of dichotomy. In S. H. Johnson-Frey (Ed.), *Taking action: Cognitive neuroscience perspectives on intentional acts* (pp. 289-338). MIT Press.

- 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. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13753>
- Dewey, D., Kaplan, B. J., Crawford, S. G., & Wilson, B. N. (2002). Developmental coordination disorder: Associated problems in attention, learning, and psychosocial adjustment. *Human Movement Science*, *21*(5–6), 905–918. [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(02\)00163-X](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(02)00163-X)
- Diamond, N., Downs, J., & Morris, S. (2014). "The problem with running" - Comparing the propulsion strategy of children with developmental coordination disorder and typically developing children. *Gait and Posture*, *39*(1), 547–552. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.09.007>
- Domínguez-Zamora, F. J., Gunn, S. M., & Marigold, D. S. (2018). Adaptive gaze strategies to reduce environmental uncertainty during a sequential visuomotor behaviour. *Scientific Reports*, *8*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32504-0>
- Dominici, N., Ivanenko, Y. P., Cappellini, G., Zampagni, M. L., & Lacquaniti, F. (2010). Kinematic strategies in newly walking toddlers stepping over different support surfaces. *Journal of Neurophysiology*, *103*(3), 1673–1684. <https://doi.org/10.1152/jn.00945.2009>
- Du, W., Ke, L., Wang, Y., Hua, J., Duan, W., & Barnett, A. L. (2020). The prenatal, postnatal, neonatal, and family environmental risk factors for developmental coordination disorder: A study with a national representative sample. *Research in Developmental Disabilities*, *104*(April). <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103699>
- Du, W., Wilmut, K., & Barnett, A. L. (2015). Level walking in adults with and without developmental coordination disorder: An analysis of movement variability. *Human Movement Science*, *43*, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.06.010>
- Dyspraxia Foundation USA. (2023). *What is dyspraxia?*. <https://dyspraxiausa.org/what-is-dyspraxia/>
- Edwards, J., Berube, M., Erlandson, K., Haug, S., Johnstone, H., Meagher, M., Sarkodee-Adoo, S., & 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. <https://doi.org/10.1097/DBP.0b013e31822a396a>
- Ellmers, T. J., & Young, W. R. (2019). The influence of anxiety and attentional focus on visual search during adaptive gait. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *45*(6), 697–714. <https://doi.org/10.1037/xhp0000615>

- Engel-Yeger, B., & Hanna Kasis, A. (2010). The relationship between developmental coordination disorders, child's perceived self-efficacy and preference to participate in daily activities. *Child: Care, Health and Development*, 36(5), 670–677. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2010.01073.x>
- Farmer, M., Echenne, B., & Bentourkia, M. (2016). Study of clinical characteristics in young subjects with developmental coordination disorder. *Brain and Development*, 38(6), 538–547. <https://doi.org/10.1016/j.braindev.2015.12.010>
- Faught, B. E., Hay, J. A., Cairney, J., & Flouris, A. (2005). Increased risk for coronary vascular disease in children with developmental coordination disorder. *Journal of Adolescent Health*, 37(5), 376–380. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2004.09.021>
- Ferdjallah, M., Harris, G. F., Smith, P., & Wertsch, J. J. (2002). Analysis of postural control synergies during quiet standing in healthy children and children with cerebral palsy. *Clinical Biomechanics*, 17(3), 203–210. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(01\)00121-8](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(01)00121-8)
- Flapper, B. C. T., & Schoemaker, M. M. (2013). Developmental coordination disorder in children with specific language impairment: Co-morbidity and impact on quality of life. *Research in Developmental Disabilities*, 34(2), 756–763. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.10.014>
- Fletcher S., Mickelson E. C. R., & Zwicker, J. G. (2017). Diagnosing developmental coordination disorder: How informative are the neurological exam and parent interview? Brain-Child-Partnership Abstract, November 6-8, 2017, Toronto, Ont
- Fogassi, L., Ferrari, P. F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., & Rizzolatti, G. (2005). Parietal lobe: From action organization to intention understanding. *Science*, 308(5722), 662–667. <https://doi.org/10.1126/science.1106138>
- Foulsham, T. (2015). Eye movements and their functions in everyday tasks. *Eye*, 29(2), 196–199. <https://doi.org/10.1038/eye.2014.275>
- Gage, W. H., Sleik, R. J., Polych, M. A., McKenzie, N. C., & Brown, L. A. (2003). The allocation of attention during locomotion is altered by anxiety. *Experimental Brain Research*, 150(3), 385–394. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1468-7>
- Galna, B., Peters, A., Murphy, A. T., & Morris, M. E. (2009). Obstacle crossing deficits in older adults: A systematic review. *Gait and Posture*, 30(3), 270–275. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.05.022>
- Gentle, J., Barnett, A. L., & Wilmut, K. (2016). Adaptations to walking on an uneven terrain for individuals with and without developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 49, 346–353. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.08.010>

- Gentle, J., Brady, D., Woodger, N., Croston, S., & Leonard, H. C. (2021). Driving skills of individuals with and without developmental coordination disorder (DCD/Dyspraxia). *Frontiers in Human Neuroscience*, *15*(March), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.635649>
- Gentsch, A., Weber, A., Synofzik, M., Vosgerau, G., & Schütz-Bosbach, S. (2016). Towards a common framework of grounded action cognition: Relating motor control, perception and cognition. *Cognition*, *146*, 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.09.010>
- Gibbs, J., Appleton, J., & Appleton, R. (2007). Dyspraxia or developmental coordination disorder? Unravelling the enigma. *Archives of Disease in Childhood*, *92*(6), 534–539. <https://doi.org/10.1136/adc.2005.088054>
- Gillberg, C. (2003). Deficits in attention, motor control, and perception: A brief review. *Archives of Disease in Childhood*, *88*(10), 904–910. <https://doi.org/10.1136/adc.88.10.904>
- Gillberg, C., & Kadesjö, B. (2003). Why bother about clumsiness? The implications of having developmental coordination disorder (DCD). *Neural Plasticity*, *10*(1–2), 59–68. <https://doi.org/10.1155/NP.2003.59>
- Gomez, A., & Huron, C. (2020). Subitizing and counting impairments in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *104*, 103717. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103717>
- Gomez, A., Piazza, M., Jobert, A., Dehaene-Lambertz, G., Dehaene, S., & Huron, C. (2015). Mathematical difficulties in developmental coordination disorder: Symbolic and nonsymbolic number processing. *Research in Developmental Disabilities*, *43–44*, 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.06.011>
- Goulardins, J. B., Marques, J. C. B., & De Oliveira, J. A. (2017). Attention deficit hyperactivity disorder and motor impairment: A critical review. *Perceptual and Motor Skills*, *124*(2), 425–440. <https://doi.org/10.1177/0031512517690607>
- Goulardins, J. B., Rigoli, D., Licari, M., Piek, J. P., Hasue, R. H., Oosterlaan, J., & Oliveira, J. A. (2015). Attention deficit hyperactivity disorder and developmental coordination disorder: Two separate disorders or do they share a common etiology. *Behavioural Brain Research*, *292*, 484–492. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2015.07.009>
- Grafton, S. T., Arbib, M. A., Fadiga, L., & Rizzolatti, G. (1996). Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. 2. Observation compared with imagination. *Experimental Brain Research*, *112*(1), 103–111.
- Grush, R. (2004). The emulation theory of representation: Motor control, imagery, and perception. *Behavioral and Brain Sciences*, *27*(3), 377–396. <https://doi.org/10.1017/S0140525X04000093>

- Guillot, A., Debarnot, U., Louis, M., Hoyek, N., & Collet, C. (2010). Motor imagery and motor performance: Evidence from the sport science literature. In A. Guillot & C. Collet (Eds.), *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery* (pp. 215–226). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199546251.003.0015>
- Gurvits, T. V., Gilbertson, M. W., Lasko, N. B., Tarhan, A. S., Simeon, D., Macklin, M. L., Orr, S. P., & Pitman, R. K. (2000). Neurologic soft signs in chronic posttraumatic stress disorder. *Archives of General Psychiatry*, *57*(2), 181–186. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.57.2.181>
- Hamel, K. A., Okita, N., Higginson, J. S., & Cavanagh, P. R. (2005). Foot clearance during stair descent: Effects of age and illumination. *Gait and Posture*, *21*(2), 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.01.006>
- Hamilton, A. F., & Grafton, S. T. (2008). Action outcomes are represented in human inferior frontoparietal cortex. *Cerebral Cortex*, *18*(5), 1160–1168. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm150>
- Harris, S. R., Mickelson, E. C. R., & Zwicker, J. G. (2015). Diagnosis and management of developmental coordination disorder. *Canadian Medical Association Journal*, *187*(9), 659–665. <https://doi.org/10.1503/cmaj.140994>
- Harris, S., Wilmut, K., & Rathbone, C. (2021). Anxiety, confidence and self-concept in adults with and without developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *119*, 104119. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2021.104119>
- Harrowell, I., Hollén, L., Lingam, R., & Emond, A. (2018). The impact of developmental coordination disorder on educational achievement in secondary school. *Research in Developmental Disabilities*, *72*, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.10.014>
- Haslinger, B., Erhard, P., Altenmüller, E., Schroeder, U., Boecker, H., & Ceballos-Baumann, A. O. (2005). Transmodal sensorimotor networks during action observation in professional pianists. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(2), 282–293. <https://doi.org/10.1162/0898929053124893>
- He, J. L., Fuelscher, I., Enticott, P. G., Teo, W. P., Barhoun, P., & Hyde, C. (2018). Interhemispheric cortical inhibition is reduced in young adults with developmental coordination disorder. *Frontiers in Neurology*, *9*, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00179>
- Heijnen, M. J. H., Muir, B. C., & Rietdyk, S. (2012). Factors leading to obstacle contact during adaptive locomotion. *Experimental Brain Research*, *223*(2), 219–231. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3253-y>

- Henderson, S. E., & Henderson, L. (2002). Toward an understanding of developmental coordination disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly*, *19*(1), 11–31. <https://doi.org/10.1123/apaq.19.1.11>
- 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. <https://doi.org/10.1111/obr.12137>
- Higuchi, T. (2013). Visuomotor control of human adaptive locomotion: Understanding the anticipatory nature. *Frontiers in Psychology*, *4*, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00277>
- Hilliard, M. J., Martinez, K. M., Janssen, I., Edwards, B., Mille, M. L., Zhang, Y., & Rogers, M. W. (2008). Lateral balance factors predict future falls in community-living older adults. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *89*(9), 1708–1713. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2008.01.023>
- Hirschfeld, H., & Forssberg, H. (1992). Development of anticipatory postural adjustments during locomotion in children. *Journal of Neurophysiology*, *68*(2), 542–550. <https://doi.org/10.1152/jn.1992.68.2.542>
- Hof, A. L. (2007). The equations of motion for a standing human reveal three mechanisms for balance. *Journal of Biomechanics*, *40*(2), 451–457. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.12.016>
- Hollands, M. A., & Marple-Horvat, D. E. (2001). Coordination of eye and leg movements during visually guided stepping. *Journal of Motor Behavior*, *33*(2), 205–216. <https://doi.org/10.1080/00222890109603151>
- Chang, C. L., Kubo, M., & Ulrich, B. D. (2009). Emergence of neuromuscular patterns during walking in toddlers with typical development and with Down syndrome. *Human Movement Science*, *28*(2), 283–296. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2008.12.002>
- Chen, F. C., Pan, C. Y., Chu, C. H., Tsai, C. L., & Tseng, Y. T. (2020). Joint position sense of lower extremities is impaired and correlated with balance function in children with developmental coordination disorder. *Journal of Rehabilitation Medicine*, *52*(8). <https://doi.org/10.2340/16501977-2720>
- Chen, H. C., Ashton-Miller, J. A., Alexander, N. B., & Schultz, A. B. (1991). Stepping over obstacles: Gait patterns of healthy young and old adults. *Journals of Gerontology*, *46*(6), 196–203. <https://doi.org/10.1093/geronj/46.6.M196>
- Chen, H. L., & Lu, T. W. (2006). Comparisons of the joint moments between leading and trailing limb in young adults when stepping over obstacles. *Gait and Posture*, *23*(1), 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.12.001>

- Cherng, R. J., Liang, L. Y., Chen, Y. J., & Chen, J. Y. (2009). The effects of a motor and a cognitive concurrent task on walking in children with developmental coordination disorder. *Gait and Posture*, *29*(2), 204–207. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.08.003>
- Chester, V. L., & Wrigley, A. T. (2008). The identification of age-related differences in kinetic gait parameters using principal component analysis. *Clinical Biomechanics*, *23*(2), 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.09.007>
- Chou, L. S., & Draganich, L. F. (1998b). Increasing obstacle height and decreasing toe-obstacle distance affect the joint moments of the stance limb differently when stepping over an obstacle. *Gait and Posture*, *8*(3), 186–204. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(98\)00034-4](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(98)00034-4)
- Chou, L.S., & Draganich, L.F. (1998a). Placing the trailing foot closer to an obstacle reduces flexion of the hip, knee, and ankle to increase the risk to tripping. *Journal of Biomechanics*, *31*(8), 685–691. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(98\)00081-5](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(98)00081-5)
- Iacoboni, M. (2005). Neural mechanisms of imitation. *Current Opinion in Neurobiology*, *15*(6), 632–637. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.10.010>
- Iacoboni, M. (2009). Imitation, empathy, and mirror neurons. *Annual Review of Psychology*, *60*, 653–670. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.60.110707.163604>
- Iacoboni, M., & Dapretto, M. (2006). The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nature Reviews Neuroscience*, *7*(12), 942–951. <https://doi.org/10.1038/nrn2024>
- Iacoboni, M., Koski, L. M., Brass, M., Bekkering, H., Woods, R. P., & Dubeau, M. (2001). Reafferent copies of imitated actions in the right. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *98*(24), 13995–13999.
- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, *286*(5449), 2526–2528. <https://doi.org/10.1126/science.286.5449.2526>
- Ip, A., Mickelson, E. C. R., & Zwicker, J. G. (2021). Assessment, diagnosis, and management of developmental coordination disorder. *Paediatrics & Child Health*, *26*(6), 375–378. <https://doi.org/10.1093/pch/pxab047>
- Ito, T., Ito, Y., Nakai, A., Sugiura, H., Noritake, K., Kidokoro, H., Natsume, J., & Ochi, N. (2021). Bilateral asymmetry in the gait deviation index in school-aged children with the trait of developmental coordination disorder. *Gait and Posture*, *88*(December 2020), 174–179. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.05.027>

- Iversen, S., Berg, K., Ellertsen, B., & Tønnessen, F. E. (2005). Motor coordination difficulties in a municipality group and in a clinical sample of poor readers. *Dyslexia*, *11*(3), 217–231. <https://doi.org/10.1002/dys.297>
- Izadi-Najafabadi, S., Ryan, N., Ghafooripoor, G., Gill, K., & Zwicker, J. G. (2019). Participation of children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *84*(July 2018), 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.05.011>
- Jabbi, M., & Keysers, C. (2008). Inferior frontal gyrus activity triggers anterior insula response to emotional facial expressions. *Emotion*, *8*(6), 775–780. <https://doi.org/10.1037/a0014194>
- James, M. E., King-Dowling, S., Graham, J. D., Missiuna, C., Timmons, B. W., & Cairney, J. (2022). Effects of comorbid developmental coordination disorder and symptoms of attention deficit hyperactivity disorder on physical activity in children aged 4–5 years. *Child Psychiatry and Human Development*, *53*(4), 786–796. <https://doi.org/10.1007/s10578-021-01155-0>
- Janura, M., Vařeka, I., Lehnert, M., & Svoboda, Z. (2012). *Metody biomechanické analýzy pohybu*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Jeannerod, M. (2006). *Motor cognition: What actions tell the self*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198569657.001.0001>
- Jellema, T., Baker, C. I., Wicker, B., & Perrett, D. I. (2000). Neural representation for the perception of the intentionality of actions. *Brain and Cognition*, *44*(2), 280–302. <https://doi.org/10.1006/brcg.2000.1231>
- Jovancevic-Misic, J., & Hayhoe, M. (2009). Adaptive gaze control in natural environments. *Journal of Neuroscience*, *29*(19), 6234–6238. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5570-08.2009>
- Kawato, M. (1999). Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology*, *9*(6), 718–727. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(99\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(99)00028-8)
- Keysers, C., & Gazzola, V. (2009). Expanding the mirror: Vicarious activity for actions, emotions, and sensations. *Current Opinion in Neurobiology*, *19*(6), 666–671. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2009.10.006>
- Keysers, C., & Gazzola, V. (2014). Hebbian learning and predictive mirror neurons for actions, sensations and emotions. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Series B, Biological Sciences*, *369*(1644), 20130175. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0175>
- Keysers, C., Wicker, B., Gazzola, V., Anton, J. L., Fogassi, L., & Gallese, V. (2004). A touching sight: SII/PV activation during the observation and experience of touch. *Neuron*, *42*(2), 335–346. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(04\)00156-4](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(04)00156-4)

- Kilner, J. M., Friston, K. J., & Frith, C. D. (2007). Predictive coding: An account of the mirror neuron system. *Cognitive Processing*, 8(3), 159–166. <https://doi.org/10.1007/s10339-007-0170-2>
- Kilner, J. M., Neal, A., Weiskopf, N., Friston, K. J., & Frith, C. D. (2009). Evidence of mirror neurons in human inferior frontal gyrus. *Journal of Neuroscience*, 29(32), 10153–10159. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2668-09.2009>
- Kilroy, E., Cermak, S. A., & Aziz-Zadeh, L. (2019). A review of functional and structural neurobiology of the action observation network in autism spectrum disorder and developmental coordination disorder. *Brain Sciences*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/brainsci9040075>
- Kirby, A., Sugden, D., & Purcell, C. (2014). Diagnosing developmental coordination disorders. *Archives of Disease in Childhood*, 99(3), 292–296. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2012-303569>
- Kirtley, C. (2006). *Clinical gait analysis: Theory and practice*. Elsevier.
- Kokštejn, J., Musálek, M., Šťastný, P., & Golas, A. (2017). Fundamental motor skills of Czech children at the end of the preschool period. *Acta Gymnica*, 47(4), 193–200. <https://doi.org/10.5507/ag.2017.024>
- Kokštejn, J., Psotta, R., & Musálek, M. (2015). Motor competence in Czech children aged 11-15: What is the incidence of a risk of developmental coordination disorder? *Acta Gymnica*, 45(2), 61–68. <https://doi.org/10.5507/ag.2015.009>
- Kolář, P., Bitnar, P., Horáček, O., Dyrhonová, O., Kříž, J., Adámková, M., Babková, L., Calta, J., Cikánková, V., Čakrt, O., Čech, Z., Černý, R., Čumpelík, J., Danielová, B., Dobeš, M., Druga, R., Hamáčková, A., Hátlová, B., Hoskovcová, M. ... Zumrová, A. (2009). *Rehabilitace v klinické praxi*. Galén.
- Kolář, P., Smržová, J., & Kobesová, A. (2011). Vývojová porucha koordinace - vývojová dyspraxie. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie*, 74(5), 533–538. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-80053139112&partnerID=40&md5=1a22fd3c37bc1d0578ab4bd3797c33fb>
- Kopp, S., Beckung, E., & Gillberg, C. (2010). Developmental coordination disorder and other motor control problems in girls with autism spectrum disorder and/or attention-deficit/hyperactivity disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 31(2), 350–361. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2009.09.017>
- Kovacs, C. R. (2005). Age-related changes in gait and obstacle avoidance capabilities in older adults: A review. *Journal of Applied Gerontology*, 24(1), 21–34. <https://doi.org/10.1177/0733464804271279>

- Krell, J., & Patla, A. E. (2002). The influence of multiple obstacles in the travel path on avoidance strategy. *Gait and Posture*, *16*(1), 15–19. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(01\)00194-1](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00194-1)
- Kuo, M. Y., Hong, S. W., Leu, T. H., Kuo, C. C., Lu, T. W., & Wang, J. H. (2017). Kinematic strategies for obstacle-crossing in patients with isolated posterior cruciate ligament deficiency. *Gait and Posture*, *57*, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.05.008>
- Landgren, V., Fernell, E., Gillberg, C., Landgren, M., & Johnson, M. (2021). Attention-deficit/hyperactivity disorder with developmental coordination disorder: 24-year follow-up of a population-based sample. *BMC Psychiatry*, *21*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12888-021-03154-w>
- Largo, R. H., Caflisch, J. A., Hug, F., Muggli, K., Molnar, A. A., & Molinari, L. (2001). Neuromotor development from 5 to 18 years. Part 2: Associated movements. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *43*(7), 444–453. <https://doi.org/10.1017/s0012162201000822>
- Leisman, G., Moustafa, A. A., & Shafir, T. (2016). Thinking, walking, talking: Integratory motor and cognitive brain function. *Frontiers in Public Health*, *4*, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00094>
- Leocani, L., Cohen, L. G., Wassermann, E. M., Ikoma, K., & Hallett, M. (2000). Human corticospinal excitability evaluated with transcranial magnetic stimulation during different reaction time paradigms. *Brain*, *123*(6), 1161–1173. <https://doi.org/10.1093/brain/123.6.1161>
- Leonard, H. C., Bernardi, M., Hill, E. L., & Henry, L. A. (2015). Executive functioning, motor difficulties, and developmental coordination disorder. *Developmental Neuropsychology*, *40*(4), 201–215. <https://doi.org/10.1080/87565641.2014.997933>
- Li, J. Y., Espay, A. J., Gunraj, C. A., Pal, P. K., Cunic, D. I., Lang, A. E., & Chen, R. (2007). Interhemispheric and ipsilateral connections in Parkinson's disease: Relation to mirror movements. *Movement Disorders*, *22*(6), 813–821. <https://doi.org/10.1002/mds.21386>
- Li, Y. C., Kwan, M. Y. W., Clark, H. J., Hay, J., Faught, B. E., & Cairney, J. (2018). A test of the environmental stress hypothesis in children with and without developmental coordination disorder. *Psychology of Sport and Exercise*, *37*, 244–250. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.11.001>
- Licari, M. K., Alvares, G. A., Bernie, C., Elliott, C., Evans, K. L., McIntyre, S., Pillar, S. V., Reynolds, J. E., Reid, S. L., Spittle, A. J., Whitehouse, A. J. O., Zwicker, J. G., & Williams, J. (2021). The unmet clinical needs of children with developmental coordination disorder. *Pediatric Research*, *90*(4), 826–831. <https://doi.org/10.1038/s41390-021-01373-1>

- Liepert, J., Classen, J., Cohen, L. G., & Hallett, M. (1998). Task-dependent changes of intracortical inhibition. *Experimental Brain Research*, *118*(3), 421–426. <https://doi.org/10.1007/s002210050296>
- Lino, F., & Chieffo, D. P. R. (2022). Developmental coordination disorder and most prevalent comorbidities: A narrative review. *Children*, *9*(7), 1–10. <https://doi.org/10.3390/children9071095>
- Lowrey, C. R., Watson, A., & Vallis, L. A. (2007). Age-related changes in avoidance strategies when negotiating single and multiple obstacles. *Experimental Brain Research*, *182*(3), 289–299. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-0986-0>
- Lu, T. W., Chen, H. L., & Chen, S. C. (2006). Comparisons of the lower limb kinematics between young and older adults when crossing obstacles of different heights. *Gait and Posture*, *23*(4), 471–479. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.06.005>
- Lust, J. M., Steenbergen, B., Diepstraten, J. E. M., Wilson, P. H., Schoemaker, M. M., & Poelma, M. J. (2022). The subtypes of developmental coordination disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *64*(11), 1366–1374. <https://doi.org/10.1111/dmcn.15260>
- MacDonald, H. J., Coxon, J. P., Stinear, C. M., & Byblow, W. D. (2014). The fall and rise of corticomotor excitability with cancellation and reinitiation of prepared action. *Journal of Neurophysiology*, *112*(11), 2707–2717. <https://doi.org/10.1152/jn.00366.2014>
- MacIntyre, T., & Moran, A. (2010). Meta-imagery processes among elite sports performers. In A. Guillot & C. Collet (Eds.), *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery* (pp. 227–244). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199546251.003.0016>
- Maeda, F., Kleiner-Fisman, G., & Pascual-Leone, A. (2002). Motor facilitation while observing hand actions: Specificity of the effect and role of observer's orientation. *Journal of Neurophysiology*, *87*(3), 1329–1335. <https://doi.org/10.1152/jn.00773.2000>
- Maidan, I., Eyal, S., Kurz, I., Geffen, N., Gazit, E., Ravid, L., Giladi, N., Mirelman, A., & Hausdorff, J. M. (2018). Age-associated changes in obstacle negotiation strategies: Does size and timing matter? *Gait and Posture*, *59*, 242–247. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.10.023>
- Marigold, D. S., & Patla, A. E. (2008). Age-related changes in gait for multi-surface terrain. *Gait and Posture*, *27*(4), 689–696. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.09.005>
- Matthis, J. S., & Fajen, B. R. (2014). Visual control of foot placement when walking over complex terrain. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *40*(1), 106–115. <https://doi.org/10.1037/a0033101>

- McFadyen, B. J., Malouin, F., & Dumas, F. (2001). Anticipatory locomotor control for obstacle avoidance in mid-childhood aged children. *Gait and Posture*, *13*(1), 7–16. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(00\)00090-4](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(00)00090-4)
- McFadyen, B. J., & Prince, F. (2002). Avoidance and accommodation of surface height changes by healthy, community-dwelling, young, and elderly men. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *57*(4), B166–B174. <https://doi.org/10.1093/gerona/57.4.B166>
- McLeod, K. R., Langevin, L. M., Dewey, D., & Goodyear, B. G. (2016). Atypical within- and between-hemisphere motor network functional connections in children with developmental coordination disorder and attention-deficit/hyperactivity disorder. *NeuroImage: Clinical*, *12*, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2016.06.019>
- McNamee, D., & Wolpert, D. M. (2019). Internal models in biological control. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, *2*(1), 339–364. <https://doi.org/10.1146/annurev-control-060117-105206>
- Meachon, E. J. (2023). Perspective: Acknowledging complexity to advance the understanding of developmental coordination disorder. *Frontiers in Human Neuroscience*, *16*, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.1082209>
- Mendoza, G., & Merchant, H. (2014). Motor system evolution and the emergence of high cognitive functions. *Progress in Neurobiology*, *122*, 73–93. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2014.09.001>
- Menz, H. B., Lord, S. R., St George, R., & Fitzpatrick, R. C. (2004). Walking stability and sensorimotor function in older people with diabetic peripheral neuropathy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *85*(2), 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.06.015>
- Miall, R. C. (2003). Connecting mirror neurons and forward models. *NeuroReport*, *14*(17), 2135–2137. <https://doi.org/10.1097/00001756-200312020-00001>
- Mian, O. S., Narici, M. V., Minetti, A. E., & Baltzopoulos, V. (2007). Centre of mass motion during stair negotiation in young and older men. *Gait and Posture*, *26*(3), 463–469. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.11.202>
- Minassian, K., Hofstoetter, U. S., Dzeladini, F., Guertin, P. A., & Ijspeert, A. (2017). The human central pattern generator for locomotion: Does it exist and contribute to walking? *Neuroscientist*, *23*(6), 649–663. <https://doi.org/10.1177/1073858417699790>
- Missiuna, C., Cairney, J., Pollock, N., Campbell, W., Russell, D. J., Macdonald, K., Schmidt, L., Heath, N., Veldhuizen, S., & Cousins, M. (2014). Psychological distress in children with developmental coordination disorder and attention-deficit hyperactivity disorder.

- Research in Developmental Disabilities*, 35(5), 1198–1207.
<https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.01.007>
- Missiuna, C., Moll, S., King, G., Stewart, D., & Macdonald, K. (2008). Life experiences of young adults who have coordination difficulties. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 75(3), 157–166. <https://doi.org/10.1177/000841740807500307>
- Missiuna, C., & Pollock, N. (2000). Perceived efficacy and goal setting in young children. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 67(2), 101–109. <https://doi.org/10.1177/000841740006700303>
- Missiuna, C., Rivard, L., & Pollock, N. (2004). They're bright but can't write: Developmental coordination disorder in school aged children. *Teaching Exceptional Children Plus*, 1(1). <http://journals.cec.sped.org/tecplus/vol1/iss1/art3/>
- Mittal, V. A., & Wakschlag, L. S. (2017). Research domain criteria (RDoC) grows up: Strengthening neurodevelopment investigation within the RDoC framework. *Journal of Affective Disorders*, 216, 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.12.011>
- Miyahara, M., & Möbs, I. (1995). Developmental dyspraxia and developmental coordination disorder. *Neuropsychology Review*, 5(4), 245–268. <https://doi.org/10.1007/BF02214648>
- Miyasike-Dasilva, V., Allard, F., & McIlroy, W. E. (2011). Where do we look when we walk on stairs? Gaze behaviour on stairs, transitions, and handrails. *Experimental Brain Research*, 209(1), 73–83. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2520-z>
- Mohagheghi, A. A., Moraes, R., & Patla, A. E. (2004). The effects of distant and on-line visual information on the control of approach phase and step over an obstacle during locomotion. *Experimental Brain Research*, 155(4), 459–468. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1751-7>
- Montes-Montes, R., Delgado-Lobete, L., & Rodríguez-Seoane, S. (2021). Developmental coordination disorder, motor performance, and daily participation in children with attention deficit and hyperactivity disorder. *Children*, 8(3), 187. <https://doi.org/10.3390/children8030187>
- Mosca, S. J., Langevin, L. M., Dewey, D., Innes, A. M., Lionel, A. C., Marshall, C. C., Scherer, S. W., Parboosingh, J. S., & Bernier, F. P. (2016). Copy-number variations are enriched for neurodevelopmental genes in children with developmental coordination disorder. *Journal of Medical Genetics*, 53(12), 812–819. <https://doi.org/10.1136/jmedgenet-2016-103818>
- Muir, B. C., Haddad, J. M., Heijnen, M. J. H., & Rietdyk, S. (2015). Proactive gait strategies to mitigate risk of obstacle contact are more prevalent with advancing age. *Gait and Posture*, 41(1), 233–239. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.10.005>

- Nadkarni, N. A., & Deshmukh, S. S. (2012). Mirror movements. *Annals of Indian Academy of Neurology*, *15*(1), 13–14. <https://doi.org/10.4103/0972-2327.93268>
- Nahm F. S. (2022). Receiver operating characteristic curve: Overview and practical use for clinicians. *Korean Journal of Anesthesiology*, *75*(1), 25–36. <https://doi.org/10.4097/kja.21209>
- Neumannová, K., Janura, M., Kováčiková, Z., Svoboda, Z., & Jakubec, L. (2015). *Analýza chůze u osob s chronickou obstrukční plicní nemocí*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Novak, A. C., & Deshpande, N. (2014). Effects of aging on whole body and segmental control while obstacle crossing under impaired sensory conditions. *Human Movement Science*, *35*, 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.03.009>
- O'Connor, S. M., & Kuo, A. D. (2009). Direction-dependent control of balance during walking and standing. *Journal of Neurophysiology*, *102*(3), 1411–1419. <https://doi.org/10.1152/jn.00131.2009>
- O'Dea, A., Stanley, M., Coote, S., & Robinson, K. (2021). Children and young people's experiences of living with developmental coordination disorder/dyspraxia: A systematic review and meta-ethnography of qualitative research. *PLoS ONE*, *16*, 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245738>
- Omer, S., Jijon, A. M., & Leonard, H. C. (2019). Research review: Internalising symptoms in developmental coordination disorder: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, *60*(6), 606–621. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13001>
- Oudenampsen, C., Holty, L., Stuive, I., van Der Hoek, F., Reinders-Messelink, H., Schoemaker, M., Kottink, A., van Weert, E., & Buurke, J. (2013). Relationship between participation in leisure time physical activities and aerobic fitness in children with DCD. *Pediatric Physical Therapy*, *25*(4), 422–429. <https://doi.org/10.1097/PEP.0b013e3182a6b6ea>
- Page, S. J., Levine, P., & Leonard, A. (2007). Mental practice in chronic stroke: Results of a randomized, placebo-controlled trial. *Stroke*, *38*(4), 1293–1297. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000260205.67348.2b>
- Park, Y. S., & Lee, S. Y. (2012). Kinematics of the lower limbs during obstacle crossing performed by young adults and the elderly. *Journal of Physical Therapy Science*. *24*(10), 941–944. <https://10.1589/jpts.24.941>
- Parr, J. V. V., Foster, R. J., Wood, G., Thomas, N. M., & Hollands, M. A. (2020). Children with developmental coordination disorder show altered visuomotor control during stair negotiation associated with heightened state anxiety. *Frontiers in Human Neuroscience*, *14*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.589502>

- Patla, A. E., Prentice, S. D., Robinson, C., & Neufeld, J. (1991). Visual control of locomotion: Strategies for changing direction and for going over obstacles. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *17*(3), 603–634.
- Patla, A. E., & Greig, M. (2006). Any way you look at it, successful obstacle negotiation needs visually guided on-line foot placement regulation during the approach phase. *Neuroscience Letters*, *397*(1–2), 110–114. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.12.016>
- Patla, A. E., & Vickers, J. N. (1997). Where and when do we look as we approach and step over an obstacle in the travel path? *NeuroReport*, *8*(17), 3661–3665. <https://doi.org/10.1097/00001756-199712010-00002>
- Patla, A. E., & Vickers, J. N. (2003). How far ahead do we look when required to step on specific locations in the travel path during locomotion? *Experimental Brain Research*, *148*(1), 133–138. <https://doi.org/10.1007/s00221-002-1246-y>
- Perrett, D. I., Harries, M. H., Bevan, R., Thomas, S., Benson, P. J., Mistlin, A. J., Chitty, A. J., Hietanen, J. K., & Ortega, J. E. (1989). Frameworks of analysis for the neural representation of animate objects and actions. *Journal of Experimental Biology*, *146*, 87–113. <https://doi.org/10.1242/jeb.146.1.87>
- Perry, J., & Burnfield, J. M. (2010). *Gait analysis: Normal and pathological function* (2nd Ed.). Slack Incorporated.
- Piek, J. P., Baynam, G. B., & Barrett, N. C. (2006). The relationship between fine and gross motor ability, self-perceptions and self-worth in children and adolescents. *Human Movement Science*, *25*(1), 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2005.10.011>
- Piirtola, M., & Era, P. (2006). Force platform measurements as predictors of falls among older people - A review. *Gerontology*, *52*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1159/000089820>
- Pijnappels, M., van der Burg, J. C. E., Reeves, N. D., & van Dieën, J. H. (2008). Identification of elderly fallers by muscle strength measures. *European Journal of Applied Physiology*, *102*(5), 585–592. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0613-6>
- Pless, M., Carlsson, M., Sundelin, C., & Persson, K. (2002). Preschool children with developmental coordination disorder: A short-term follow-up of motor status at seven to eight years of age. *Acta Paediatrica*, *91*(5), 521–528. <https://doi.org/10.1080/080352502753711632>
- Pratt, M. L., & Hill, E. L. (2011). Anxiety profiles in children with and without developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *32*(4), 1253–1259. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.02.006>
- Psotta, R. (2014). *Test motoriky pro děti MABC-2*. Hogrefe – Testcentrum.

- 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. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.5507/ag.2012.020>
- Rapos, V., & Cinelli, M. (2020). Manipulating sensory information: Obstacle crossing strategies between typically developing children and young adults. *Experimental Brain Research*, 238(2), 513–523. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05732-y>
- Reynolds, J. E., Thornton, A. L., Elliott, C., Williams, J., Lay, B. S., & Licari, M. K. (2015). A systematic review of mirror neuron system function in developmental coordination disorder: Imitation, motor imagery, and neuroimaging evidence. *Research in Developmental Disabilities*, 47, 234–283. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.09.015>
- Richards, J. (2018). *The comprehensive textbook of clinical biomechanics* (2nd Ed.). Elsevier.
- Rihtman, T., Wilson, B. N., & Parush, S. (2011). Development of the Little Developmental Coordination Disorder Questionnaire for preschoolers and preliminary evidence of its psychometric properties in Israel. *Research in Developmental Disabilities*, 32(4), 1378–1387. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.12.040>
- Rivilis, I., Hay, J., Cairney, J., Klentrou, P., Liu, J., & Faight, B. E. (2011). Physical activity and fitness in children with developmental coordination disorder: A systematic review. *Research in Developmental Disabilities*, 32(3), 894–910. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.01.017>
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3(2), 131–141. [https://doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00038-0](https://doi.org/10.1016/0926-6410(95)00038-0)
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(9), 661–670. <https://doi.org/10.1038/35090060>
- Rosenblum, S., & Livneh-Zirinski, M. (2008). Handwriting process and product characteristics of children diagnosed with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 27(2), 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2008.02.011>

- Rubia, K., Russell, T., Overmeyer, S., Brammer, M. J., Bullmore, E. T., Sharma, T., Simmons, A., Williams, S. C. R., Giampietro, V., Andrew, C. M., & Taylor, E. (2001). Mapping motor inhibition: Conjunctive brain activations across different versions of go/no-go and stop tasks. *NeuroImage*, *13*(2), 250–261. <https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0685>
- Runge, M., & Hunger, G. (2006). Determinants of musculoskeletal frailty and the risk of falls in old age. *Journal of Musculoskeletal Neuronal Interactions*, *6*(2), 167–173.
- Sartori, R. F., Valentini, N. C., & Fonseca, R. P. (2020). Executive function in children with and without developmental coordination disorder: A comparative study. *Child: Care, Health and Development*, *46*(3), 294–302. <https://doi.org/10.1111/cch.12734>
- Schachar, R., Logan, G. D., Robaey, P., Chen, S., Ickowicz, A., & Barr, C. (2007). Restraint and cancellation: Multiple inhibition deficits in attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *35*(2), 229–238. <https://doi.org/10.1007/s10802-006-9075-2>
- Scharf, R. J., Scharf, G. J., & Stroustrup, A. (2016). Developmental Milestones. *Pediatrics in Review*, *37*(1), 25–38. <https://doi.org/10.1542/pir.2014-010>
- Schippers, M. B., & Keysers, C. (2011). Mapping the flow of information within the putative mirror neuron system during gesture observation. *NeuroImage*, *57*(1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.02.018>
- Schneider, C., Devanne, H., Lavoie, B. A., & Capaday, C. (2002). Neural mechanisms involved in the functional linking of motor cortical points. *Experimental Brain Research*, *146*(1), 86–94. <https://doi.org/10.1007/s00221-002-1137-2>
- Schwartz, M. H., & Rozumalski, A. (2008). The gait deviation index: A new comprehensive index of gait pathology. *Gait and Posture*, *28*(3), 351–357. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.05.001>
- Shadmehr, R., Smith, M. A., & Krakauer, J. W. (2010). Error correction, sensory prediction, and adaptation in motor control. *Annual Review of Neuroscience*, *33*, 89–108. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-060909-153135>
- Shin, S., Demura, S., Watanabe, T., Yabumoto, T., Lee, J. H., Sakakibara, N., & Matsuoka, T. (2015). Age-related and obstacle height-related differences in movements while stepping over obstacles. *Journal of Physiological Anthropology*, *34*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s40101-015-0052-8>
- Sigmundsson, H., Whiting, H. T. A., & Ingvaldsen, R. P. (1999). 'Putting your foot in it'! A window into clumsy behaviour. *Behavioural Brain Research*, *102*(1–2), 129–136. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(99\)00009-1](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(99)00009-1)

- Skaličková-Kováčiková, V. (2017). *Diagnostika a fyzioterapie hybných poruch dle Vojty*. RL-Corpus.
- Sohn, Y. H., Wiltz, K., & Hallett, M. (2002). Effect of volitional inhibition on cortical inhibitory mechanisms. *Journal of Neurophysiology*, *88*(1), 333–338. <https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.1.333>
- Subara-Zukic, E., Cole, M. H., McGuckian, T. B., Steenbergen, B., Green, D., Smits-Engelsman, B. C. M., Lust, J. M., Abdollahipour, R., Domellöf, E., Deconinck, F. J. A., Blank, R., & Wilson, P. H. (2022). Behavioral and neuroimaging research on developmental coordination disorder (DCD): A combined systematic review and meta-analysis of recent findings. *Frontiers in Psychology*, *13*, 1–28. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.809455>
- Sujatha, B., Alagesan, J., Lal, D. V., & Rayna, A. B. S. (2020). Prevalence of developmental coordination disorder in school children. *Indian Journal of Pediatrics*, *87*(6), 454–456. <https://doi.org/10.1007/s12098-020-03191-5>
- Sumner, E., Hutton, S. B., Kuhn, G., & Hill, E. L. (2018). Oculomotor atypicalities in developmental coordination disorder. *Developmental Science*, *21*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1111/desc.12501>
- Swinnen, S. P., Young, D. E., Walter, C. B., & Serrien, D. J. (1991). Control of asymmetrical bimanual movements. *Experimental Brain Research*, *85*(1), 163–173. <https://doi.org/10.1007/BF00229998>
- Sylvestre, A., Nadeau, L., Charron, L., Larose, N., & Lepage, C. (2013). Social participation by children with developmental coordination disorder compared to their peers. *Disability and Rehabilitation*, *35*(21), 1814–1820. <https://doi.org/10.3109/09638288.2012.756943>
- Tallet, J., Albaret, J. M., & Barral, J. (2013). Developmental changes in lateralized inhibition of symmetric movements in children with and without developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, *34*(9), 2523–2532. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.05.020>
- Tan, J. L. K., Ylä-Kojola, A. M., Eriksson, J. G., Salonen, M. K., Wasenius, N., Hart, N. H., Chivers, P., Rantalainen, T., Lano, A., & Piitulainen, H. (2022). Effect of childhood developmental coordination disorder on adulthood physical activity; Arvo Ylppö longitudinal study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *32*(6), 1050–1063. <https://doi.org/10.1111/sms.14144>
- Tan, J., Murphy, M., Hart, N. H., Rantalainen, T., Bhojroo, R., & Chivers, P. (2022). Association of developmental coordination disorder and low motor competence with impaired bone health: A systematic review. *Research in Developmental Disabilities*, *129*, 104324. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2022.104324>

- Uddin, L. Q., Kaplan, J. T., Molnar-Szakacs, I., Zaidel, E., & Iacoboni, M. (2005). Self-face recognition activates a frontoparietal “mirror” network in the right hemisphere: An event-related fMRI study. *NeuroImage*, 25(3), 926–935. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.12.018>
- Ulrich, D. A. (2000). *Test of gross motor development: Examiner’s manual* (2nd Ed.). Pro-Ed.
- Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Ingster-Moati, I., Boddaert, N., Cabrol, D., Dufier, J. L., Golse, B., & Falissard, B. (2011). Subtypes of developmental coordination disorder: Research on their nature and etiology. *Developmental Neuropsychology*, 36(5), 614–643. <https://doi.org/10.1080/87565641.2011.560696>
- Vallis, L. A., & McFadyen, B. J. (2005). Children use different anticipatory control strategies than adults to circumvent an obstacle in the travel path. *Experimental Brain Research*, 167(1), 119–127. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-0054-6>
- 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. <https://doi.org/10.1177/0269215513481227>
- van Dieën, J. H., Pijnappels, M., & Bobbert, M. F. (2005). Age-related intrinsic limitations in preventing a trip and regaining balance after a trip. *Safety Science*, 43(7), 437–453. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.08.008>
- van Elk, M., van Schie, H., & Bekkering, H. (2014). Action semantics: A unifying conceptual framework for the selective use of multimodal and modality-specific object knowledge. *Physics of Life Reviews*, 11(2), 220–250. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2013.11.005>
- van Hedel, H. J. A., Biedermann, M., Erni, T., & Dietz, V. (2002). Obstacle avoidance during human walking: Transfer of motor skill from one leg to the other. *Journal of Physiology*, 543(2), 709–717. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2002.018473>
- van Hoorn, J. F., Schoemaker, M. M., Stuive, I., Dijkstra, P. U., Rodrigues Trigo Pereira, F., van der Sluis, C. K., & Hadders-Algra, M. (2021). Risk factors in early life for developmental coordination disorder: A scoping review. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 63(5), 511–519. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14781>
- Vařeka, I., & Vařeková, R. (2009). *Kineziologie nohy*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Veldman, S. L. C., Santos, R., Jones, R. A., Sousa-Sá, E., & Okely, A. D. (2019). Associations between gross motor skills and cognitive development in toddlers. *Early Human Development*, 132, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2019.04.005>

- Véle, F. (2006). *Kineziologie - Přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*. Triton.
- Visscher, C., Houwen, S., Scherder, E. J. A., Moolenaar, B., & Hartman, E. (2007). Motor profile of children with developmental speech and language disorders. *Pediatrics*, *120*(1). <https://doi.org/10.1542/peds.2006-2462>
- Visser, J., Geuze, R. H., & Kalverboer, A. F. (1998). The relationship between physical growth, the level of activity and the development of motor skills in adolescence: Differences between children with DCD and controls. *Human Movement Science*, *17*(4–5), 573–608. [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(98\)00014-1](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(98)00014-1)
- Wagner, M. O., Bös, K., Jascenoka, J., Jekauc, D., & Petermann, F. (2012). Peer problems mediate the relationship between developmental coordination disorder and behavioral problems in school-aged children. *Research in Developmental Disabilities*, *33*(6), 2072–2079. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.05.012>
- Wang, Y., & Watanabe, K. (2008). The relationship between obstacle height and center of pressure velocity during obstacle crossing. *Gait and Posture*, *27*(1), 172–175. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.03.004>
- Warlop, G., Vansteenkiste, P., Lenoir, M., van Causenbroeck, J., & Deconinck, F. J. A. (2020). Gaze behaviour during walking in young adults with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, *71*, 102616. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2020.102616>
- Weerdesteyn, V., Nienhuis, B., Hampsink, B., & Duysens, J. (2004). Gait adjustments in response to an obstacle are faster than voluntary reactions. *Human Movement Science*, *23*(3–4), 351–363. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2004.08.011>
- Werner, J. M., Cermak, S. A., & Aziz-Zadeh, L. (2012). Neural correlates of developmental coordination disorder: The mirror neuron system hypothesis. *Journal of Behavioral and Brain Science*, *2*(2), 258–268. <https://doi.org/10.4236/jbbs.2012.22029>
- Whittle, M. W. (2007). *Gait analysis: An introduction* (4th Ed.). Elsevier.
- Williams, J., Lee, K. J., & Anderson, P. J. (2010). Prevalence of motor-skill impairment in preterm children who do not develop cerebral palsy: A systematic review. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *52*(3), 232–237. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03544.x>
- Wilmot, K., Du, W., & Barnett, A. L. (2016). Gait patterns in children with developmental coordination disorder. *Experimental Brain Research*, *234*(6), 1747–1755. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4592-x>

- Wilmot, K., Gentle, J., & Barnett, A. L. (2017). Gait symmetry in individuals with and without developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities, 60*, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.11.016>
- 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), 182–202. <https://doi.org/10.1080/01942630902784761>
- Wilson, P. H. & Butson, M. (2007). Deficits underlying DCD. In R. H. Geuze (Ed.), *Developmental coordination disorder: A review of current approaches* (pp. 115-119). Solal Editeurs.
- Wilson, P. H., Ruddock, S., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Blank, R. (2013). Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: A meta-analysis of recent research. *Developmental Medicine and Child Neurology, 55*(3), 217–228. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04436.x>
- Wilson, P. H., Smits-Engelsman, B., Caeyenberghs, K., & Steenbergen, B. (2017b). Toward a hybrid model of developmental coordination disorder. *Current Developmental Disorders Reports, 4*(3), 64–71. <https://doi.org/10.1007/s40474-017-0115-0>
- Wilson, P. H., Smits-Engelsman, B., Caeyenberghs, K., Steenbergen, B., Sugden, D., Clark, J., Mumford, N., & Blank, R. (2017a). 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. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13530>
- Wisdom, S. N., Dyck, M. J., Piek, J. P., Hay, D., & Hallmayer, J. (2007). Can autism, language and coordination disorders be differentiated based on ability profiles? *European Child and Adolescent Psychiatry, 16*(3), 178–186. <https://doi.org/10.1007/s00787-006-0586-8>
- Woledge, R. C., Birtles, D. B., & Newham, D. J. (2005). The variable component of lateral body sway during walking in young and older humans. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences, 60*(11), 1463–1468. <https://doi.org/10.1093/gerona/60.11.1463>
- Wolpert, D. M., & Kawato, M. (1998). Multiple paired forward and inverse models for motor control. *Neural Networks, 11*(7–8), 1317–1329. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(98\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(98)00066-5)
- Wolpert, D. M., & Miall, R. C. (1996). Forward models for physiological motor control. *Neural Networks, 9*(8), 1265–1279. [https://doi.org/10.1016/s0893-6080\(96\)00035-4](https://doi.org/10.1016/s0893-6080(96)00035-4)
- Wolpert, D. M. (1997). Computational approaches to motor control. *Trends in Cognitive Sciences, 1*(6), 209–216. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(97\)01070-X](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(97)01070-X)

- Wolpert, D. M., Miall, R. C., & Kawato, M. (1998). Internal models in the cerebellum. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(9), 338–347. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(98\)01221-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(98)01221-2)
- World Health Organization. (2008). *Specific developmental disorder of motor function*. <https://icd.who.int/browse10/2019/en#/F82>
- World Health Organization. (2023). *Developmental motor coordination disorder*. <https://icd.who.int/browse11/l-m/en#/http://id.who.int/icd/entity/148247104>
- Yen, H. C., Chen, H. L., Liu, M. W., Liu, H. C., & Lu, T. W. (2009). Age effects on the inter-joint coordination during obstacle-crossing. *Journal of Biomechanics*, 42(15), 2501–2506. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.07.015>
- Young, W. R., & Mark Williams, A. (2015). How fear of falling can increase fall-risk in older adults: Applying psychological theory to practical observations. *Gait and Posture*, 41(1), 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.09.006>
- Zietz, D., & Hollands, M. (2009). Gaze behavior of young and older adults during stair walking. *Journal of Motor Behavior*, 41(4), 357–366. <https://doi.org/10.3200/JMBR.41.4.357-366>
- Zwicker, J. G., Harris, S. R., & Klassen, A. F. (2013). Quality of life domains affected in children with developmental coordination disorder: A systematic review. *Child: Care, Health and Development*, 39(4), 562–580. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2012.01379.x>
- Zwicker, J. G., Missiuna, C., Harris, S. R., & Boyd, L. A. (2012). Developmental coordination disorder: A review and update. *European Journal of Paediatric Neurology*, 16(6), 573–581. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2012.05.005>

11 PŘÍLOHY

11.1 Vyjádření etické komise



Fakulta
tělesné kultury

Genius loci

Vyjádření Etické komise FTK UP

Složení komise: doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D. – předsedkyně
Mgr. Ondřej Ješina, Ph.D.
doc. MUDr. Pavel Maňák, CSc.
Mgr. Filip Neuls, Ph.D.
Mgr. Michal Kudláček, Ph.D.
prof. Mgr. Erik Sigmund, Ph. D.
Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph. D.

Na základě žádosti ze dne 24.3.2020 byl projekt výzkumné práce

Autor /hlavní řešitel/: Peter H. Wilson
Spoluřešitelé: Reza Abdollahipour, Zdeněk Svoboda, Ludvík Valtr

s názvem **Objasnění rozvoje provádění duálních úloh u dětí**
název angl.: *Explaining the development of dual-tasking in children:*
A mechanistic account

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: **46/2020**
dne: **6. 4. 2020**

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směnicemi pro výzkum zahrnující lidské účastníky.

Řešitelé projektu splnili podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

za EK FTK UP
doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D.
předsedkyně

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury
Komise etická
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc

Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc | T: +420.585 636 009
www.ftk.upol.cz

11.2 Potvrzení překladu abstraktu

Anna Uličná

Title: Comparison of the gait dynamics in typically developing children and children with a developmental coordination disorder

Abstract:

The present diploma/Bachelor's/Master's thesis investigated the dynamic characteristics of gait after obstacle crossing between groups of regularly developing children and children with developmental coordination disorder. The study included 51 children with developmental coordination disorder and 98 regularly developing children divided into age subgroups of 7-8, 9-10 and 11-12 years. The height of the obstacle was adjusted to one-third of the functional length of the proband's dominant lower limb. A Kistler 9286AA force platform (Kistler Instrumente, Winterthur, Switzerland) with a sampling frequency of 1000 Hz was used to measure the pad reaction force and centre of pressure movement. The force platform was placed directly behind the obstacle in the middle of a 10-m-long walkway. Five trials were measured at the preferred walking pace.

The difference in the dynamic characteristics of the gait after crossing an obstacle was determined to be statistically significant in all age subgroups. However, each subgroup exhibited differences in various parameters. After evaluating the ROC analysis, the dynamic characteristic with the best predilection validity for identifying individuals with developmental coordination disorder was determined for all age subgroups. The present thesis results have confirmed the difficulties in controlling dynamic postural stability after obstacle crossing in children suffering from DCD.

