

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



---

Fakulta  
tělesné kultury

**HODNOCENÍ VYBRANÝCH CHARAKTERISTIK  
CHŮZE DĚTÍ V MLADŠÍM ŠKOLNÍM VĚKU POMOCÍ  
INERCIÁLNÍCH SENZORŮ**

Diplomová práce

Autor: Bc. Elžbieta Szymeczek

Studijní program: Aplikovaná fyzioterapie

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

Olomouc 2023



## **Bibliografická identifikace**

**Jméno autora:** Bc. Elżbieta Szymeczek

**Název práce:** Hodnocení vybraných charakteristik chůze dětí v mladším školním věku pomocí inerciálních senzorů

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

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

**Rok obhajoby:** 2023

### **Abstrakt:**

Cílem této diplomové práce bylo posoudit vybrané charakteristiky chůze u dětí v mladším školním věku na základě dat z inerciálního senzoru. Charakteristiky chůze byly srovnávány mezi různými věkovými skupinami dětí v mladším školním věku, a to v rámci samostatné chůze a při současném vykonávání kognitivní úlohy. Byl rovněž porovnáván „dual task cost“ (DTC) mezi věkovými skupinami dětí. Výzkumný soubor tvořilo 66 dětí, které byly rozděleny do tří věkových skupin (6–7 let, 8–9 let, 10–11 let). Nejdříve probíhala samostatná chůze a následně chůze se sekundární kognitivní úlohou. Průběh chůze byl zaznamenán pomocí inerciálního senzoru Physilog (GaitUp, Lausanne, Švýcarsko). Na základě výsledků bylo zjištěno, že s věkem došlo k signifikantnímu zlepšení symetrie chůze, a to jak u samostatné chůze, tak i u chůze se sekundární kognitivní úlohou, a signifikantně se snížil DTC pro variabilitu a rychlost chůze. Dále byly pozorované trendy zvýšení stability, komplexnosti a rychlosti chůze se zvyšujícím se věkem dětí.

**Klíčová slova:** dvojí úkol, stabilita, variabilita, symetrie, entropie, dual task cost

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

**Author:** Bc. Elżbieta Szymeczek  
**Title:** Assessment of selected gait characteristics of younger school-age children using inertial sensor data

**Supervisor:** Mgr. Lucia Bizovská, Ph.D.

**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology

**Year:** 2023

### **Abstract:**

The aim of this thesis was to assess selected gait characteristics of younger school-age children based on inertial sensor data. The gait characteristics were compared between different age groups of younger school-aged children in the context of independent walking and while performing a cognitive task. The “dual task cost” (DTC) was also compared between age groups of children. The study population consisted of 66 children who were divided into three age groups (6–7 years, 8–9 years, 10–11 years). Independent walking was performed first, followed by walking with a secondary cognitive task. The gait progress was recorded using a Physilog inertial sensor (GaitUp, Lausanne, Switzerland). Based on the results, it was found that gait symmetry improved significantly with age, both for independent walking, and for walking with a secondary cognitive task. Also, the DTC for gait variability and speed decreased significantly. Furthermore, trends of increased stability, complexity, and gait speed were observed with increasing age of the children.

**Keywords:** dual task, stability, variability, symmetry, entropy, dual task cost

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 Nýdku dne 29. dubna 2023

.....

Děkuji Mgr. Lucii Bizovské, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a připomínky během zpracování diplomové práce. Chtěla bych také poděkovat své rodině a všem blízkým, kteří mi byli oporou po celou dobu studia.

# OBSAH

ÚVOD .....	11
1 PŘEHLED POZNATKŮ .....	12
1.1 Vývojová kineziologie .....	12
1.1.1 Ontogeneze motoriky v 1. roce .....	13
1.1.1.1 První trimenon .....	13
1.1.1.2 Druhý trimenon.....	14
1.1.1.3 Třetí trimenon .....	15
1.1.1.4 Čtvrtý trimenon.....	16
1.1.2 Ontogeneze motoriky od 1. do 2. roka .....	17
1.1.3 Ontogeneze motoriky v období časného dětského věku .....	18
1.1.3.1 Vývoj v období od 2. do 3. roku .....	18
1.1.3.2 Vývoj v období od 4. do 6. roku .....	19
1.1.4 Ontogeneze motoriky v mladším školním věku .....	20
1.1.5 Ontogeneze motoriky ve starším školním věku .....	22
1.2 Chůze.....	23
1.2.1 Faktory ovlivňující chůzi .....	23
1.2.2 Chůzový cyklus .....	24
1.3 Kognitivní vývoj .....	26
1.3.1 Teorie kognitivního vývoje podle J. Piageta .....	27
1.3.1.1 První stadium .....	27
1.3.1.2 Druhé stadium.....	27
1.3.1.3 Třetí stadium.....	28
1.3.1.4 Čtvrté stadium.....	28
1.3.2 Kognitivní funkce.....	29
1.3.2.1 Popis jednotlivých kognitivních funkcí .....	29
1.3.2.2 Anatomické podklady kognitivních funkcí .....	31

1.3.2.3	Vztah kognice a motoriky.....	31
1.4	Dvojitý úkol (dual task).....	32
1.4.1	Dual task cost .....	33
1.4.2	Interference úloh a teorie jejího vzniku.....	33
1.4.3	Paradigma dvojitého úkolu.....	35
1.4.3.1	Kognitivně-motorické paradigma.....	35
1.4.3.2	Motoricko-motorické paradigma.....	37
1.4.3.3	Kognitivně-kognitivní paradigma.....	38
1.4.4	Dual task u dětí .....	38
2	CÍLE A HYPOTÉZY.....	41
2.1	Hlavní cíl.....	41
2.2	Dílčí cíle .....	41
2.3	Výzkumné hypotézy.....	41
3	METODIKA .....	43
3.1	Výzkumný soubor .....	43
3.2	Sběr dat.....	43
3.3	Použité metody .....	44
3.4	Statistické zpracování dat.....	45
4	VÝSLEDKY.....	46
4.1	Výsledky k hypotéze H1 .....	46
4.2	Výsledky k hypotéze H2 .....	48
4.3	Výsledky k hypotéze H3 .....	49
4.4	Výsledky k hypotéze H4.....	51
4.5	Výsledky k hypotéze H5 .....	52
4.6	Výsledky k hypotéze H6 .....	53
5	DISKUSE.....	56
5.1	Diskuse k pozorovaným charakteristikám chůze.....	56



5.2	Výběr sekundární kognitivní úlohy.....	60
6	ZÁVĚRY .....	62
7	SOUHRN .....	63
8	SUMMARY .....	64
9	REFERENČNÍ SEZNAM .....	66
10	PŘÍLOHY .....	79

## Seznam použitých zkratek

ABD	Abdukce
AP	Anteroposteriorní směr
CNS	Centrální nervová soustava
DK	Dolní končetina
DKK	Dolní končetiny
DT	Dual task
DTC	Dual task cost
EX	Extenze
FLX	Flexe
HK	Horní končetina
HKK	Horní končetiny
KF	Kognitivní funkce
KOK	Kolenní kloub
KYK	Kyčelní kloub
LOK	Loketní kloub
ML	Mediolaterální směr
ST	Single task
V	Vertikální směr
ZR	Zevní rotace

## ÚVOD

V motorickém vývoji je chůze důležitým milníkem, který završuje první důležité období života dítěte. V průběhu posturální ontogeneze se postupně s časem mění způsob lokomoce od plazení, přes lezení a vertikální kvadrupedální chůzi až finálně k vertikální bipedální chůzi (Haywood & Getchell, 2014). Nástup samostatné chůze nastává mezi 12. až 14. měsícem (Kolář, 2020). S věkem se u dětí stereotyp chůze mění a více se připodobňuje chůzi dospělého jedince (Perry & Burnfield, 2010). Autoři se liší v hodnocení toho, kdy je chůze již zralá, a také udávají různá kritéria, na základě kterých popisují vyzrálou chůzi. Dylevský (2021) uvádí, že dospělé podoby chůze dosahují děti mezi třetím až čtvrtým rokem života. Podle Nevšimalové et al. (2021) k tomu dochází v šesti letech, podle Muscolino (2011), Perry & Burnfield (2010) v sedmi letech a podle Levine et al. (2012) až v 15 letech. Tito autoři popisují různé charakteristiky chůze, díky kterým stanovují, že jde o vyzpělou chůzi. Jedná se o délku kroku, rychlost, symetrii, ladnost, koordinovanost, proměnlivost apod. Díky tomu, že se chůze u dítěte postupně vyvíjí a automatizuje, dokáže jedinec vykonávat danou lokomoci v různých podmínkách, tedy například chůzi do schodů i ze schodů, po kluzkém povrchu, ve větrných podmínkách, v rychlém nebo pomalém tempu. Zároveň je pak dítě schopné provádět více činností naráz, například v rámci chůze mluvit nebo manipulovat s předměty (Sugden & Wade, 2013).

To, že se autoři ve stanovení milníku vyzrálé chůze liší, ukazuje, že tato oblast nebyla doposud dostatečně prozkoumána. Pokud se hodnotí chůze u dětí, převážně se používají časoprostorové charakteristiky chůze (Pena et al., 2019; Tramontano et al., 2017). Existuje jen málo studií, které by hodnotily chůzi pomocí sofistikovanějších charakteristik chůze, jako je stabilita chůze vypočtena pomocí Lyapunova exponentu, variabilita chůze na základě výpočtu střední kvadratické chyby signálu, symetrie chůze na základě vypočítaného harmonického poměru a komplexnost chůze na základě entropie. Studie věnující se problematice dvojího úkolu zkoumají spíše dospělé jedince nebo osoby s určitým onemocněním. Jen málo autorů se zatím věnovalo zkoumání toho, jak se u dětí vyvíjí schopnost provádět dvojí úkol. Podrobnější objasnění této problematiky může přinést rozšíření poznatků o motorickém chování dětí v mladším školním věku.

# 1 PŘEHLED POZNATKŮ

## 1.1 Vývojová kineziologie

Motorický vývoj lze definovat jako kontinuální proces získávání funkční kapacity, jako schopnost žít, pohybovat se a realizovat se. V průběhu vývoje pohybu se popisují změny a faktory těchto změn. S přibývajícím věkem pokračuje rozvoj, který může mít různou dynamiku u dětí stejného věku. Motorický vývoj souvisí s věkem, ale není na něm plně závislý (Haywood & Getchell, 2014). Je důležité poznamenat, že v rámci stejné věkové kategorie může být velmi rozdílný motorický repertoár u různých jedinců (Clark & Metcalfe, 2002). Vývoj se uskutečňuje v sekvencích a nezastavuje se v určitém věku, ale probíhá kontinuálně. Ne všechny změny v motorickém vývoji souvisí pouze s věkem, ale také se zkušenostmi nebo tréninkem. V tomto případě hovoříme o motorickém učení. Často dochází k prolínání motorického vývoje a učení. Tyto dva aspekty týkající se motoriky člověka můžeme definovat jako motorické chování (Haywood & Getchell, 2014).

Motorický vývoj člověka začíná již prenatálně, kdy dochází ke vzniku morfologických a funkčních předpokladů pro pohyb. Rozvoj lidského mozku je determinován na základě genetických i negenetických (environmentálních) faktorů (Connolly & Forsberg, 1997). Prenatální období a první rok dítěte zahrnují pozoruhodný vývoj a mají velký vliv na jeho život. Celkový objem mozku se v průběhu prvního roka zdvojnásobí. Mozek v prvním měsíci dítěte dosahuje 36 % objemu dospělého člověka a v prvním roce dosahuje již 72 %. Vysoká schopnost plasticity mozku může být v tomto období ovlivněna pozitivní, ale i negativní zkušeností (Feigelman, 2016a). Při narození je myelinizovaná pouze jedna třetina nervových vláken. K další myelinizaci dochází v 18. měsíci a trvá až do pátého až šestého roku života. Jako poslední dozrávají mozečkové a asociační dráhy (Komárek & Zumrová, 2008).

Vývoj primární vertikalizace a lokomoce se realizuje analogicky s postnatálním vývojem nervové soustavy a její řídicí schopností. Ontogeneze pohybu funguje na hierarchickém principu. Jednotlivé vývojové fáze na sebe navazují. Vyšší vývojové stupně obsahují prvky nižšího stupně (Čápková, 2016). Uvolňování motorických modelů obsažených v centrální nervové soustavě (CNS) závisí rovněž na motivaci dítěte (Skaličková-Kováčiková, 2017). Pro uspokojivý vývoj je potřebná přiměřená stimulace dítěte. Díky vnějším podnětům dochází k nárůstu synapsí, vytvářejí se nová spojení

neuronů a mohou být ovlivněny funkce mozku pro řešení aktuálních situací. Motorický vývoj souvisí s komplexním vývojem dítěte, protože mu umožňuje poznávat nové objekty a získávat zkušenosti (Vágnerová, 2021).

Držení těla v prostoru je důležitým aspektem motorického vývoje pro různé motorické aktivity, zejména u pohybu týkajícího se lokomoce. Postura se vyvíjí již po narození s cílem zajistit rozvoj hrubé a jemné motoriky. Tento proces je označován jako posturální ontogeneze a v rámci něho se rozvíjí držení osového orgánu společně s vytvořením jeho fyziologického zakřivení. Díky tomu dochází ke správnému nastavení pánve a tvaru hrudníku. Na posturální ontogenezi přirozeně navazuje rozvoj cíleného fázického pohybu. Největší rozvoj posturální aktivity lze sledovat v prvních 18 měsících dítěte (Dylevský, 2021).

### **1.1.1 Ontogeneze motoriky v 1. roce**

#### **1.1.1.1 První trimenon**

Po narození dochází k adaptaci na nové extrauterinní prostředí, které je odlišné od podmínek, které má dítě v děloze. Pohyb je řízen subkortikálně a postupně je nahrazován kortikálním řízením. Motorická aktivita novorozence vychází z uspokojování jeho biologických potřeb (Vágnerová, 2021). Novorozenecké stadium je nazývané jako holokinetické období, kdy tělo funguje jako jeden celek a je charakterizováno výskytem primitivních reflexů (Vojta, 1993). V prvních čtyřech až šesti týdnech dominují novorozenecké reflexy, které s postupujícím vývojem vyhasínají (Zumrová, 2015). Dále je také typický fyziologický flekční hypertonus. Novorozenec pohybuje končetinami trhavě a nekoordinovaně (Nevšimalová, Komárek, Hadač, & Kršek, 2021). V prvních týdnech má dítě hlavu lehce ukloněnou a rotovanou k jedné straně. Jedná se o fyziologické držení těla, které přetrvává do šestého týdne. Dané nastavení hlavy nesmí být fixované. Novorozenec musí být schopný na základě adekvátního podnětu otáčet hlavu z jedné strany na druhou. Vleže na zádech je dítě uloženo asymetricky. Hlava a tělo jsou stočené k jedné straně. Horní i dolní končetiny jsou flektované. V této poloze není vytvořena opěrná báze a hovoří se o tzv. úložné ploše dítěte (Vojta & Peters, 2010). Jak vleže na zádech, tak i vleže na břicho dítě drží končetiny ve flekčním postavení. V poloze na břicho je ventrální postavení pánve s abdukci stehů v 90stupňovém úhlu, kdy se jedinec opírá o podložku mediálními epikondyly femuru, hlezenní klouby jsou nastaveny v pravém úhlu a bérce jsou nad podložkou. Trup je uložen na podložce

v oblasti processu xiphoideu. Typické pro toto stadium je primitivní kopání. Jedná se o střídavé pohyby dolních končetin do flexe (FLX) a extenze (EX). Kyčelní kloub (KYK) se v tomto období fyziologicky chová spíše jako kladkový kloub než jako kulový. Důvodem je prozatímní nekoordinovaná práce svalů kolem KYK, kdy zevní rotátory nejsou zapojeny do synergie s adduktory (Skaličková-Kováčiková, 2017).

Mezi čtvrtým a šestým týdnem se dítě pokouší pohledem navazovat kontakt s okolím (Vojta, 1993). Vzniká tak první sociální kontakt, kdy se novorozenec usměje (Menkes, Sarnat, & Maria, 2011). Optická fixace umožňuje dítěti orientovat se v prostoru. Díky optické orientaci se v motorickém vývoji objeví spontánní otočení hlavy, která má vliv na celé tělo, za nějakým podnětem. Jedná se o motorický vzor „šermíře“, který je typický pro šestý týden dítěte (Vojta & Peters, 2010). Jedná se o motorické vyjádření na optickou fixaci vleže na zádech. Hlava je otočena na stranu podnětu. Na čelistní straně dochází k abdukci (ABD), zevní rotaci (ZR) v ramenním kloubu a k EX, supinaci v loketním kloubu. Ruka je přitom otevřená. Na čelistní straně je dolní končetina (DK) taktéž nastavena do ZR v KYK a EX KOK. Celá záhlavní strana je ve flekčním nebo semiflekčním postavení. (Kolář, 2020). Díky očnímu kontaktu dochází ke svalovým synergiím zevních rotátorů, abduktorů a adduktorů. Zároveň se aktivují svaly ventrální a dorzální strany trupu. To vše přispívá ke schopnosti dítěte zaujmout atitudu pro optickou fixaci. Šestý týden je nezbytně nutným vývojovým milníkem pro dosažení výsledné bipedální lokomoce. V osmém týdnu je dítě schopné udržet tělo ve středním postavení frontální roviny, napřimuje se v krční páteři. Objevuje se fyziologická dystonie, která je pestrým motorickým vyjádřením jedince na určitý podnět. Dochází také ke směřování horních a dolních končetin k sagitální rovině. Dítě začíná spojovat prsty k sobě (Skaličková-Kováčiková, 2017). Na konci prvního trimenonu ustupuje původní flekční postura. Dítě vzpřímí hlavu, vytvoří si opěrnou bázi ve tvaru trojúhelníku o mediální epikondyly humeru a symfýzu. Dolní končetiny jsou volně extendovány (Zumrová, 2015). Zatížení těla se posouvá kaudálně, páteř je napřimená, a proto je uschopněna k rotaci v pozdější fázi (Payne & Isaacs, 2017).

### **1.1.1.2 Druhý trimenon**

V poloze na břicho dojde k povolení FLX pánve. Dítě se stabilně opírá o předloktí, která svírají pravý úhel s trupem. Dojde ke vzpřimovacím mechanismům, kdy se zapojí svaly ramenních pletenců, a tím má jedinec větší možnosti pro spontánní motoriku. Úchopový reflex se postupně oslabuje, až zcela vymizí. Dochází k uvolnění pěsti, a díky

tomu se rozvine úchop. V této fázi se jedná o ulnární úchop. Vleže na zádech dítě aktivně uchopuje pouze jednou končetinou předměty, které jsou homolaterálně. Postupně přechází přes střední čáru, až v konečném důsledku dojde k přetáčení ze zad na břicho, které se objeví na konci druhého trimenonu (Nevšímalová et al., 2021).

Ve věku čtyř a půl měsíců jedinec uchopuje předměty v poloze na břiše. Vytvoří si oporu trojúhelníkového tvaru (Kolář, 2020). Na záhlavní straně se dítě zapře o loket, aby mělo volnou druhostrannou horní končetinu (HK) pro uchopení předmětu. Na záhlavní DK se zapře o pánevní pletenec. Na čelistní straně si dítě nakročí pro vytvoření opěrného bodu na mediálním epikondylu femuru. Tímto dochází ke zvětšení FLX v ramenním kloubu. Dozrává KYK, který se z původního kladkového kloubu stává sférickým (Vojta, 1993).

V šestém měsíci dochází k otáčení ze zad na břicho. Tento zkřížený model obsahuje diferenciaci pro fázickou, opěrnou funkci končetin a také rotabilitu páteře, proto lze v následujícím období dosáhnout dalších vývojových milníků, které vedou k vertikalizaci a chůzi. V poloze na břiše se dítě zvedá o ruce s extendovanými lokty, díky čemuž získává větší rozhled a rozvíjí se radiální úchop (Skaličková-Kováčiková, 2017). Ke konci druhého trimenonu se v pozici na břiše opírá o extendované horní končetiny (HKK) a oblast symfýzy. V důsledku toho, že tato pozice ještě není výhodná pro vertikalizaci, dítě padá zpět na břicho (Zumrová, 2015).

### **1.1.1.3 Třetí trimenon**

Kolem sedmého měsíce dítě zaujme pozici šikmého sedu, do kterého se dostane z polohy na zádech. Opora je nastavena na laterální straně stehna a hýždě a na lokti stejnostranné HK, kde finálně dochází k opoře o dlaň. Tato pozice je výhodná pro uchopování předmětů z větší výšky a zároveň se rozvíjí precizní pinzetový úchop. Šikmý sed je rovněž přechodnou lokomoční polohou, ze které se dítě dostává do pozice na čtyřech nebo do sedu (Kolář, 2020). Pro správný sed dítěte je nezbytné, aby se dokázalo napřímít v páteři a ovládat horní část trupu bez podpory. Tato pozice je pro jedince velmi výhodná, protože má volné ruce pro objevování předmětů (Piek, 2006).

V této fázi začíná tendence k lokomoci. Objevuje se, tzv. tulenění, kdy dítě vykonává pohyb vpřed pomocí střídavého pohybu předloktí do FLX a EX. DKK se prakticky nezapojují do pohybu a jsou volně taženy za HKK. Trup je minimálně elevován nad opěrnou bázi (Payne & Isaacs, 2017). Později se dítě dostává do pozice na čtyřech

a začíná lézt. Jedná se o kontralaterální vzor, kdy se končetiny na každé straně pohybují opačně. Lezení po čtyřech může vznikat také bez předchozího tulenění (Piek, 2006).

#### **1.1.1.4 Čtvrtý trimenon**

Koncové období se vyznačuje vertikalizací a prvními kroky do prostoru. Na začátku této fáze se nejdříve stabilizuje poloha na čtyřech a lezení po čtyřech. Postupně pokračuje vzpřímování přes šikmý sed, vytahování se přes oporu. K vertikalizaci dojde díky nakročení a zapření se o jednu DK a následně je přitažena i druhá DK. Ve stoji ještě přetrvává anteflexe pánve (Nevšimalová et al., 2021). Pozice ve vertikále je výhodná pro lepší orientaci dítěte v prostoru a také nabízí způsob lokomoce – vertikální kvadrupedální chůzi. Batole se přidržuje oběma rukama v sagitální rovině a opírá se o DKK. Jedinec dělá kroky do stran ve frontální rovině (Vojta, 1993).

V prvním roce života dokáže dítě stát ve volném prostoru. Následně v průběhu dvou až tří měsíců opouští oporu o ruce a provádí první nezávislé kroky dopředu (Sugden & Wade, 2013). Dítě ještě není schopné posturálně stabilizovat vertikální postavení těla. Udržuje vzpřímenou polohu hmotností svého těla, díky které dítě udržuje směr lokomoce, ale v případě zpomalení, zastavení nebo změny směru snadno padá (Véle, 2006). Schopnost stoje a lokomoce rovněž závisí na odeznění fyziologické hypotonie, která trvá od pátého měsíce a mizí kolem prvního roka života (Komárek & Zumrová, 2008).

Na základě těchto poznatků se první kroky vpřed ještě neoznačují jako samostatná chůze. Daná lokomoce v této fázi je charakteristická širokou opěrnou bází, rychlými a krátkými kroky, palce nohou směřují ven, horní končetiny jsou drženy vysoko. Všechny tyto specifikace lokomoce vycházejí z toho, že v tomto období ještě zraje svalová síla a posturální stabilita dítěte. Batole je schopné provádět alternující pohyby DKK, ale svaly ještě nejsou dostatečně silné pro udržování vertikálního postavení a váhy těla. Udává se, že nezávislá chůze je dovršena, pokud je adekvátní svalová síla trupových a extenzorových svalových skupin, které pomáhají udržet vzpřímené držení těla. Postupně dochází k proporcionálnímu rozdělení váhy těla na DKK. Je to obzvláště důležité pro chůzový cyklus, kdy dítě potřebuje vyvinout dostatečnou sílu opěrné DK, která nese váhu jeho těla (Payne & Isaacs, 2017).

Taktéž se rozvíjí strategie pro posturální stabilitu. Důvodem je změna opěrné báze při přechodu z pronační lokomoce (lezení) do vertikální lokomoce. Snížením opěrné báze získává jedinec lepší mobilitu (Haywood & Getchell, 2014). Děti mají poměrně vysoko



uložené těžiště těla z důvodu relativně velké hlavy a trupu v poměru ke zbytku těla. Na základě uvedených faktů je pro dítě výzvou udržet dynamickou rovnováhu v rámci chůze (Payne & Isaacs, 2017).

### **1.1.2 Ontogeneze motoriky od 1. do 2. roka**

Po prvním roce, kdy mizí fyziologická hypotonie, jsou pohyby jedince cílené, ale ještě nejsou plně koordinované z důvodu nezralosti mozečku. Úroveň vývoje CNS dítěte v tomto období již umožňuje vzpřímený stoj a chůzi (Komárek & Zumrová, 2008).

Milník, ve kterém lze u dítěte hovořit o chůzi, se u různých autorů lehce liší. Taktéž se autoři liší v definování chůze. Payne a Isaacs (2017) uvádějí, že k nezávislé chůzi zpravidla nedochází ve 12 měsících. Kolář (2020) označuje chůzi jako samostatnou bipedální lokomoci, která nastává mezi 12. až 14. měsícem. Skaličková-Kováčiková (2017) definuje chůzi jako sociální bipedální lokomoci, která se objevuje po 15. měsíci, kdy je dítě schopné samostatné lokomoce ve volném prostoru i po nerovném terénu. Dylevský (2021) definuje chůzi obdobně; používá toto slovo k označení lidského typu bipedální lokomoce.

S věkem se u dětí stereotyp chůze mění a více se připodobňuje chůzi dospělého jedince (Perry & Burnfield, 2010). V průběhu druhého roka života se dítě snaží svou chůzi zefektivnit a v jejím rámci se snaží udržovat posturální stabilitu a koordinovat jednotlivé segmenty (Sugden & Wade, 2013). Mezi hlavní charakteristiky odlišující dětskou chůzi od chůze dospělého patří následující: chůze je o široké bázi, délka a rychlost kroku jsou menší, proto je větší kadence (Levine, Richards, & Whittle, 2012), rychlost a rytmus chůze jsou proměnlivé (Kolář & Máček, 2021), není přítomen iniciální kontakt paty ve stejné fázi chůzového cyklu, došlap je na celou plošku, objevuje se hyperextenze v KOK a váha těla je přenášena přes chodidlo v pronaci, ve švihové fázi je zvýrazněná FLX v KOK a FLX, ABD, ZR v KYK, chybí dostatečné naklápění a rotace pánve (Kolář, 2020), HKK jsou drženy vysoko a během chůze chybí jejich reciproční souhyb (Levine et al., 2012).

Aspekty a souvislosti s dozráváním chůze jsou následující: délka stoje na jedné DK se zvyšuje s věkem, rychlost a délka kroku chůze se zvyšují s věkem a délkou končetiny, šířka kroku se snižuje s věkem a šířkou pánve (Perry & Burnfield, 2010).

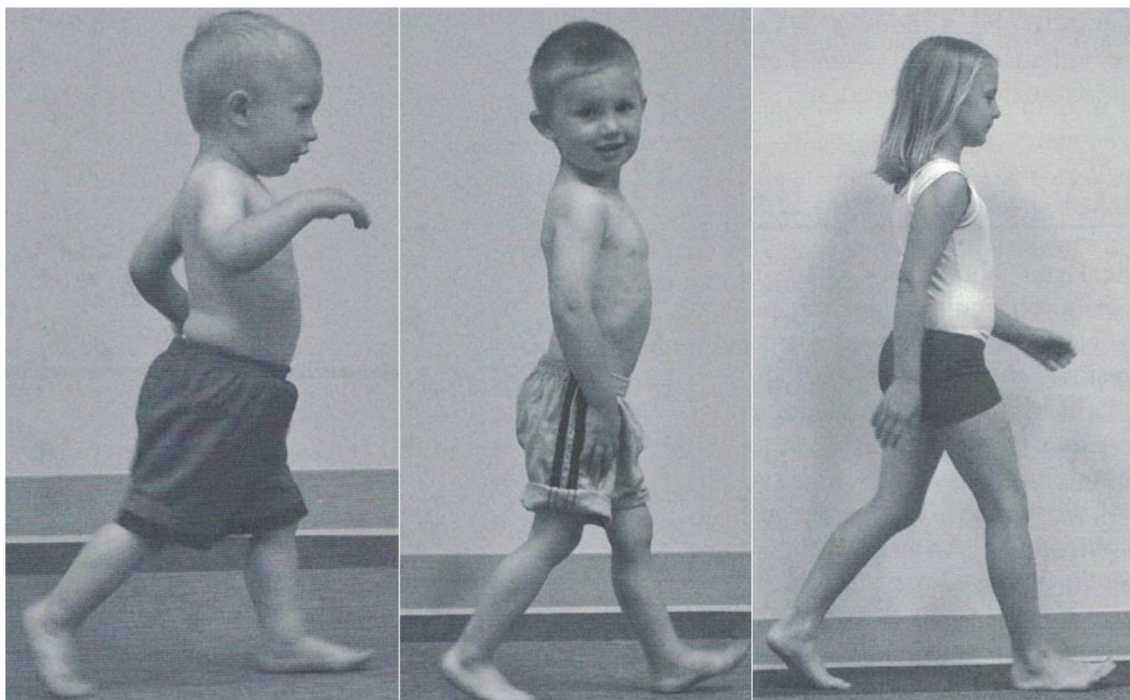
### 1.1.3 Ontogeneze motoriky v období časného dětského věku

V rámci časného dětského období dochází ke zlepšení koordinace pohybu a k fixaci vhodných pohybových stereotypů. Podle některých autorů vznikají vyspělé vzorce motorické kontroly až po sedmém roku života. V tomto období děti fyzicky rostou, jsou více nezávislé v běžných denních činnostech a zvyšuje se jejich motivace ke hře (Kolář, 2020).

#### 1.1.3.1 Vývoj v období od 2. do 3. roku

Od dvou let se mění polovina výše zmíněných rysů dětské chůze. Typicky lze již spatřit kontakt paty s podložkou díky dorzální flexi v hlezenním kloubu, ale ještě není patrné odvíjení palce u nohy (Obrázek 1). Prodlužuje se schopnost stát na jedné DK, proto je větší stabilita stojné končetiny v průběhu chůzového cyklu (Levine et al., 2012). Je větší FLX v KOK během stojné fáze a mezistoji. Mizí zevně rotační nastavení DK ve švihové fázi. Rytmus a rychlost chůze jsou stále variabilní. Při chůzi je potřeba vynaložit velké množství energie (Perry & Burnfield, 2010).

Tříleté dítě již má rovnoměrnou délku, šířku a výšku kroku, odvíjí palec nohy od podložky. Je patrná lepší stabilita ve stojné i švihové fázi kroku z důvodu lepší koordinace svalů pánevního pletence. Batole zužuje opěrnou bázi a formuje se podélná klenba nožní. Zvýšená energetická spotřeba pro chůzi přetrvává až do 12 let. Batole



Obrázek 1. Chůze v 14. měsících, v třech a sedmi letech (Perry & Burnfield, 2010, s. 342–342).

dokáže nastavit posturu pro konkrétní pohyb. Projevuje se schopnost anticipace, kdy si dítě začíná všímat důsledků svého pohybu a změn v daném prostředí. Pro tuto fázi je charakteristický rozvoj statické a dynamické stability. Dítě má větší předpoklady k motorickému učení nového cíleného pohybu (Kolář, 2020). Kolem třetího roku dítě zvládá chůzi do schodů i ze schodů samostatně. Je schopné jít po špičkách, skákat souočně a kopnout dominantní DK do balónu s tím, že míří na cíl. Koncem třetího roku života batole stojí na jedné DK po dobu tří sekund a běhá (Nevšimalová et al., 2021).

Chůze se od běhu liší v tom, že v rámci chůzového cyklu je přítomen neustálý kontakt jednoho chodidla s podložkou. Běh má také svůj vývoj, kdy se postupně snižuje doba kontaktu nohy s povrchem a prodlužuje se bezoporová fáze, a tudíž dochází k ovládnutí letové fáze běhu. Postupně se zvyšuje rychlost pohybu DKK a celková koordinace těla (Sugden & Wade, 2013). Po zvládnutí běhu začíná dítě hopsat. Jedná se o první asymetrickou lokomoci, kterou se dítě naučí (Haywood & Getchell, 2014).

### **1.1.3.2 Vývoj v období od 4. do 6. roku**

Pro předškolní věk je charakteristické dozrávání korových funkcí a mozečku, je dokončena myelinizace pyramidových drah. Díky těmto fyziologickým jevům se dítě zdokonaluje v rovnovážných funkcích, v jemné motorice a řeči. Dalším významným aspektem tohoto období je dozrávání somatostezie. Vytrává percepce a interpretace senzorické informace. Děti pokračují v rozvoji pohybových stereotypů jak kvantitativně, tak i kvalitativně. V tomto období se také vyvíjí motorická koordinace a obratnost. Zkvalitňují se komplexní pohyby, kdy se jednotlivé končetiny pohybují diferenciovaně namísto souhybů celého těla. Obecně dochází ke zlepšení dynamické koordinace pro cyklické a acyklické pohyby. Pro tento věk je typický velký rozsah pohybu v kloubech, který je způsoben laxitou vazivového aparátu (Kolář & Máček, 2021).

Jednoznačné určení milníku, kdy je chůze již zralá, je nejednoznačné. Autoři se liší v určení fáze dosažení zralé chůze a rovněž udávají různá kritéria, na základě kterých vospělou chůzi popisují. Perry a Burnfield (2010) uvádějí, že ve čtyřech letech mizí široká opěrná báze a je patrný souhyb horních končetin během chůze. Kolem sedmého roka života je přítomná vospělá chůze (Obrázek 1). Stejný věk dosažení vospělé chůze popisuje také Muscolino (2011). Dylevský (2021) uvádí, že mezi třetím až čtvrtým rokem života je chůze fixována a obsahuje všechny pohybové složky vzoru dospělého jedince. Chůze je rovnoměrná a automatická. Z důvodu vzrůstající délky končetiny roste délka

kroku i rychlost chůze a klesá proměnlivost kroku. Díky zdokonalení cyklického pohybu, kterým je chůze, se vyvíjejí rovněž acyklické pohyby, jako jsou skákání, hopsání apod. Podle Nevšimalové et al. (2021) se ladná a koordinovaná chůze vyvíjí zhruba do šesti let. Levine et al. (2012) uvádějí, že až v 15 letech dosahuje chůzový cyklus, délka kroku a rychlost chůze podobu dospělého jedince. Haywood a Getchell (2014) neuvádějí přímo věk dítěte, ale popisují vývojové změny v chůzi, na základě kterých lze považovat lokomoci za pohyb na dovednostní úrovni. Autoři uvádějí následující změny v chůzi: dítě má delší krok, objevuje se odvíjení chodidla (pata-špička) související se zvýšením rozsahu pohybu dolních končetin, redukuje se zevní vytočení palců, pohyb je směřován v předozadním směru, je přítomné dvojité uzamčení KOK v rámci chůzového cyklu, a to u kontaktu paty s podložkou a během předšvihové fáze při odlepení špičky od podložky, pánev během chůze rotuje, dolní a horní segmenty těla se pohybují protichůdně, souhyb horních končetin je koordinovaný s pohybem dolních končetin, není přítomná inklinace trupu dopředu.

#### **1.1.4 Ontogeneze motoriky v mladším školním věku**

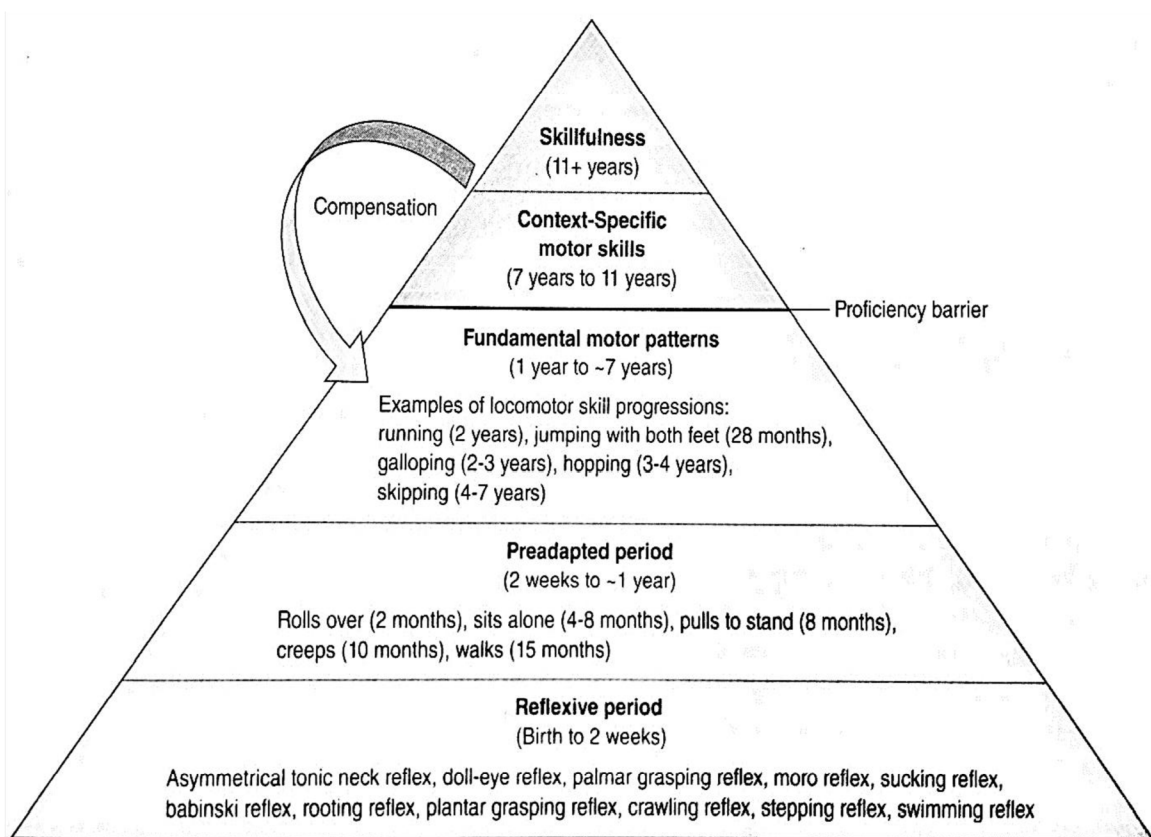
Pro nástup dítěte do školy je nutná určitá zralost, která je určena maturací CNS. Přípravenost pro zahájení školní docházky je převážně určena dosažením adekvátní úrovně komplexního vývoje (motorického, kognitivního, emočního). Jedinec je schopen vykonávat jednoduché motorické aktivity, jako je chůze, skákání, provádění běžných denních činností apod. Zároveň zvládá vykonávat složitější úkony, jako je psaní, čtení a počítání (Vágnerová, 2021).

Mezi šestým až dvanáctým rokem života dochází k výrazným změnám v pohybovém režimu dítěte. Nástup dítěte do školy znamená pro něj určitou zátěž. Od dítěte se očekává, že se bude adekvátně soustředit po dobu vyučování, a také bude inhibovat spontánní pohyblivost a hravou činnost, která převládala v předcházejícím období (Langmeier & Krejčířová, 2006).

Thevenon et al. (2015) ve své studii uvádějí, že se u dětí v mladším školním věku zvýšila preferovaná rychlost chůze, délka kroku a dvojkroku, a to adekvátně se zvyšujícím se věkem dítěte. Statisticky významné výsledky byly patrné u věkových skupin s dvouletým rozdílem. Kadence byla zvýšená u jedinců do 130 cm věku. U vyšších dětí došlo k fázi plató, kde se nelišily časové parametry chůze.

V šestém roku se významně rozvíjí kinestézie. Jedinec je v tomto období schopný kopírovat polohu těla v prostoru a pohyb paží, aniž by u toho využíval zrakové kontroly. U sedmiletého dítěte má na udržení rovnováhy stoje největší podíl propriocepce. Kolem šestého a sedmého roku se snižuje preference jedné poloviny těla, a díky tomu se u dítěte zvyšuje i kvalita běhu. Přibližně kolem šestého až osmého roku dochází ke změně řízení pohybu a je navozen mechanismus udržování posturální stability. Na tyto změny tělo reaguje přechodnou regresí přesnosti pohybů, protože dochází ke změně původních pohybových strategií. V rámci mladšího školního věku děti začínají používat stejné mechanismy posturální kontroly jako dospělí jedinci (Dylevský, 2021).

V zahraniční literatuře se objevují odlišné typy rozdělení motorického vývoje. Existuje tzv. pyramida motorického vývoje (Obrázek 2), která popisuje průběh rozvoje motorických vzorů u typicky se vyvíjejících osob (Haibach-Beach, Reid, & Collier, 2018). Tento koncept zveřejnili ve své práci Clark a Metcalfe (2002). Třetí příčka pyramidy odpovídá věku od jednoho roku až do sedmi let. Toto stadium je popisováno jako období fundamentálních motorických vzorů. Podmínkou pro přechod do dané fáze je schopnost samostatné chůze a sebesycení, které se považují za základní podmínky



Obrázek 2. Pyramida motorického vývoje (Haibach-Beach et al., 2018, s. 69).

pro přežití. Do této fáze patří také základní pohyby jako běhání, hopsání, přeskakování, házení, chytání a skákání.

Výše zmíněná pyramida motorického vývoje (Obrázek 2) ukazuje, že u dětí kolem sedmého roku dochází k tzv. „prahu motorické zdatnosti“. Díky přechodu přes daný práh se zdokonalují fundamentální motorické vzory a dítě je schopné vykonávat specifické pohyby, které provádí v rámci různých aktivit a sportů. Motorická zdatnost nevzniká přirozeně, ale je závislá na pohybových zkušenostech v průběhu raného dětství (Haibach-Beach et al., 2018).

V desátém roce života dozrávají posturální odpovědi, které jsou ekonomické a vytříbené. Při výběru posturální strategie mají vždy velký význam předchozí zkušenosti i aktuální fyzický a psychický stav dítěte. Pro udržení rovnováhy není nutná informace z obou DKK. Toto vývojové období je charakteristické významnými pokroky v oblasti hrubé motoriky, ale také ve vývoji jemné motoriky. Je plně vyzrálý úchop tužky (*dynamic tripod grip*) se správnou posturální kontrolou (Dylevský, 2021).

Vrcholem pyramidy motorického vývoje (Obrázek 2) je dosažení stadia obratnosti/dovednosti. Pro dosažení toho období musí být daný člověk obratný v konkrétním pohybu. Je důležité poznamenat, že jedinec může a nemusí být schopný v různých motorických dovednostech, např. basketbalový hráč může být rychlý a dobře chytat míč, ale nedokáže dobře plavat (Haibach-Beach et al., 2018). Dosažení vrcholu dovednosti je u každého jedince individuální. Je mnoho faktorů, které mohou tento vrchol (*peak*) ovlivnit, např. zranění, známky stárnutí apod. (Clark & Metcalfe, 2002).

### **1.1.5 Ontogeneze motoriky ve starším školním věku**

Následující motorické stadium zahrnuje období před pubertou a vlastní pubertu. Jedná se o věk od dvanácti do patnácti let. Daná fáze se vyznačuje hormonálními a růstovými změnami. Během pubertálního období je potřebný pohyb, aby docházelo k adekvátnímu zapojování všech složek těla v procesu růstu. V rámci tohoto věku přechodně lehce stagnuje rozvoj kinestetických a rytmických schopností. Na konci etapy staršího školního věku dochází k dovršení preciznosti základních pohybů, a to ve stabilitě, v posturální kontrole, v lokomoci i manipulaci. Reakční časy patnáctiletého jedince jsou srovnatelné s dospělým člověkem. Je téměř dovršen i vývoj nervové soustavy (Dylevský, 2021).

## 1.2 Chůze

V předchozích kapitolách byla podrobněji popsána posturální ontogeneze, v rámci které se postupem času mění způsob bipedální lokomoce z plazení, lezení, vertikální kvadrupedální chůze až finálně k vertikální bipedální chůzi (Haywood & Getchell, 2014). Chůzi lze definovat jako složitý alternující rytmický pohyb, který probíhá jako cyklus pohybů. V rámci cyklu se střídá stojná a švihová fáze. Končetiny jsou buď zatěžovány, nebo odlehčovány. Tato lokomoce se jeví jako jednoduchá činnost, kterou člověk provádí automaticky bez přemýšlení. Avšak pro vykonání chůze musí dojít k zapojení mnoha systémů (Véle, 2006). Chůze je výsledkem komplexního procesu, na kterém se podílí centrální, periferní nervový systém a muskuloskeletální systém (Levine et al., 2012).

Chůze může být realizována, pokud jsou splněna nezbytná kritéria. Jedinec musí být schopen udržet posturální stabilitu, střídát oporu obou DKK pro přenos hmotnosti těla, ve švihové fázi koordinovat pohyb DKK pro plynulý kontakt s podložkou a disponovat adekvátní svalovou silou pro vykonání pohybu vpřed (Whittle, 2007). Pro chůzi je důležitý dostatečný svalový tonus, funkční pohybový systém a také možnost zpětné informace těla, kterou poskytuje zrakový a vestibulární aparát, senzomotorický systém. Zmíněná kritéria vedou k ekonomickému provedení lokomoce. Pokud některé z kritérií není splněno, chůze má patologický vzor a pro jedince se stává energeticky náročnější (Neumannová, Janura, Kováčiková, Svoboda, & Jakubec, 2015). Řízení chůze vychází z CNS na základě vrozeného pohybového programu. Řízení těchto pohybových programů je dáno uspořádáním neuronálních sítí, které se interindividuálně upravují v průběhu života. Na řízení motoriky má vliv také motorické učení a získané zkušenosti. Jednotlivé nuance v chůzi jsou charakteristické pro každého člověka. Rozdíly souvisí s vnitřními nebo zevními faktory, které ovlivňují chůzi. Z toho důvodu se může individuálně měnit pohybový vzor chůze. Bipedální chůze je základní typ lokomoce, která je nejčastěji používána v každodenním životě. Je potřebná pro sebeobsluhu a další kvality života (Véle, 2006). Postižení nebo ztráta této funkce má na člověka významný dopad (Vařeka, Janura, & Vařeková, 2018).

### 1.2.1 Faktory ovlivňující chůzi

I když je chůze cyklický pohybový vzor těla, který se opakuje s každým krokem, může dojít k různým variacím v provedení kroku z různých důvodů (změna rychlosti kroku, jiná obuv atd.) (Rose & Gamble, 2006). Zevní faktory, které nejčastěji ovlivňují

chůzi, jsou spojené s povrchem terénu, například chození po nerovném, po zledovatělém povrchu, ve větrnostních podmínkách apod. (Dylevský, 2021). Mezi vnitřní faktory patří antropometrické a biomechanické parametry lidského těla. Z praxe je známo, že lze identifikovat člověka z dálky na základě jeho způsobu chůze. Bude rozdíl v dané lokomoci mezi vysokým a hubeným jedincem a osobou s menším vzrůstem a robustnější postavou (Rose & Gamble, 2006). Některé konkrétní faktory, které souvisí s růstem dítěte, byly již výše zmíněny. Zvolená rychlost chůze má také vliv na systém člověka. Pokud je chůze pomalá, není tolik zatížen kardiovaskulární systém, ale je zvětšený nárok na CNS z hlediska koordinace a udržení posturální stability. U rychlé chůze není tolik zatížen řídicí systém, ale větší spotřeba energie se projeví u kardiovaskulárního systému (Véle, 2006). Dalším vnitřním faktorem chůze je aktuální zdravotní, psychický i mentální stav člověka (Haywood & Getchell, 2014).

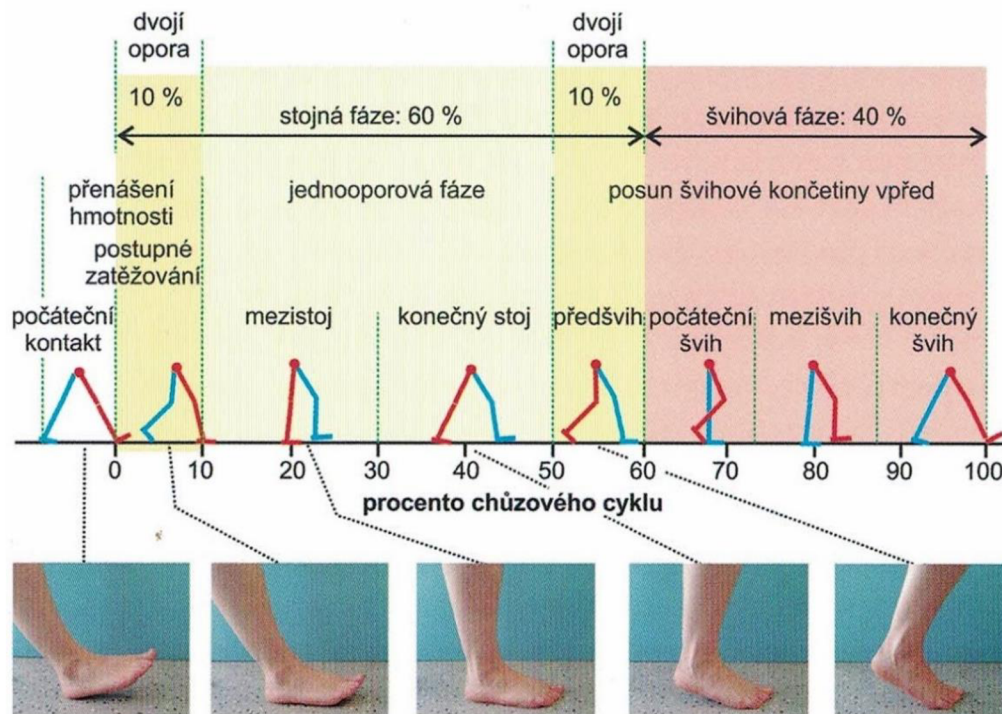
### 1.2.2 Chůzový cyklus

Chůzový cyklus je základní jednotkou chůze. Dvojkrok je považován za jeden cyklus (Dylevský, 2021). Jako začátek cyklu se uvádí počáteční kontakt jedné končetiny s podložkou a cyklus je ukončen při opětovném počátečním kontaktu té stejné končetiny (Svoboda, Rosický, & Janura, 2020). Základní rozdělení chůzového cyklu je na stojnou fázi, kdy je chodidlo v kontaktu s podložkou, a na švihovou bezoporovou fázi. Procentuální zastoupení obou fází v chůzovém cyklu se může lehce lišit podle autora. Obecně se udává poměr mezi stojnou a švihovou fází přibližně 60 % : 40 % (Dylevský, 2021; Levine et al., 2012; Neumannová et al., 2015). Jiní autoři uvádějí, že stojná fáze trvá 62 % a švihová 38 % chůzového cyklu (Nandy, Chakraborty, Chakraborty, & Venture, 2021; Rose & Gamble, 2006). Kromě jednooporové fáze, kdy je v kontaktu s podložkou jedna končetina, nastává také dvouoporová fáze (*double support*) (Gage, 1991). Pokud stojná fáze trvá 60 % chůzového cyklu, je opora o obě končetiny zastoupena ve 20 % chůze (Kirtley, 2006).

Stojná a švihová fáze se dále rozděluje na dílčí fáze pro důkladnější analýzu stereotypu chůze člověka. Jednotlivé fáze pomáhají sledovat pohyb v jednom kloubu a zároveň si všimnout funkce ostatních kloubů. Výsledně lze získat představu o tom, jakým způsobem jsou zapojovány jednotlivé končetiny do stereotypu chůze (Perry & Burnfield, 2010). V literatuře se můžeme setkat s procentuálním zastoupením trvání jednotlivých fází (Obrázek 3), kdy 0 % představuje první počáteční kontakt končetiny



a 100 % vyjadřuje následující kontakt té stejné končetiny (Muscolino, 2011; Neumannová et al., 2015; Perry & Burnfield, 2010; Rose & Gamble, 2006; Svoboda et al., 2020).



Obrázek 3. Chůzový cyklus (Neumannová et al., 2015, s. 13).

Stojná fáze bývá rozdělena na pět dalších fází: počáteční kontakt, postupné zatěžování, mezistoj, konečný stoj, předšvih (Perry & Burnfield, 2010). Jednotlivé fáze jsou výše znázorněny (Obrázek 3). Opěrná fáze začíná počátečním kontaktem paty švihové DK (Svoboda et al., 2020). Hlezenní kloub je v neutrálním postavení, zánoží je v pronaci subtalárního kloubu, a proto dochází k supinaci předonoží v transverzotarzálním kloubu. Dané postavení zvyšuje nároky na stabilitu. KOK je plně extendován před počátečním kontaktem a poté jde lehce do FLX, aby docházelo k tlumení nárazu. KYK je v této fázi v lehké FLX (Hamill, Knutzen, & Derrick, 2015). Následuje fáze postupného zatěžování, během které dochází k plantární flexi v hlezenním kloubu, a tím se položí chodidlo na podložku (Gage, 1991). Hmotnost těla je přenášena na stojnou DK. Dochází k působení mechanismu zhoupnutí paty (*heel rocker*), který má za úkol absorbovat nárazy a provést pohyb vpřed. Nárazy jsou rovněž absorbovány díky zvětšující se FLX v KOK. Významnou úlohu zde sehrávají extenzory a abduktory KYK pro zajištění stability opěrné DK. Díky působení koncentrické kontrakce m. gluteus maximus je zrychlen pohyb trupu vpřed a excentrická kontrakce m. gluteus medius

udržuje pánev ve frontální rovině, díky čemuž nedochází k poklesu pánve na kontralaterální straně (Perry & Burnfield, 2010). Následuje mezistoj, který je první částí jednooporové fáze. Chodidlo stojné DK je celou dobu na podložce a na druhé DK dochází k odrazu palce od podložky. Mezistoj končí zdvihem paty stojné DK (Gage, 1991). Cílem této fáze je udržení těžiště nad opěrnou bází a stabilizace KOK. Aby mohla být přenášena DK přes zafixované chodidlo druhé DK, musí dojít k tzv. „zhoupnutí v hlezenním kloubu“ (Rose & Gamble, 2006). V hlezenním kloubu se pohybuje noha do dorzální flexe, KOK a KYK do EX. Konečný stoj zahrnuje nadzvednutí paty a přenos zatížení na hlavičky metatarsů. KOK se vrací z EX pohybu zpět do FLX, KYK jde do extenze. Koncový stoj začíná zdvihem paty od podložky a končí v okamžiku, kdy se kontralaterální švihová DK dotkne podložky. Těžiště se dostává před opěrnou bází a klesá dolů ke švihové DK (Gage, 1991). Chodidlo se pohybuje do plantární flexe, KOK pokračuje ve FLX a KYK v EX (Bronstein, 2004). Poslední fází stojné fáze chůzového cyklu je předšvihová fáze. Dochází k rychlému přenosu váhy těla na kontralaterální DK, a tím je odlehčena zatížená DK. Hlezenní kloub se pohybuje do plantární flexe, KOK do FLX a postupně se redukuje EX v KYK. Z opěrné DK se stává odrazová DK. Propulzní silou tělo směřuje kraniálně a ventrálně (Perry & Burnfield, 2010).

Švihová fáze se dělí do tří částí: počáteční švih, mezišvih a koncový švih (Obrázek 3) (Perry & Burnfield, 2010). Fáze počátečního švihu začíná odrazem palce a trvá do maximální FLX v KOK. Končetina není v tomto období v kontaktu s podložkou (Svoboda et al., 2020). Narůstá flexe v KOK a KYK, a taktéž je zahájena dorzální flexe do neutrálního postavení v hlezenním kloubu (Bronstein, 2004). Fáze mezišvihu trvá od maximální FLX v KOK do vertikálního postavení tibie. Dále pohyb pokračuje do EX v KOK a dorzální flexe v hlezenním kloubu. Poslední fází je konečný švih. Končetina se připravuje na další kontakt nohy s podložkou. Pro tuto fází je nezbytná plná extenze KOK a neutrální postavení v hlezenním kloubu. Pohyb stehna je zpomalen díky excentrické kontrakci hamstringů a m. gluteus maximus. Hamstringy svou aktivitou rovněž stabilizují KOK, aby nedocházelo k hyperextenzi (Gage, 1991).

### **1.3 Kognitivní vývoj**

Dítě prochází od narození kognitivním vývojem, který pokračuje až do pubertálního období. Rychlost kognitivního vývoje se může u různých jedinců lišit (Haibach-Beach et al., 2018). Probíhá souvisle i skokově na základě proměny dětského poznávání a přemýšlení (Vágnerová, 2021). Kognitivní vývoj dětí probíhá na základě

změn a utváření poznávacích funkcí, jako je paměť, pozornost, inteligence, úsudek, myšlení, vnímání, představivost a fantazie. Všechny tyto funkce se postupně rozvíjejí díky dozrávání poznávacích funkcí a získáním zkušeností prostřednictvím sociálního učení (Kohoutek, 2008). Kognice se obecně popisuje jako funkce mozku, díky které si jedinec uvědomuje, poznává sebe samého a také okolní svět. Zároveň je schopen myslet, chápat, tvořit pojmy, zpracovávat podněty z okolního prostředí, řešit problémy, plánovat činnosti, ovládat své chování a sociálně fungovat (Růžička et al., 2019).

### **1.3.1 Teorie kognitivního vývoje podle J. Piageta**

Kognitivnímu vývoji lze lépe porozumět díky práci švýcarského psychologa Jeana Piageta, který u dítěte popsal jednotlivá stadia kognitivního vývoje podle věku a kvalitativních změn (Feigelman, 2016b). Na základě svého pozorování konstatoval, že zdrojem pro vývoj kognitivních funkcí je činnost dítěte, která vychází z jeho interakce s okolím. Konkrétně se jedná o působení jedince na okolní objekty a působení prostředí na něj (Langmeier & Krejčířová, 2006). Vzájemná interakce je určována motorikou, vnímáním smyslů a souhrou činností (Haibach-Beach et al., 2018). V následujících podkapitolách jsou obecně popsána jednotlivá stadia kognitivního vývoje dle Piageta.

#### **1.3.1.1 První stadium**

První fáze kognitivního vývoje se označuje jako *senzomotorická*. Trvá přibližně od narození do dvou let. Myšlení souvisí s konkrétní prováděnou činností. Jedinec vnímá okolí a určitým způsobem se motoricky projevuje (Langmeier & Krejčířová, 2006). Uvědomuje si, že jeho činnost ovlivňuje pohyb celého těla (Haibach-Beach et al., 2018). Dá se říct, že kognitivní schopnosti vznikají na základě senzomotorické zkušenosti (Piek, 2006). Postupně se proměňuje pohyb z nahodilého motorického experimentování k cílenému chování. Dítě začíná chápat vztah mezi objekty ve smyslu „podnět a následek“. Postupně se zvyšuje zájem o okolní svět. Dítě se učí novým postupům metodou „pokus-omyl“. Ke konci období dítě zkoumá předměty a experimentuje s nimi (Procházka & Orel, 2021).

#### **1.3.1.2 Druhé stadium**

Druhé stadium, tzv. *předoperační*, odpovídá předškolnímu věku. Trvá od dvou do sedmi let. Je pro ně charakteristické magické myšlení, myšlení založené na vnímání a egocentrismus (Feigelman, 2016c) Od dvou do čtyř let probíhá fáze *symbolického a předpojmového myšlení*. Dítě již není omezeno ve vnímání pouze reálného světa,

ale také dokáže o objektech a činnostech uvažovat ve svých představách. Objevuje se symbolické myšlení a s ním souvisí rovněž vývoj komunikace (Vágnerová, 2021).

Později – od čtvrtého roku do sedmi let – navazuje fáze *intuitivního myšlení*. Postupně se ze symbolické úrovně vyvíjí myšlenkové operace. Dítě v rámci myšlení soustřeďuje svou pozornost na určitý znak a opomíjí ostatní. V průběhu uvažování dokáže určité aspekty také předvídat. Představy dítěte se vytvářejí na základě jeho předchozích zkušeností. Myšlení je stále ještě egocentrické (Procházka & Orel, 2021).

### **1.3.1.3 Třetí stadium**

Třetí stadium se popisuje jako fáze *konkrétních logických operací*. Zařazují se do ní děti v mladším školním věku od sedmi do jedenácti let. V tomto období dochází k zásadní změně v oblasti myšlení. Děti dokážou logicky uvažovat o konkrétních reálných věcech. Přemýšlejí o různých aspektech předmětu nebo situace. V rámci řešení úlohy dokážou flexibilně měnit způsob, jakým přemýšlejí (Vágnerová, 2021). Myšlení těchto dětí má konkrétní obsah. Jsou schopny popsat příčiny zevních vlivů. Berou v potaz, jakým způsobem přemýšlejí ostatní, i to, co jiní prožívají. Během procesu uvažování se děti již neopírají pouze o vlastní zkušenost. Logické myšlení lze v tomto věku popsat následovně: dítě dokáže klasifikovat různé aspekty určitého jevu, organizovat předměty do tříd a podtříd, chápe stálost některých vlastností (princip konzervace) objektů, tvoří logické posloupnosti, spojuje informace a tvoří závěry, dokáže vyvodit závěr na základě posouzení více hledisek a při řešení problému je schopné se vrátit na začátek své úvahy. V tomto období ještě není přítomné abstraktní myšlení (Thorová, 2015).

Zrání mozku se v tomto období posouvá na další úroveň. Vyžívá schopnost senzomotorické koordinace, a také grafomotorická dovednost. Pro řízení takových funkcí je nezbytné plánování pohybu a také koordinování jednotlivých sekvencí pohybu (Bart, Hajami, & Bar-Haim, 2007).

### **1.3.1.4 Čtvrté stadium**

Poslední fáze kognitivního vývoje se označuje jako stadium *formálních logických operací* nebo také jako *hypoteticko-deduktivní*. Začíná kolem 11. až 12. roku věku a trvá až do období mezi 15–20 lety. Uvažování těchto jedinců se vyznačuje abstraktním myšlením, systematickým plánováním, tvořením metodických postupů a hypotetickým uvažováním o různých variantách, které mohou v dané situaci nastat. Ve vědeckých oblastech, jako např. v matematice, filozofii apod., využívají tito jedinci formální

operace. Jejich logické uvažování má deduktivní charakter, kdy přecházejí od obecného ke konkrétnímu, od hypotéz k závěrům. Tento jedinec je schopný logicky a deduktivně uvažovat o určitém problému. Nejedná se pouze o uvažování o reálných situacích, ale také o řešení hypotetických problémů. V tomto období je člověk již schopen řešit pravděpodobnostní problémy, zvažovat variace a obměny. Díky tomu se v této fázi nejvíce rozvíjejí matematické dovednosti (Thorová, 2015).

### 1.3.2 Kognitivní funkce

Kognitivní funkce (KF) jsou základní schopnosti mozku, které umožňují poznávat okolní svět a jiné lidi a zároveň pomáhají plánovat jednání. Tyto funkce umožní člověku zapojit se do každodenních činností (Klucká & Volfová, 2016). KF jsou podmínky, v rámci kterých se mentální operace vyskytují. KF lze pracovníčně popsat pomocí fází mentální činnosti, kdy celý proces funguje na základě vstupu (*input*), zpracování (*elaboration*) a výstupu (*output*). *Input* je proces získávání dat pro kognitivní systém. *Output* je kognitivní výsledek, který je získán *elaborací* (Feuerstein, 2014). Mezi hlavní kognitivní funkce řadíme pozornost, paměť, řeč, zrakově-prostorové funkce, gnostické funkce a exekutivní funkce. Zmíněné funkce vycházejí ze specifických korových a podkorových oblastí (Růžička et al., 2019).

#### 1.3.2.1 Popis jednotlivých kognitivních funkcí

*Pozornost* je kognitivní činnost, která umožňuje zaměřit se určitým směrem. Základní vlastností pozornosti je selektivita, díky které je možné si záměrně vybírat jen některé podněty z široké nabídky. Díky tomu je člověk schopen se nasměrovat na relevantní podněty a oprostit se od irelevantních stimulů. Následnou vlastností je koncentrace pozornosti, díky které se může jedinec soustředit po určitou dobu na nějaký objekt. V rámci plnění více činností současně se uplatňuje distribuce neboli rozdělení pozornosti. Dalším atributem pozornosti je *vigilita*, schopnost přesouvat pozornost z jednoho podnětu na druhý. Tato schopnost umožňuje přizpůsobit se okolním podmínkám a pohotově reagovat na určitou situaci (Klucká & Volfová, 2016).

Další komplexní kognitivní funkcí je *paměť*; dělí se na deklarativní a nedeklarativní. Nedeklarativní (neuvědomělá) paměť je zodpovědná za tvorbu motorického učení, podmíněných reflexů a adaptační reakce. Deklarativní (uvědomělá) paměť obsahuje složku sémantickou, která slouží k zapamatování faktů, a složku epizodickou sloužící k uchování událostí v paměti (Valenta, Michalík, & Lečbych, 2018).

Podle časové osy lze dále dělit epizodickou paměť na krátkodobou a dlouhodobou. Pracovní paměť slouží k řešení specifického úkolu, jako např. opakování čísel pozpátku (Nikolai & Bezdíček, 2018). Kapacita pracovní paměti se lineárně vyvíjí v průběhu dětství a vrcholí v období adolescence (Bathelt, Gathercole, Johnson, & Astle, 2017).

*Řeč* je činnost, která umožňuje komunikaci. Jedná se o děj, v rámci kterého se zapojuje mnoho systémů. Je pro ni nezbytný funkční sluchový analyzátor, intaktní svalový aparát, který je inervován příslušnými neurony, ale také regulace z mozečku, extrapyramidového systému a v neposlední řadě také integrující funkce mozkové kůry. Řeč je součástí tzv. symbolických funkcí, které se popisují jako vyšší nervové činnosti. Do této skupiny funkcí jsou zahrnuty fatické funkce – schopnost mluvit, psát, číst nebo přemýšlet nad významem slov a nad abstraktními pojmy (Ambler, 2011).

Díky *zrakově-prostorovým funkcím* je člověk schopen se orientovat v prostoru a v něm sledovat pohyb určitého objektu. Díky této dovednosti lze hladce sledovat určitý jev. Je možné také přesouvat pozornost současně s pohybem hlavy a očí při zkoumání odlišností různých předmětů. Dané funkce jsou realizovány díky okruhům, které zahrnují kortikální i subkortikální centra mozku. Pro prostorovou orientaci jsou do funkce zapojeny bazální ganglia, colliculi superiores a occipitofrontální oblast. Do rozpoznávání objektů se zapojuje také temporální oblast mozku (Procházka & Orel, 2021).

*Exekutivní funkce* neboli řídicí funkce bývají nadřazeny všem ostatním kognitivním funkcím. Zajišťují samostatné, cílené a účelné jednání člověka. V praxi se jedná o zvládnání nároků běžného dne, plánování úkolů, stanovení priorit a rozdělení složitých činností na postupné kroky. Díky exekutivním funkcím je člověk schopen řešit problémy, dělat více činností najednou, koordinovat své uvažování a fungovat v domácím i pracovním prostředí (Klucká & Volfová, 2016). Exekutivní funkce zahrnují čtyři základní složky. První složkou je vůle, díky které má člověk předpoklad cílevědomě jednat. Následným aspektem je složitý proces plánování, se kterým se zároveň pojí schopnost reagovat flexibilně. Další složkou je účelné jednání a tou poslední je úspěšný výkon, kdy posuzujeme dosažení stanoveného cíle (Preiss, 1998).

*Gnostické funkce* se stejně jako výše zmíněné fatické funkce řadí mezi symbolické funkce. Jedná se o schopnosti umožňující poznávat okolní jevy pomocí zraku, sluchu a hmatu. Porucha těchto funkcí může být různého druhu, např. sluchová agnózie – neschopnost porozumět mluvenému slovu, zraková agnózie, která se projevuje

jako neschopnost rozpoznat předměty, alexie nebo porucha orientace v prostoru (Ambler, 2011).

### **1.3.2.2 Anatomické podklady kognitivních funkcí**

Frontální lalok tvoří třetinu celého kortexu, jedná se o oblast, která je významná pro motoriku člověka. Podílí se na exekutivních funkcích, je zodpovědný za řízení emocí, přiměřené chování a celistvost osobnostních rysů. Je rovněž propojen s podkorovými strukturami ve formě okruhů (Růžička et al., 2019).

Prefrontální kortex se nachází v přední části frontálního laloku před motorickým kortexem (Růžička et al., 2019). K největšímu rozvoji této oblasti dochází do dvou let z důvodu vrcholení synaptogeneze a vyzrává až do období adolescence (Lezak et al., 2005). Dělí se do tří funkčních podoblastí: dorsolaterální prefrontální kortex, ventromediální prefrontální kortex a orbitofrontální kortex. *Dorsolaterální prefrontální kortex* je propojen s motorickou kůrou, bazálními gangliemi a mozečkem. Podílí se na spouštění a koordinaci volných pohybů, pohybových stereotypch, učení a řízení exekutivních funkcí. Zajišťuje zaměření a udržení pozornosti ke sladění činností (Růžička et al., 2019). Významné je jeho funkční propojení v okruhu s mozečkem. Pokud dochází k poruše, může vznikat tzv. mozečkový kognitivně-afektivní syndrom. Charakteristickými symptomy jsou porucha multitaskingu, pracovní paměti, učení se novým dovednostem a plánování, ale i zhoršení prostorové orientace, emoční labilita apod. Nejvýraznější bývá deficit exekutivních funkcí a vizuospeciálních funkcí (Schmahmann & Sherman, 1998). V literatuře je věnováno málo pozornosti *ventromediálnímu prefrontálnímu kortexu*. Kulišťák (2017) popisuje, že poškození této oblasti kůry se projevuje jako porucha procesu rozhodování a plánování. Deficit také způsobuje narušení emocí, sociálního chování a změnu osobnosti. *Orbitofrontální kortex* je v první řadě propojen s limbickým systémem. Společně se podílejí na rozhodování, chování, regulaci emocí a chápání sociálních situací (Růžička et al., 2019).

### **1.3.2.3 Vztah kognice a motoriky**

Je důležité poznamenat, že kognice a motorika s sebou úzce souvisí. Aferentace z vnitřního i zevního prostředí vstupuje do CNS a generuje pohybovou i mentální aktivitu. Z klinické praxe je známo, že v rámci kinezioterapie lze ovlivňovat jak motorickou, tak i kognitivní složku pacienta (Véle, 2006). Také Stelmach (1982) popisuje,

že pro uplatnění určité dovednosti je potřeba nejen motorické funkce, ale také se aktivují různé mentální funkce. Piek a kolektiv (2004) uvádějí, že existuje úzký vztah mezi motorickou koordinací, pozorností a exekutivními funkcemi.

Vyzrálá motorická kontrola, bimanuální a vizuomotorická koordinace často dozrávají až do staršího školního věku. Obdobně tomu je i u komplexních kognitivních operací, které se zdokonalují až do období dospívání. Byla zkoumána korelace mezi aktivitou prefrontálního kortexu a neocerebella (Diamond, 2000). I když dané části mozku mají svou vlastní funkci, společně se podílejí na různých činnostech. Pozitronová emisní tomografie prokázala, že v rámci kognitivního úkolu vzrůstá aktivita dorsolaterálního prefrontálního kortexu, ale zároveň se aktivuje neocerebellum. Na základě těchto poznatků lze konstatovat úzkou funkční propojenost daných mozkových oblastí (Diamond, 2000; Raichle et al., 1994).

#### **1.4 Dvojitý úkol (dual task)**

Člověk je denně vystavován situacím, kdy provádí více činností najednou (*multitasking*). Příkladem může být vedení konverzace s druhou osobou v rámci chůze v určitém terénu. V tomto případě jedinec provádí komplexní motorickou a kognitivní činnost. Člověk může provádět i dvě kognitivní činnosti naráz. Multitasking vzniká i v okamžiku, kdy se v rámci primární úlohy nečekaně objeví sekundární úloha. Někteří autoři definují multitasking jako provádění alespoň dvou činností ve stejné době (Kiesel, Johannsen, Koch, & Müller, 2022). Jiní autoři popisují, že o multitaskingu lze hovořit, pokud se v jednom okamžiku překrývají kognitivní procesy spojené s prováděním dvou nebo více úkolů (Koch, Poljac, Müller a Kiesel, 2018).

Dvojitý úkol (*dual task*) je definován jako konkurenční provádění dvou činností najednou, které lze odděleně provést a měřit (McIsaac, Lamberg, & Muratori, 2015). Každá činnost má svůj konkrétní cíl (projit vzdálenost a udržet posturální stabilitu, nést sklenici s vodou a nevylít obsah) (Selge et al., 2018). V rámci plnění dvojitého úkolu se nejčastěji určuje, tzv. primární úkol (*primary task*) a sekundární úkol (*secondary task*) (Fraizer & Mitra, 2008). Při plnění dvojitého úkolu může dojít ke změně ve výkonu prováděných úloh. V tomto případě můžeme hovořit o dopadu dvojitého úkolu (*dual task effect, dual task cost*) (Bayot et al., 2018). Provádění duálních úloh spadá do oblasti neuropsychologie, která hodnotí motorické chování a kognitivní operace jedince (Suarez, Vidal, Burle, & Casini, 2015).



### 1.4.1 Dual task cost

DTC posuzuje rozdíl ve výkonu provedení jedné úlohy a duálních úloh. Na základě toho lze kvantifikovat schopnost probanda provádět více úloh naráz (Brustio, Magistro, Zecca, Liubicich, & Rabaglietti, 2018). Náklady pro výkon dvojího úkolu se počítají pomocí vzorce, který je uveden níže (Obrázek 4). DTC lze počítat pro jakýkoliv zvolený parametr. Od hodnoty DT (dual task) se odečte hodnota ST (single task) a to celé se vydělí hodnotou ST. Výsledek se vynásobí 100 (Kelly, Janke, & Shumway-Cook, 2010). Vyšší náklady na určitou úlohu znamenají horší provedení a snížení výkonu, a naopak nižší náklady znamenají lepší provedení, vyšší výkon (Patel, Lamar, & Bhatt, 2014). Důvodem sníženého výkonu je efekt interference vykonávaných úkolů. V praxi to může znamenat dělat více chyb nebo mít pomalejší reakce (Mac-Auliffe et al., 2021; Pashler, 1994). Dvojí úkol nemusí vždy vést ke zvýšeným nákladům a ke zhoršení výkonu. V určitých podmínkách může přinést benefity pro výkon dané činnosti (Bayot et al., 2018).

$$\frac{(\text{dual task} - \text{single task})}{\text{single task}} \times 100\%$$

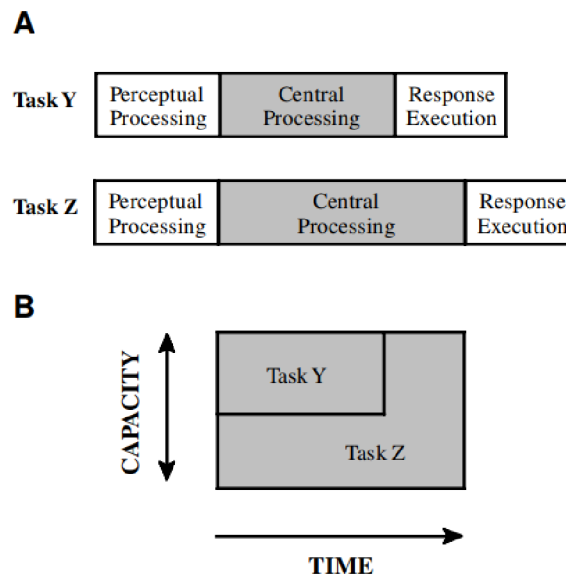
Obrázek 4. Příklad vzorce pro výpočet dual task cost (Kelly et al., 2010, s. 67).

### 1.4.2 Interference úloh a teorie jejího vzniku

Interference úloh může být tzv. strukturální nebo kognitivní. Strukturální interference je limitace počtu prováděných aktivit z důvodu možností lidského těla. Člověk není schopen psát na počítači a zároveň chytat míč. V tomto případě musí jedinec ukončit jednu činnost, aby mohl splnit druhý úkol. Strukturální limitace se rovněž týká lidského zraku. Zrakově lze fixovat pouze jeden objekt. Je důležité poznamenat, že dané strukturální omezení nesouvisí s kapacitou pozornosti, ale s přirozenou limitací lidského těla (Haibach-Beach et al., 2018).

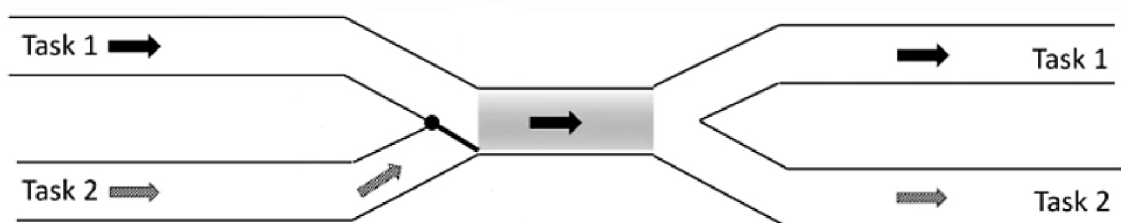
Omezení vykonávání více činností naráz vychází z centrální limitace neboli kognitivní interference. Vedení rozhovoru během chůze může limitovat starší jedince. Důsledkem toho je zpomalení chůze nebo delší reakční doba odpovědi na otázku. Pozornostní kapacita se snižuje s věkem. Osoby staršího věku mají obtíže, pokud jsou rozptylovány mnoha podněty. Kapacita pozornosti může být omezena, ale je zároveň flexibilní. Tréninkem může dojít ke zvýšení kapacity pozornosti nezbytné pro vykonání dané činnosti (Haibach-Beach et al., 2018).

Existují teorie, které vysvětlují, jakým způsobem dochází k interferenci dvojího úkolu (Hagmann-von Arx, Manicolo, Lemola, & Grob, 2016). V současnosti není známo, která z teorií je nejadekvátnější (Yogev-Seligmann, Hausdorff, & Giladi, 2008). *The capacity-sharing theory* popisuje, že pozornost se rozděluje mezi vykonávané úkoly (Kahneman, 1973). Distribuce pozornosti probíhá paralelně pro všechny úkoly. Pokud při zpracování více úkolů dojde k překročení celkové kapacity, zhoršuje se výkon jednoho úlohu, případně obou (Bayot, et al., 2018). Schéma (Obrázek 5) znázorňuje teorii centrální sdílené kapacity pro dané úlohy (Y a Z). Popisuje, jaké může být zastoupení centrálního zpracování pro jednotlivé úlohy (A) a jakým způsobem může být dynamicky rozdělena kapacita pro oba úkoly (B).



Obrázek 5. Model centrální sdílené kapacity (Ruthruff, Pashler, & Hazeltine, 2003, s. 805).

*The bottleneck (Task-Switching) theory* lze definovat jako teorii úzkého hrdla. Tato teorie uvádí, že při provádění dvou činností naráz může dojít k efektu zúženého místa. Omezení paralelního provádění úkolů může nastat z toho důvodu, že pro jejich vykonání je potřebný stejný nervový okruh. Neurony reagují na jeden vstup, proto může dojít k zúžení zpracovávaných informací, a tím způsobem se může zhoršit výkon jednoho



Obrázek 6. The bottleneck theory (Otermans, Parton, & Szameitat, 2022, s. 1776).

úkolu (Pashler, 1994). Ne všechny úkoly lze provádět současně. V případě provádění dvou náročných úkolů, jeden z nich vytvoří překážku (Obrázek 6) a zpracování druhého úkolu nastane, jakmile dojde k uvolnění neuronální sítě. Důsledkem je delší provedení dvojího úkolu (Pashler, 2001).

*Cross-Talk Models theory* uvádí, že principiálně by mohlo být snazší provádět dva úkoly, které mají podobnou aferenci a způsob zpracování (Pashler, 1994). Pokud úkoly používají stejné okruhy, zvyšuje se efektivita v provedení díky snížení nákladů kapacity pozornosti. Jedná se o facilitaci výkonu (Bayot et al., 2018).

### **1.4.3 Paradigma dvojího úkolu**

V literatuře se můžeme setkat s různými druhy dvojího úkolu. Piqueres-Juan, Tirapu-Ustárrroz a García-Sala (2021) klasifikují paradigmatu dvojího úkolu podle složek, které úkoly obsahují. Na základě toho se dělí na paradigma kognitivně-motorické, motoricko-motorické a kognitivně-kognitivní. Nejčastěji je používané kognitivně-motorické paradigma.

#### **1.4.3.1 Kognitivně-motorické paradigma**

Kognitivně-motorické paradigma se týká provádění dvou úkolů, kdy jeden z nich obsahuje motorickou složku a druhý složku kognitivní. V tomto případě lze hodnotit výsledky plnění dvojího úkolu nebo výkonu jednotlivých úkolů. Pro motorický úkol se často používá chůze (Piqueres-Juan et al., 2021) a lze sledovat její různé parametry. Jiným motorickým úkolem bývají různé varianty stoje (klidový, tandemový stoj, stoj spojný nebo stoj o široké bázi), v jehož rámci lze hodnotit rovnováhu (Musilová & Janura, 2020). Motorickým úkolem může být také jiný komplexní pohyb, jako je házení míče (Künzell et al., 2018) nebo pohybová aktivita na bicyklovém ergometru (Moraes et al., 2011).

V rámci kognitivní složky úkolu je možné posuzovat různé kognitivní funkce. Na základě sledovaného jevu lze použít konkrétní kategorii pro kognitivní úkol. Příkladem aktivit jsou úkoly na rychlost zpracování podnětu, trvalou pozornost (reakční čas při zmáčknutí tlačítka), úkoly na pozornost a možnou inhibici nežádoucích podnětů (rozhodování a diskriminace), úkoly pro pracovní paměť, mentální pozornost (sériové odčítání, aritmetické úkoly, zpětné hláskování, vyjmenovávání kalendářních měsíců v obráceném pořadí, opakování řady číslic, atd.), úkoly spojené s exekutivními funkcemi a sémantickou pamětí (slovní plynulost, vyjmenovávání slov z určité kategorie, např.

názvů zvířat začínajících na určené písmeno, nebo spontánní verbální úkol) (Al-Yahya et al., 2011). Toto rozdělení je užitečné pro adekvátní srovnávání výsledků jednotlivých studií, které použily kognitivně-motorické paradigma. Nejčastěji se v rámci kognitivní úlohy hodnotí exekutivní funkce, pracovní paměť a pozornost (Bayot et al., 2018). Úlohy se obecně mohou lišit v obtížnosti a složitosti. Aby proband úkolu správně porozuměl a správně ho provedl, je důležité důkladně vysvětlit zadání aktivity (Kiesel et al., 2022).

V rámci dvojího úkolu, který obsahuje kognitivní a motorickou složku, může být proband limitován v udržení pozornosti při vykonávání kognitivní úlohy a provádění určitého pohybu. Důležitou roli zde hrají exekutivní funkce, které pomáhají diferencovat pozornost. Vyšší kognitivní funkce mohou být nevyzrálé z důvodu nízkého věku nebo kognitivní poruchy. Deficit exekutivních funkcí narušuje důležitou schopnost distribuovat pozornost a adekvátně reagovat na jednotlivé stimuly (Woollacott & Shumway-Cook, 2002).

Jako ukázka kognitivně-motorického dvojího úkolu mohou sloužit studie, které ve své metodice výzkumu aplikovaly toto paradigma. Používají následující dvojí úkol: Kwon, Kwon, & Cho (2019) zkoumali u mladých dospělých jedinců rozdíl mezi časoprostorovými parametry chůze bez sekundární kognitivní úlohy a s ní. První kognitivní úloha spočívala v odečítání čísla sedm nebo devět od daného čísla, v následné úloze měl proband za úkol říct datum pozpátku (8. června 2017, 2017 června 8.). Výsledně bylo zjištěno, že došlo ke statisticky významnému snížení rychlosti chůze u obou přidáných sekundárních úloh. Tramontano et al. (2017) zkoumali chůzi u různých skupin probandů pomocí akcelerometru. V rámci kognitivní složky DT měl proband říct číslo, které se ukázalo v okamžiku zaznění náhodného auditivního podnětu. Autoři popsali, že došlo ke statisticky významnému rozdílu v rychlosti chůze u zdravých osob staršího věku a jedinců stejného věku, kteří již prodělali cévní mozkovou příhodu. Významný rozdíl byl také mezi skupinou dětí typicky se vyvíjejících a skupinou dětí s dětskou mozkovou obrnou.

Plummer et al. (2013) popisuje devět možností dosažení výkonu v rámci DT kognitivně-motorického paradigmatu v porovnání s výkonem v ST. Koncept je znázorněn níže (Obrázek 7). Výsledek výkonu DT může být následující: výkon obou úloh DT se nemění (no dual task interference), stejný kognitivní výkon a vyšší motorický výkon (motor facilitation), stejný motorický výkon a vyšší kognitivní výkon (cognitive facilitation), stejný kognitivní výkon a nižší motorický výkon (cognitive-related motor interference), stejný motorický výkon a nižší kognitivního výkon (motor-related cognitive interference), vyšší kognitivní výkon a nižší motorický výkon (cognitive-priority trade off), vyšší motorický výkon a nižší kognitivní výkon (motor-priority trade off), zlepšení obou výkonů (mutual facilitation), zhoršení obou výkonů (mutual interference).

		Cognitive Performance		
		No Change	Improved	Worsened
Motor Performance	No Change	No dual-task interference	Cognitive facilitation	Motor-related cognitive interference
	Improved	Motor facilitation	Mutual facilitation	Motor-priority trade-off
	Worsened	Cognitive-related motor interference	Cognitive priority trade-off	Mutual interference

Obrázek 7. Klasifikace dvojího úkolu kognitivně-motorického paradigmatu na základě výkonu jednotlivých složek úkolů (Plummer et al., 2013, s. 2567).

### 1.4.3.2 Motoricko-motorické paradigma

Jedná se o paradigma, ve kterém DT obsahuje úlohu s motorickou složkou a simultánně probíhá druhá motorická aktivita (Piqueres-Juan et al., 2021). Lee, Kim a Lee (2015) zkoumali automatismus chůze u pacientů v chronickém stadiu po cévní mozkové příhodě. Sledovaný jev hodnotili pomocí srovnání rychlosti samotné chůze a rychlosti chůze s přidaným motorickým úkolem, který spočíval v nesení sklenice vody, aniž by došlo k rozliti obsahu. Autoři zjistili, že pacienti mají nižší schopnost automatismu chůze ve srovnání se zdravými jedinci stejného věku. Kwon et al. (2019) použili stejné motoricko-motorické paradigma jako Lee et al. (2015), ale zkoumali časoprostorové charakteristiky chůze u mladých dospělých. Výsledně došlo ke statisticky významnému snížení časoprostorových parametrů chůze DT v porovnání s ST chůzí.

Motoricko-motorické paradigma lze taktéž použít pro diagnosticko-terapeutické účely. An et al. (2014) využili dané paradigma jako způsob ovlivnění stavu pacientů v chronickém stadiu po cévní motorické příhodě. Úkolem probandů byla chůze

na běžecím pásu s různými motorickými úlohami, jako např. chytání a házení míčku, zapínání knoflíků, držení hrnku a jiné.

### **1.4.3.3 Kognitivně-kognitivní paradigma**

Dvojitý úkol tohoto paradigmatu obsahuje obě kognitivní složky. Jak již bylo dříve zmíněno, druh kognitivního úkolu může být cíleně zvolen na základě sledované kognitivní funkce, kterou chceme testovat (Piqueres-Juan et al., 2021). Pro představu, jakým způsobem se v praxi využívá dané paradigma, slouží různé studie. Chybí literatura, která by metodologicky popisovala zásady využití kognitivně-kognitivního paradigmatu. Lanfranchi, Baddeley, Gathercole, & Vianello (2012) porovnávali DT u dětí typicky se vyvíjejících a dětí s Downovým syndromem. U ST si měly děti zapamatovat vždy první slovo z různých čtených seznamů slov. V rámci DT byla přidána zrakově-prostorová úloha, ve které měly za úkol klepnout do stolu, pokud se objevila červená karta. Další druh přidané sekundární úlohy byl obdobný, ale klepnutí do stolu souviselo s auditivním podnětem (s konkrétním slovem). U dětí s Downovým syndromem došlo ke statisticky výraznému snížení výkonu ve všech úlohách (včetně ST) v porovnání s kontrolní skupinou. U DT bylo snížení výkonu nejvýraznější. Inasaridzea, Foley, Logieb, & Sala (2010) zkoumali schopnost provádět dvojitou úlohu u pacientů s vaskulární demencí. V první kognitivní úloze měli probandí na papíře spojit co nejvíce šipek za dvě minuty, druhá úloha spočívala v zopakování zadané číselné řady. U jedinců s vaskulární demencí došlo ke statisticky horšímu výkonu DT v porovnání se skupinami zdravých mladších a starších jedinců.

### **1.4.4 Dual task u dětí**

Na základě výše zmíněných poznatků lze konstatovat, že děti v mladším školním věku dosahují vysokého stupně motorického i kognitivního vývoje. Otázkou je, do jaké míry jsou tyto děti schopné kombinovat více činností současně a zda se schopnost provádět DT vyvíjí s věkem. U dětí se používají všechny typy paradigmat dvojitou úkolu (Pena, Pavão, Oliveira, de Campos, & Rocha, 2019).

Möhring et al. (2021) do své studie zařadili děti ve věku od 8–13 let. Byla zkoumána chuť se sekundární kognitivní úlohou zaměřenou na exekutivní funkce (např. schopnost inhibice – zvířecí Stroop test). Autoři zjistili, že se zvyšujícím se věkem došlo ke snížení variability trvání krokového cyklu u DT v porovnání se ST. Se zvyšujícím se věkem se snižovala i chybovost v kognitivních úlohách. Boonyong, Siu, van

Donkelaar, Chou a Woollacott (2012) zkoumali vybrané charakteristiky chůze u mladších dětí od 5–6 let, starších dětí od 7–16 let a mladých dospělých jedinců od 19–26 let. Pro sekundární kognitivní úlohu byl použitý zvukový Stroop test. U mladších dětí (5–6 let) se u DT prokázalo snížení rychlosti chůze a snížení stability chůze v anteroposteriorním a vertikálním směru. U všech dětí (5–16 let) došlo ke snížení délky dvojkroku. Obecně byly u dětí pozorovány vyšší náklady DT v porovnání s mladými dospělými jedinci. Palluel et al. (2019) také srovnávali výkon vybraných charakteristik chůze u dětí a mladých dospělých probandů. Děti byly rozděleny do dvou skupin od 7–9 let a od 10–11 let. Dospělí jedinci byli ve věku od 18–32 let. Jako sekundární kognitivní úkol byl použit zvířecí Stroop test. DTC se snižoval se zvyšujícím se věkem. U dospělých došlo ke kognitivní facilitaci DT a u dětí ke kognitivní inhibici. Obdobně jako dříve zmiňování autoři zkoumali také Tramontano et al. (2017) vybrané charakteristiky chůze se sekundární kognitivní úlohou u různých věkových skupin. Do výzkumného souboru kromě dětí (5–7 let) a mladých jedinců (21–26 let) zahrnuli také osoby staršího věku (62–74 let). Mladí jedinci měli srovnatelné výsledky výkonu u ST a DT. U osob staršího věku došlo ke snížení rychlosti chůze ve prospěch udržení latero-laterální rovnováhy. Podobně jako u starších probandů se také u dětí typicky se vyvíjejících snížila rychlost chůze a zvýšila se u nich akcelerace v mediolaterálním směru.

Kromě hodnocení DTC chůze u dětí se zahraniční literatura věnuje také hodnocení dynamické rovnováhy s přidanou kognitivní úlohou. Pro tyto účely Jelsma, Geuze, Fuermaier, Tucha, & Smits-Engelsman (2021) použili videohru (The Wii Fit ski slalom) počítačového systému Nintendo®, která obsahovala balanční plošinu hodnotící pohyb působitě reakční síly podložky (COP). Byly zkoumány typicky se vyvíjející děti ve věku 7–12 let a děti s vývojovou koordinační poruchou. Simultánně s primárně motorickou úlohou probíhala sekundární kognitivní úloha. Děti měly za úkol zaznamenat počet zvuků určitého zvířete z nahrávky. Následovala další přidaná sekundární motorická úloha, v rámci které musely děti udržet obdélník vytvořený z palců a ukazováčků, přičemž se prsty během primárního balančního úkolu nesměly rozpojit. Autoři zjistili, že nedochází k významnému rozdílu výkonu dynamické stability mezi oběma skupinami. U sekundární kognitivní úlohy měli probandi obou skupin srovnatelný výkon a u sekundární motorické úlohy měly obě skupiny snížený výkon.

Zahraněční literatura se také zabývala otázkou, zda určité faktory mohou ovlivnit děti při výkonu dvojího úkolu. Výsledně bylo zjištěno, že dětská inteligence, motorické

chování, zranění v osobní anamnéze a psychosociální chování nekoreluje s výsledky hodnocení duálních úloh dětí v mladším školním věku (Hagmann-von Arx et al., 2016).



## **2 CÍLE A HYPOTÉZY**

### **2.1 Hlavní cíl**

Cílem diplomové práce je posouzení vybraných charakteristik chůze u dětí v mladším školním věku na základě dat z inerciálního senzoru.

### **2.2 Dílčí cíle**

- 1) Porovnání charakteristik chůze mezi různými věkovými skupinami dětí v mladším školním věku.
- 2) Porovnání charakteristik chůze při současném vykonávání kognitivní úlohy mezi různými věkovými skupinami dětí v mladším školním věku.
- 3) Porovnání „dual task cost“ mezi různými věkovými skupinami dětí v mladším školním věku.

### **2.3 Výzkumné hypotézy**

H1: Se zvyšujícím věkem dětí v mladším školním věku se zvyšuje stabilita chůze.

A. u chůze bez sekundární úlohy

B. u chůze se sekundární úlohou

H2: Se zvyšujícím věkem dětí v mladším školním věku se snižuje variabilita chůze.

A. u chůze bez sekundární úlohy

B. u chůze se sekundární úlohou

H3: Se zvyšujícím věkem dětí v mladším školním věku se zvyšuje symetrie chůze.

A. u chůze bez sekundární úlohy

B. u chůze se sekundární úlohou

H4: Se zvyšujícím věkem dětí v mladším školním věku se zvyšuje komplexnost chůze.

A. u chůze bez sekundární úlohy

B. u chůze se sekundární úlohou

H5: Se zvyšujícím věkem dětí v mladším školním věku se zvyšuje rychlost chůze.

A. u chůze bez sekundární úlohy

B. u chůze se sekundární úlohou

H6: Dual task cost se zvyšujícím věkem dětí v mladším školním věku se snižuje.

Pro zamítnutí hypotéz H1–H5 bude kritérium nenalezení žádného statistického rozdílu mezi věkovými skupinami podle testů popsaných níže v kapitole metodiky práce samostatně pro části A. a B. každé hypotézy.

Pro zamítnutí hypotézy H6 bude kritérium nalezení menšího než třetinového počtu statisticky významných rozdílů způsobených věkem u všech vypočítaných dual task cost charakteristik.

### **3 METODIKA**

Pro ověření výzkumných hypotéz byla zvolena průřezová komparativní studie, která porovnává rozdíly ve vybraných parametrech chůze mezi věkovými skupinami u dětí v mladším školním věku.

#### **3.1 Výzkumný soubor**

Ohledně zapojení do výzkumu byly osloveny 4 základní školy v Olomouckém a Zlínském kraji, které dlouhodobě spolupracují s Katedrou přírodních věd v kinantropologii. S řediteli škol byl navázán kontakt a byli seznámeni s cílem studie a průběhem měření. Na základě získané spolupráce ředitelů daných škol, třídních učitelů a také písemného souhlasu rodičů dětí bylo přistoupeno k výběru výzkumného souboru. Do studie byly zařazeny děti v mladším školním věku od šesti do dvanácti let, u kterých se na základě hodnocení pomocí Movement Assessment Battery for Children – second edition neprojevila přítomnost vývojové koordinační poruchy. Dalším inkluzivním kritériem byla absence neurologického, muskuloskeletálního a akutního onemocnění nebo bolesti. Do výzkumu bylo zapojeno 158 dětí splňující inkluzivní kritéria.

Výzkum je součástí projektu s názvem „Objasnění rozvoje provádění duálních úloh u typicky se vyvíjejících dětí a dětí s vývojovou koordinační poruchou“ podpořeného Grantovou agenturou České republiky. Hlavním řešitelem výzkumu je profesor Peter Wilson. Projekt byl schválen Etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci (Příloha 1).

#### **3.2 Sběr dat**

Výzkum probíhal na Katedře přírodních věd v kinantropologii v budově Centra kinantropologického výzkumu, které patří pod Fakultu tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Všechny zúčastněné děti byly předem obeznámeny s průběhem měření a měly podepsaný informovaný souhlas rodičů s anonymním zpracováním naměřených dat pro výzkumné účely. Byl vytvořen rozpis pro jednotlivé školy, kdy v jednom dni byly testovány děti jedné školy. Podle harmonogramu byli probandi rozděleni na stanoviště, která byla určena pro měření a pro doprovodný program.

Měření vybraných charakteristik chůze na základě dat z inerciálního senzoru probíhalo v dobře osvětlené 20 m dlouhé chodbě po rovném terénu. Na chodbě byla viditelně označena patnáctimetrová vzdálenost, kterou měl testovaný žák projít. Na trup

probanda byl přímo na kůži umístěn senzor ve výši pátého bederního obratle. Proband byl na začátku poučen o průběhu měření. Prvním úkolem bylo čtyřikrát projít vyznačenou vzdálenost vycházkovým tempem bez zastavení. Na konci chodby se testovaný vždy otočil a plynule pokračoval v chůzi. V rámci druhého úkolu probíhala chůze se sekundární kognitivní úlohou. Během chůze mělo dítě říct zvíře podle písmene abecedy, které testující osoba zadala, počínaje od písmene „A“. Pokud žák žádné zvíře na dané písmeno neznal nebo se u některého písmene vyskytla delší prodleva, testující osoba řekla další písmeno abecedy. U každého probanda byl veden záznamový arch pod identifikačním kódem. Byl zapsán čas, za který dítě prošlo jednotlivé úseky bez kognitivní úlohy a s ní. U duálních úloh byl zaznamenán počet správných odpovědí.

### 3.3 Použité metody

Průběh chůze byl zaznamenán pomocí inerciálních senzorů Physilog (GaitUp, Lausanne, Švýcarsko). Z dat zrychlení v každém směru byly na základě průběhu úhlové rychlosti v transverzální rovině vystřižnuté otočky společně s jedním chůzovým cyklem před otočením a po něm. Na základě toho vznikl signál, který zahrnoval pouze rovné úseky chůze a byl ořezaný na 54 kroků s určením začátku chůzového cyklu podle procedury popsané autory Zijlstra a Hof (2003), upravený do globálního souřadnicového systému na základě rotačních matic podle Moe-Nilssena (1998) a filtrovaný Butterworthovým filtrem 4. řádu s dolní propustí a hraniční frekvencí 20 Hz. Takto upravené signály byly dále zpracované pro výpočet výsledných charakteristik chůze.

Frekvenční charakteristiky byly vypočítané na základě Fourierovy transformace zrychlení. V každém směru byl vypočítán harmonický poměr vyjadřující symetrii chůze. Variabilita chůze byla určena na základě výpočtu střední kvadratické chyby (RMS) signálu. Stabilita chůze byla určena pomocí analýzy lokální dynamické stability podle Rosensteinova algoritmu (Rosenstein, Collins, & De Luca, 1993) s výpočtem *short-term Lyapunova exponentu*. Pro výpočet byl signál normalizovaný na 100 datových bodů na chůzový cyklus. Vstupními hodnotami pro výpočet byly časové lags 17, 10 a 17 vzorků postupně pro vertikální, mediolaterální, a anteroposteriorní signál a dimenzi 5. Lags byly stanovené na základě výpočtu prvního minima tzv. *Average mutual information function*. Dimenze byla převzata z literatury jako nejčastěji se objevující hodnota pro tento typ signálu. Komplexnost chůze byla určena na základě výpočtu *sample entropy* podle navrženého algoritmu (Richman & Moorman, 2000) se vstupními

parametry  $m = 2$ ,  $r = 0,15$ . Průměrná rychlost chůze byla vypočítána z průměrného času, za který dítě prošlo jednotlivé čtyři měřené úseky o délce 15 m.

Po dopočítání všech těchto charakteristik pro chůzi bez sekundární kognitivní úlohy i s ní byl určený pro každou z nich tzv. dual task cost (viz Obrázek 4 v kapitole 1.4.1). Všechny výpočty proběhly v Matlabu (R2020a, MathWorks, Inc., Natick, MA, USA). U chůze se sekundární úlohou byl zaznamenán i počet správných odpovědí.

### **3.4 Statistické zpracování dat**

Ověření normality dat proběhlo pomocí testu Shapiro-Wilk. Vzhledem k tomu, že se normalita u všech sledovaných charakteristik nepotvrdila, byla na další analýzu využita Kruskal-Wallis analýza rozptylu s nastavenou hladinou statistické významnosti  $p = 0,05$ .

## 4 VÝSLEDKY

Z celkového výzkumného souboru (viz kapitola 3.1) bylo pro tuto diplomovou práci náhodně vybráno 66 dětí, které byly rozděleny do třech věkových skupin: od šesti do sedmi let, od osmi do devíti let a od deseti do jedenácti let (Tabulka 1). V každé věkové skupině bylo 22 dětí a totožné zastoupení dívek a chlapců (4 dívky a 18 chlapců).

**Tabulka 1**

*Charakteristika výzkumného souboru*

Charakteristika	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	<i>p</i>
Věk (roky)	6-7	7,0	6,6	7,7	< 0,001
	8-9	9,1	8,1	9,9	
	10-11	11,0	10,1	11,8	
Výška (cm)	6-7	122,5	110,0	134,0	< 0,001
	8-9	134,5	125,0	142,0	
	10-11	147,5	133,0	162,0	
Hmotnost (kg)	6-7	23,0	18,0	38,0	< 0,001
	8-9	29,0	22,0	54,0	
	10-11	39,0	22,0	60,0	

*Poznámka.* *p* = statistická signifikance.

### 4.1 Výsledky k hypotéze H1

V Tabulce 2 jsou zahrnuty hodnoty stability chůze ve všech směrech bez sekundární kognitivní úlohy, které byly vypočteny pomocí Lyapunova exponentu. Na základě výsledků lze konstatovat, že nedošlo ke vzniku statisticky významného rozdílu ve stabilitě chůze ve vertikálním (V:  $p = 0,485$ ), mediolaterálním (ML:  $p = 0,791$ ) ani anteroposteriorním směru (AP:  $p = 0,796$ ) mezi jednotlivými věkovými skupinami. V Tabulce 3 je možné najít hodnoty stability chůze ve všech směrech se sekundární kognitivní úlohou. Ani v tomto případě nebyl nalezen statisticky signifikantní rozdíl ve stabilitě chůze mezi věkovými skupinami pro všechny uvedené směry (V:  $p = 0,725$ , ML:  $p = 0,659$ , AP:  $p = 0,647$ ). Na základě zjištěných výsledků byla zamítnuta hypotéza H1 pro části A. i B.

**Tabulka 2**

*Stabilita chůze vypočtena ve všech směrech pomocí Lyapunova exponentu pro chůzi bez sekundární kognitivní úlohy*

Směr pohybu	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	<i>p</i>
V	6-7	0,88	0,52	1,13	0,485
	8-9	0,85	0,64	1,13	
	10-11	0,82	0,64	1,10	
ML	6-7	1,84	1,33	3,18	0,791
	8-9	1,78	1,25	2,54	
	10-11	1,75	1,37	2,64	
AP	6-7	0,80	0,54	1,02	0,796
	8-9	0,80	0,51	1,22	
	10-11	0,79	0,39	1,10	

*Poznámka.* V = vertikální směr, ML= mediolaterální směr, AP = anteroposteriorní směr, *p* = statistická signifikance.

**Tabulka 3**

*Stabilita chůze se sekundární kognitivní úlohou ve všech směrech vypočtená pomocí Lyapunova exponentu*

Směr pohybu	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	<i>p</i>
V	6-7	0,88	0,56	1,14	0,725
	8-9	0,78	0,40	1,30	
	10-11	0,82	0,53	1,47	
ML	6-7	1,61	1,23	2,23	0,659
	8-9	1,60	0,92	2,15	
	10-11	1,63	1,19	1,99	
AP	6-7	0,73	0,39	1,11	0,647
	8-9	0,78	0,56	1,38	
	10-11	0,75	0,33	1,05	

*Poznámka.* V = vertikální směr, ML= mediolaterální směr, AP = anteroposteriorní směr, *p* = statistická signifikance.

## 4.2 Výsledky k hypotéze H2

V tabulce 4 jsou uvedeny hodnoty variability chůze bez sekundární kognitivní úlohy na základě výpočtu střední kvadratické chyby signálů. Pro tento parametr chůze nebyl v žádném z uvedených směrů nalezen statisticky významný rozdíl mezi věkovými kategoriemi dětí (V:  $p = 0,607$ , ML:  $p = 0,424$ , AP:  $p = 0,652$ ). Tabulka 5 představuje naměřené hodnoty stejného parametru chůze se současným prováděním sekundární kognitivní úlohy. Ani v tomto případě nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi věkovými skupinami dětí ve všech uvedených směrech (V:  $p = 0,063$ , ML:  $p = 0,070$ , AP:  $p = 0,152$ ). Na základě zjištěných výsledků byla hypotéza H2 pro části A. i B. zamítnuta.

**Tabulka 4**

*Variabilita chůze bez sekundární kognitivní úlohy na základě výpočtu střední kvadratické chyby (RMS v jednotkách tíhového zrychlení g) signálu*

Směr pohybu	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	$p$
V	6-7	0,22	0,12	0,34	0,607
	8-9	0,22	0,08	0,44	
	10-11	0,23	0,15	0,48	
ML	6-7	0,16	0,12	0,21	0,424
	8-9	0,17	0,09	0,23	
	10-11	0,18	0,11	0,26	
AP	6-7	0,20	0,10	0,30	0,652
	8-9	0,18	0,09	0,32	
	10-11	0,18	0,12	0,42	

*Poznámka.* V = vertikální směr, ML = mediolaterální směr, AP = anteroposteriorní směr,  $p$  = statistická signifikance.



## Tabulka 5

*Variabilita chůze se sekundární kognitivní úlohou na základě výpočtu střední kvadratické chyby (RMS v jednotkách tíhového zrychlení g) signálu*

Směr pohybu	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	<i>p</i>
V	6-7	0,13	0,08	0,21	0,063
	8-9	0,13	0,05	0,25	
	10-11	0,16	0,09	0,46	
ML	6-7	0,12	0,10	0,17	0,070
	8-9	0,10	0,06	0,19	
	10-11	0,14	0,09	0,26	
AP	6-7	0,13	0,10	0,17	0,152
	8-9	0,12	0,06	0,21	
	10-11	0,14	0,07	0,37	

*Poznámka.* V = vertikální směr, ML= mediolaterální směr, AP = anteroposteriorní směr, *p* = statistická signifikance.

### 4.3 Výsledky k hypotéze H3

V tabulkách 6 a 7 jsou uvedeny vypočítané hodnoty harmonického poměru pro symetrii chůze v každém směru bez sekundární kognitivní úlohy a s ní. Pro symetrii chůze bez sekundární kognitivní úlohy v anteroposteriorním směru (Tabulka 6) byl nalezen statisticky významný rozdíl mezi věkovými skupinami (AP:  $p = 0,009$ ). U dalších směrů statistický významný rozdíl nebyl nalezen. U chůze se sekundární kognitivní úlohou pro tentýž parametr byl v anteroposteriorním směru (Tabulka 7) nalezen statisticky signifikantní rozdíl mezi věkovými skupinami (AP:  $p = 0,052$ ). Obdobný statisticky významný rozdíl u dalších směrů nebyl nalezen. Na základě zjištěných výsledků nebylo možné hypotézu H3 pro A. a B. zamítnout.

**Tabulka 6**

*Symetrie chůze bez sekundární kognitivní úlohy v každém směru na základě vypočítaného harmonického poměru*

Směr pohybu	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	<i>p</i>
V	6-7	3,88	1,77	8,91	0,185
	8-9	4,09	2,01	9,45	
	10-11	4,43	1,82	9,92	
ML	6-7	2,14	0,96	4,32	0,169
	8-9	1,73	1,15	4,53	
	10-11	2,91	1,09	4,37	
AP	6-7	3,09	2,09	6,77	0,009
	8-9	3,51	1,81	6,17	
	10-11	4,41	2,10	6,77	

*Poznámka.* V = vertikální směr, ML= mediolaterální směr, AP = anteroposteriorní směr, *p* = statistická signifikance.

**Tabulka 7**

*Symetrie chůze se sekundární kognitivní úlohou v každém směru na základě vypočítaného harmonického poměru*

Směr pohybu	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	<i>p</i>
V	6-7	3,01	1,22	5,24	0,583
	8-9	3,28	1,32	5,80	
	10-11	3,59	1,82	5,64	
ML	6-7	1,86	0,91	4,34	0,112
	8-9	1,57	0,62	3,96	
	10-11	2,23	0,82	6,23	
AP	6-7	2,60	1,40	4,91	0,052
	8-9	3,27	1,44	6,27	
	10-11	3,91	1,88	5,92	

*Poznámka.* V = vertikální směr, ML= mediolaterální směr, AP = anteroposteriorní směr, *p* = statistická signifikance.

#### 4.4 Výsledky k hypotéze H4

V tabulce 8 jsou uvedeny hodnoty komplexnosti chůze na základě entropie během chůze bez současného vykonávání sekundární kognitivní úlohy. Nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi věkovými skupinami dětí ve všech směrech (V:  $p = 0,938$ , ML:  $p = 0,403$ , AP:  $p = 0,544$ ). V tabulce 9 jsou uvedeny hodnoty komplexnosti chůze se současným vykonáváním sekundární kognitivní úlohy. Ani v tomto případě nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi věkovými skupinami dětí ve všech uvedených směrech (V:  $p = 0,630$ , ML:  $p = 0,280$ , AP:  $p = 0,118$ ). Na základě zjištěných výsledků byla hypotéza H4 pro A. i B. zamítnuta.

**Tabulka 8**

*Komplexnost chůze bez sekundární kognitivní úlohy určená pomocí entropie*

Směr pohybu	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	$p$
V	6-7	0,88	0,60	1,11	0,938
	8-9	0,85	0,64	1,23	
	10-11	0,86	0,66	1,16	
ML	6-7	0,64	0,39	0,96	0,403
	8-9	0,65	0,47	0,97	
	10-11	0,69	0,42	0,93	
AP	6-7	0,62	0,35	1,04	0,544
	8-9	0,62	0,40	1,02	
	10-11	0,58	0,44	1,00	

*Poznámka.* V = vertikální směr, ML= mediolaterální směr, AP = anteroposteriorní směr,  $p$  = statistická signifikance.

**Tabulka 9***Komplexnost chůze se sekundární kognitivní úlohou určená pomocí entropie*

Směr pohybu	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	<i>p</i>
V	6-7	0,76	0,48	1,06	0,630
	8-9	0,80	0,36	1,19	
	10-11	0,81	0,63	1,26	
ML	6-7	0,61	0,46	0,84	0,280
	8-9	0,65	0,12	1,00	
	10-11	0,68	0,41	0,93	
AP	6-7	0,66	0,41	0,89	0,118
	8-9	0,61	0,37	0,89	
	10-11	0,55	0,42	0,91	

*Poznámka.* V = vertikální směr, ML = mediolaterální směr, AP = anteroposteriorní směr, *p* = statistická signifikance.

#### 4.5 Výsledky k hypotéze H5

V tabulce 10 jsou uvedeny hodnoty rychlosti chůze během provádění sekundární kognitivní úlohou a bez ní. V obou provedeních chůze (ST:  $p = 0,814$ , DT:  $p = 0,066$ ) nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi věkovými skupinami dětí v mladším školním věku. Na základě zjištěných výsledků byla hypotéza H5 pro A. i B. zamítnuta.

**Tabulka 10***Rychlost chůze během provádění sekundární kognitivní úlohy a bez ní*

Charakteristika	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	<i>p</i>
Rychlost chůze ( $m \cdot s^{-1}$ )	6-7	1,16	0,89	1,56	0,814
	8-9	1,18	0,94	1,60	
	10-11	1,20	0,94	1,90	
Rychlost chůze se sekundárním úkolem ( $m \cdot s^{-1}$ )	6-7	0,85	0,54	1,09	0,066
	8-9	0,86	0,39	1,14	
	10-11	0,91	0,56	1,84	

*Poznámka.* *p* = statistická signifikance.

## 4.6 Výsledky k hypotéze H6

V tabulkách 11 až 15 jsou uvedeny vypočítané hodnoty DTC vybraných charakteristik chůze (stabilita, variabilita, symetrie, komplexnost a rychlost chůze). Statistický významný rozdíl mezi věkovými skupinami nebyl nalezen pro většinu sledovaných charakteristik chůze (Tabulka 11, 13 a 14) s výjimkou DTC pro variabilitu chůze v anteroposteriorním směru (Tabulka 12,  $p = 0,034$ ) a DTC pro rychlost chůze (Tabulka 15,  $p = 0,029$ ). Na základě zjištěných výsledků byla hypotéza H6 zamítnuta.

**Tabulka 11**

*Dual task cost pro stabilitu chůze ve všech směrech*

Směr pohybu	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	$p$
V	6-7	-0,37	-32,96	19,46	0,819
	8-9	-5,39	-51,50	49,05	
	10-11	-8,06	-30,15	63,66	
ML	6-7	-15,04	-46,87	34,81	0,795
	8-9	-15,53	-51,88	71,02	
	10-11	-9,67	-37,13	22,33	
AP	6-7	-7,73	-28,87	23,49	0,677
	8-9	-1,33	-21,66	22,03	
	10-11	-0,13	-22,69	36,48	

*Poznámka.* V = vertikální směr, ML = mediolaterální směr, AP = anteroposteriorní směr,  $p$  = statistická signifikance.

**Tabulka 12***Dual task cost pro variabilitu chůze ve všech směrech*

Směr pohybu	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	<i>p</i>
V	6-7	-36,91	-66,53	25,11	0,070
	8-9	-40,60	-78,02	130,19	
	10-11	-24,19	-63,20	5,73	
ML	6-7	-21,67	-49,07	17,80	0,148
	8-9	-26,86	-64,53	69,32	
	10-11	-19,19	-46,76	5,54	
AP	6-7	-34,28	-56,69	3,53	0,034
	8-9	-29,13	-69,15	79,69	
	10-11	-19,39	-52,31	10,54	

*Poznámka.* V = vertikální směr, ML= mediolaterální směr, AP = anteroposteriorní směr, *p* = statistická signifikance.

**Tabulka 13***Dual task cost pro symetrii chůze ve všech směrech*

Směr pohybu	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	<i>p</i>
V	6-7	-11,72	-78,07	162,26	0,629
	8-9	-28,06	-73,28	100,73	
	10-11	-14,19	-63,78	53,72	
ML	6-7	0,68	-58,18	77,61	0,828
	8-9	-10,33	-66,72	125,74	
	10-11	-19,90	-79,70	193,32	
AP	6-7	-11,73	-68,06	47,83	0,861
	8-9	-20,39	-70,54	87,46	
	10-11	-27,97	-56,11	122,05	

*Poznámka.* V = vertikální směr, ML= mediolaterální směr, AP = anteroposteriorní směr, *p* = statistická signifikance.

**Tabulka 14***Dual task cost pro komplexnost chůze ve všech směrech*

Směr pohybu	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	<i>p</i>
V	6-7	-11,60	-41,50	18,42	0,525
	8-9	-6,93	-61,82	14,23	
	10-11	-6,23	-29,88	14,70	
ML	6-7	-2,97	-24,29	17,53	0,667
	8-9	-4,05	-81,79	22,40	
	10-11	-3,72	-29,91	29,00	
AP	6-7	7,39	-26,03	66,59	0,090
	8-9	1,08	-29,18	28,23	
	10-11	-2,52	-21,02	43,22	

*Poznámka.* V = vertikální směr, ML= mediolaterální směr, AP = anteroposteriorní směr, *p* = statistická signifikance.

**Tabulka 15***Dual task cost pro rychlost chůze*

Charakteristika	Věková skupina	Medián	Dolní kvartil	Horní kvartil	<i>p</i>
DTC rychlost chůze	6-7	-32,27	-60,87	0,00	0,029
	8-9	-28,81	-66,67	-9,91	
	10-11	-20,92	-52,15	-2,13	

*Poznámka.* DTC = dual task cost, *p* = statistická signifikance.

## 5 DISKUSE

Dítě v mladším školním věku již dosahuje vysokého stupně vývoje jak motorického, tak kognitivního. Díky tomu je připravené začít povinnou školní docházkou a plnit všechny povinnosti s tím spojené (Vágnerová, 2021). V tomto období dítě dosahuje pestrého motorického repertoáru (Dylevský, 2021) a může rozvíjet rozmanité motorické dovednosti na různé úrovni (Haibach-Beach et al., 2018). Předmětem této práce bylo zjistit, zda se zvyšujícím se věkem u dětí v mladším školním věku dochází ke změně ve sledovaných parametrech chůze v podmínkách, kdy děti vykonávají pouze samostatnou chůzi, a kdy je k ní přidána sekundární kognitivní úloha.

### 5.1 Diskuse k pozorovaným charakteristikám chůze

S růstem a vývojem dochází ke zdokonalování chůze, která postupně dosahuje podoby chůze dospělého člověka (Perry & Burnfield, 2010). Někteří autoři popisují, že se u dětí s věkem zvyšuje stabilita chůze (Bisi, Riva, & Stagni, 2014; Iosa, Fusco, Morone, & Paolucci, 2014; Kolář, 2020; Levine et al., 2012; Payne & Isaacs, 2017). V této práci byla stabilita chůze hodnocena pomocí Lyapunova exponentu. Tento způsob hodnocení stability chůze se v literatuře používá spíše u dospělých jedinců s prokázanou validitou pro rozlišení podmínek, ve kterých chůze probíhá, věkových skupin nebo skupin seniorů s různým rizikem pádů (Mehdizadeh, 2018; Rogan et al., 2019). V české i zahraniční literatuře chybí dostatek studií, které by výše zmiňovaným způsobem hodnotily stabilitu chůze u dětí. V jedné studii byla tato metoda použita u batolat ( $13 \pm 2$  měsíce), které teprve začaly chodit. Cílem bylo zjistit, jak se bude stabilita chůze dítěte měnit v rámci následujících šesti měsíců. Autoři výsledně zjistili, že v průběhu šesti měsíců docházelo s každým měsícem ke zvýšení stability chůze dětí. Byla také srovnávána stabilita chůze u skupiny batolat a skupiny mladých dospělých jedinců, a zde byl nalezen statistický významný rozdíl mezi těmito skupinami (Bisi et al., 2014). V této práci nebylo pozorováno statisticky signifikantní zlepšení stability chůze v závislosti na věku dětí. Za povšimnutí však stojí hodnoty stability chůze bez současného provádění sekundární kognitivní úlohy uvedené v Tabulce 2. Se zvyšujícím se věkem byl pozorován trend ke snížení hodnot pro všechny směry, což se obecně pokládá za projev vyšší stability chůze (Rogan et al., 2019). Důvodem nepotvrzení předpokladu signifikantního snížení hodnot Lyapunova exponentu se zvyšujícím se věkem může být malý věkový rozptyl



mezi věkovými skupinami dětí. V této práci byly zkoumány pouze děti v mladším školním věku (6–11 let). Ostatní studie zkoumaly například rozdíl mezi skupinou batolat a mladých dospělých (Bisi et al., 2014) nebo mezi skupinou mladých dospělých jedinců a seniorů (Mehdizadeh, 2018).

Dalším pozorovaným aspektem chůze byla její variabilita na základě výpočtu střední kvadratické chyby zrychlení dolní části zad. Variabilita pohybu se přirozeně vyskytuje u periodického pohybu. Pohyb, který je naučený a zralý (vyspělá chůze), obsahuje optimální množství variability pohybu. V případě nižší míry variability je systém považován za rigidní. Naopak u větší míry variability je daný systém nestabilní (Stergiou, Harbourne, & Cavanaugh, 2006). Stabilní systém je adaptabilní a zároveň obsahuje různorodý repertoár pohybových strategií v měnícím se prostředí. Takový systém obsahuje optimální variabilitu pohybu. Pokud je variabilita a adaptabilita nižší, pohybové chování není dostatečně flexibilní v případě působení různých jevů (Ihlen, Weiss, Bourke, Helbostad, & Hausdorff, 2016). Variabilita chůze je dána fluktuací jednotlivých chůzových cyklů jedince a mění se na základě podmínek, ve kterých chůze probíhá (Lord, Howe, Greenland, Simpson, & Rochester, 2011). Podobně jako u parametru stability chůze je variabilita chůze primárně sledována u skupin dospělých jedinců, ať už se zdravotním deficitem, nebo bez něj (de Oliveira, Andrade, & Vieira, 2019; Lord, Howe, Greenland, Simpson, & Rochester, 2011; Terrier & Reynard, 2015; Yogev et al., 2005). U dětí je tento parametr opět používán méně než u dospělých. Jistí autoři tímto způsobem zkoumali schopnost provádět chůzi se sekundární kognitivní úlohou (Tramontano et al., 2017), jiní zase hodnotili efektivitu terapie spasticity pomocí Exopulse® suit u osob s dětskou mozkovou obrnou (Raffalt et al., 2022). Vznikla také studie, která hodnotila variabilitu časoprostorových parametrů chůze u dětí (7–10 let) s Downovým syndromem (Beerse, Henderson, Liang, Ajisafe, & Wu, 2019). Jedna studie uvádí, že u dětí (7 let  $\pm$  3 roky), které prováděly chůzi se sekundární úlohou, došlo ke snížení rychlosti a zvýšení variability chůze v mediolaterálním směru v porovnání s mladými dospělými jedinci (Tramontano et al., 2017). Hausdorff, Zemany, Peng a Goldberger (1985) ve studii našli statistický významný rozdíl ve variabilitě trvání kroku u různých věkových skupin dětí (3–4 let, 6–7 let, 11–14 let). Nejmladší skupina dosáhla nejvyšší variability trvání kroku během chůze a nejstarší skupina zase nejnižší variability. Dané výsledky nelze srovnávat s výsledky této diplomové práce, protože zde byla variabilita hodnocena pomocí dat z inerciálního senzoru pro všechny směry. V této

práci nebyl nalezen rozdíl ve variabilitě chůze mezi jednotlivými věkovými skupinami. Možným vysvětlením je, že rozdíl ve variabilitě chůze u dětí v mladším školním věku není tak významný jako rozdíl ve variabilitě chůze mezi osobami s určitým onemocněním (Beerse et al., 2019) nebo mezi jinými skupinami s větším věkovým rozptylem (20–69 let) (Terrier & Reynard, 2015).

Neméně důležité je pozorování statisticky významného rozdílu u DTC pro variabilitu chůze v anteroposteriorním směru. Je patrné, že se zvyšujícím se věkem v tomto směru dochází ke snižování rozdílů mezi variabilitou chůze bez sekundární kognitivní úlohy a s ní. Obdobný výsledek byl pozorován i pro DTC pro rychlost chůze, i když samotná rychlost chůze se s věkem statisticky významně neměnila. V praxi to znamená, že děti mají menší náklady při provádění dvojího úkolu a jsou schopné udržovat zvolené tempo chůze nezávisle na přidané sekundární úloze. Palluel et al. (2019) potvrzují snížení nákladů na provádění DT se zvyšujícím se věkem.

Kromě toho lze díky uvedeným hodnotám rychlosti chůze sledovat, že se zvyšujícím se věkem vznikl trend v podobě zvýšení rychlosti chůze, a to v obou případech ST a DT. Thevenon et al. (2015) prezentují podobné výsledky u dětí v mladším školním věku. Autoři pozorovali zvýšení rychlosti chůze se zvyšujícím se věkem. Statisticky významný rozdíl byl nalezen v případě dvouletého rozdílu mezi probandy. Tato diplomová práce cíleně zkoumala věkové skupiny s dvouletým rozdílem. Kromě zvýšení rychlosti chůze bylo ve studii autorů Thevenon et al. (2015) pozorováno také zvětšení délky kroku a dvojkroku, a to adekvátně se zvyšujícím se věkem dítěte. Palluel et al. (2019) rovněž potvrzují fenomén zvýšení rychlosti chůze se zvyšujícím se věkem dětí. Autoři se liší pouze v tom, že srovnávali dvě skupiny mladších (7–9 let) a starších dětí (10–12 let).

Dalším sledovaným parametrem byl harmonický poměr získaný ze zrychlení dolní části trupu. Harmonický poměr kvantifikuje hladkost, plynulost nebo také (jinak řečeno) symetrii chůze. Kvantifikace symetrie v tomto případě probíhá na základě analýzy zrychlení ve frekvenční doméně. Vyšší hodnoty harmonického poměru reprezentují větší symetrii chůze, a tudíž i lepší schopnost dynamické stability během chůze (Bellanca, Lowry, Van Swearingen, Brach, & Redfern, 2013). U dětí touto metodou hodnotili chůzi Belluscioa et al. (2019) u Prader-Williho syndromu a Downova syndromu. Na základě výsledků autoři našli statisticky významný rozdíl v symetrii chůze v anteroposteriorním směru mezi dětmi s Downovým syndromem a kontrolní skupinou. Kontrolní skupinou

byly typicky se vyvíjející děti stejného věku v rozmezí 3–11 let. Statisticky signifikantní rozdíl byl také v symetrii chůze v anteroposteriorním směru mezi dětmi s Prader-Williho syndromem a kontrolní skupinou. Autoři zjistili také pozitivní korelaci mezi Gross Motor Functional Measures a symetrií chůze. Čím nižší hodnocení škály, tím nižší symetrie chůze na základě harmonického poměru. Bisi et al. (2014), kteří zkoumali chůzi batolat v průběhu prvních šesti měsíců, zjistili, že s růstem dětí došlo ke zvýšení symetrie chůze v anteroposteriorním a vertikálním směru. Leban et al. (2020) zkoumali chůzi u dětí ve školním věku od 8 do 13 let. Děti byly rozděleny do tří věkových skupin (8–9 let, 10–11 let, 12–13 let). Autoři našli také významný rozdíl v symetrii chůze v anteroposteriorním a vertikálním směru. Děti ve věku 12 až 13 let dosáhly větších hodnot harmonického poměru pro dané směry než ostatní mladší skupiny dětí. Výsledky této diplomové práce se shodují s výsledky ostatních autorů (Belluscio et al., 2019; Bisi et al., 2014; Leban et al., 2020) pro symetrii chůze v anteroposteriorním směru. Zajímavým výsledkem je také pozorování významného rozdílu v symetrii chůze mezi věkovými skupinami v anteroposteriorním směru během chůze se současným vykonáváním kognitivní úlohy. Na jeho základě lze konstatovat, že se zvyšujícím se věkem udržují děti větší symetrii chůze nezávisle na tom, zda se jedná o samostatnou chůzi nebo chůzi se sekundární úlohou. V praxi to znamená, že chůze je obecně pravidelnější na základě lepšího udržování periodicity jednotlivých kroků. Lowry, Lokenvitz a Smiley-Oyen (2012) ve své studii zkoumali změny harmonického poměru během různých rychlostí chůze u mladších (20–23 let), starších (60–69 let) a nejstarších (80–86 let) jedinců. U všech skupin byl snížený harmonický poměr u pomalejší chůze než u preferované. U nejstarší skupiny se prokázaly nižší hodnoty harmonického poměru v AP a V směru. Na základě uvedených poznatků může harmonický poměr souviset s rychlostí chůze. V této diplomové práci se s věkem zvyšovala symetrie chůze pro AP směr, a stejně tak i rychlost chůze, přestože rozdíl v rychlosti chůze mezi věkovými skupinami nebyl statisticky významný. U chůze se sekundární úlohou došlo s věkem ke zvýšení symetrie chůze pro AP směr a zvýšení rychlosti chůze. Obě tyto hodnoty byly statisticky významné. Taktéž Leban et al. (2020) ve své studii uvádějí, že starší děti (12–13 let) v porovnání s mladšími dětmi (8–11 let) dosáhly větších hodnot harmonického poměru pro AP a V směr a také větší rychlost chůze.

Komplexnost pohybu může být definována jako schopnost využívat různé strategie pro splnění specifického úkolu. Předpokládá se, že se zvyšujícím se věkem se zvyšuje

komplexnost pohybu s vrcholem v období dospělosti (Bisi & Stagni, 2018). Komplexnost je výsledkem složitého vnitřního uspořádání, které vychází ze zpětné vazby. V důsledku toho se může lidský organismus adaptovat na různé stresové podněty (Goldberger et al., 2002). Komplexní systém je označován jako chaotický – tedy takový, který obsahuje míru periodicity a randomizace pohybu, a je tudíž stabilní a současně flexibilní. V praxi to znamená, že díky této komplexnosti je nervosvalový systém schopný pohotově reagovat, pokud se v rámci chůze objeví nestabilní situace (Decker, Cignetti, & Stergiou, 2010). Z toho vyplývá, že komplexní systém má vysokou míru adaptability (Ihlen et al., 2016), a ukazuje na schopnost lidského systému přizpůsobit se podmínkám měnícího se prostředí (Nurwulan, Jiang a Iridiastadi, 2015). Snížení komplexnosti znamená rigidnější posturální chování, které může vést k narušení posturální stability při působení zevních vlivů (Hansen et al., 2017). Snížené hodnoty entropie znamenají zvýšenou pravidelnost systému, a tudíž mohou indikovat patologický stav (Richman a Moorman, 2000). Se zvyšující se komplexností se zvyšuje míra posturální stability jedince a jeho adaptabilita (Nurwulan et al., 2015). Hodnoty entropie, které byly pozorovány v této práci, prokazují, že se zvyšujícím se věkem se projevuje trend zvyšování komplexnosti chůze v mediolaterálním směru bez sekundární úlohy. U chůze se sekundárním úlohou byl pozorován trend v podobě zvyšování hodnoty entropie ve vertikálním a mediolaterálním směru, a pro anteroposteriorní směr byl naopak pozorován opačný trend. Bisi & Stagni (2016) potvrzují trend vzrůstu komplexnosti chůze se zvyšujícím se věkem. Autoři hodnotili entropii chůze u širokého spektra jedinců, tedy u dětí od prvního roku života, kdy začaly chodit, až po dospělé ve věku 84 let. Výsledně bylo zjištěno, že komplexnost chůze vzrůstala od jednoho roku až do 45 let a poté docházelo k její snížení. Autoři nenalezli statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými věkovými skupinami dětí; statisticky významný rozdíl byl pozorován pouze při jejich porovnání se skupinou mladých dospělých jedinců.

## **5.2 Výběr sekundární kognitivní úlohy**

Pro DT bylo v této práci použité kognitivně-motorické paradigma. Podrobnosti kognitivní úlohy jsou zmíněné výše, a to v kapitole metodiky práce. Kognitivní úloha byla vybrána s cílem, aby všechny věkové skupiny dětí v mladším školním věku (od 6 do 11 let) byly schopné provést sekundární kognitivní úlohu. Z toho důvodu nemohly být použity určité druhy kognitivního úkolů, jako je například aritmetické odečítání. Z výsledků je patrné, že s věkem dochází spíše ke snížení nákladů pro vykonávání

dvojího úkolu. Otázkou je, do jaké míry kognitivní úloha ovlivnila automatizovaný pohyb, jako je chůze. Möhring et al. (2021) zkoumali rozdíl v provádění kognitivně-motorického DT u dětí od 8 do 13 let. Kognitivní úloha byla zaměřena na exekutivní funkce a skládala se z tří částí (inhibition, switching, updating). Pro úlohu inhibition autoři použili zvířecí Stroop test. Ve switching úloze měli pojmenovat geometrický tvar v závislosti na barvě a velikosti. V updating úkolu měly děti opakovat náhodou číselnou řadu. Výsledně došlo k ovlivnění parametrů chůze u jednotlivých sekundárních kognitivních úloh. U kognitivní úlohy inhibition měli probandi vyšší rychlost a udržovali poměrně konstantní rychlost chůze. U úloh switching a updating byla rychlost chůze nižší a variabilnější. Statisticky významný rozdíl byl nalezen mezi věkovými skupinami při provádění DT s kognitivní úlohou switching a updating. Na základě zmíněných poznatků lze konstatovat, že výkon při DT může být ovlivněn věkem a také typem kognitivní úlohy. Switching a updating je náročnější úloha, která vyžaduje delší proces zpracování, a tudíž delší reakční dobu. Z toho důvodu pravděpodobně došlo k významnější interferenci úloh, a tedy k ovlivnění parametrů chůze. V této práci byla zvolena poměrně jednoduchá kognitivní úloha, která nevyžadovala dlouhý proces zpracovávání. Pokud si jedinec nevzpomněl na název zvířete začínající na určité písmeno, bylo automaticky zadáno další písmeno abecedy. Na základě výsledků DTC pro jednotlivé charakteristiky chůze lze pozorovat, že zvolená kognitivní úloha výrazně neovlivnila stabilitu ani komplexnost chůze a také nedošlo k signifikantnímu rozdílu DTC mezi jednotlivými věkovými skupinami pro dané parametry. Naopak u variability a rychlosti chůze, u kterých byl značný rozdíl mezi ST a DT, byl prokázán také významný rozdíl mezi věkovými skupinami. Je možné se domnívat, že v případě zvolení jiné sekundární kognitivní úlohy by byly ovlivněny jiné charakteristiky chůze a získány rozdílné výsledky.

## 6 ZÁVĚRY

Cílem této diplomové práce bylo posoudit vybrané charakteristiky chůze u dětí v mladším školním věku na základě dat z inerciálního senzoru.

Statistická analýza prokázala, že existuje signifikantní rozdíl mezi jednotlivými věkovými skupinami dětí v mladším školním věku v symetrii chůze bez sekundární kognitivní úlohy a s ní v anteroposteriorním směru, u DTC vypočítaného pro variabilitu chůze v anteroposteriorním směru a u DTC určeného pro rychlost chůze. Nebyl nalezen statistický významný rozdíl v parametrech stability, variability, komplexnosti a rychlosti chůze. Přestože určité výsledky nebyly statisticky signifikantní, ukazují, že se zvyšujícím se věkem se zvyšuje stabilita (v ML u ST), komplexnost (v ML u ST, v ML a V u DT) a rychlost chůze. Rovněž se s věkem snižuje efekt DT ve stabilitě chůze v anteroposteriorním směru, což znamená, že dochází ke snížení nákladů nutných pro vykonání dvojího úkolu.

Se zvyšujícím se věkem dětí je jejich chůze vyzrálejší. V práci byly k hodnocení chůze využity lineární i nelineární přístupy ke zpracování dat. Nelineární přístupy jsou často využívány u dospělých jedinců, ale jen výjimečně u probandů dětského věku. Tato studie ukázala, že i když byly v oblasti těchto charakteristik pozorovány určité trendy, jejich validní využití u této skupiny je diskutabilní. Ke zjištění adekvátnosti těchto charakteristik chůze u skupiny dětí v mladším školním věku by bylo nutné provedení více studií s rozdílnými designy.

## 7 SOUHRN

Tato diplomová práce se zaměřuje na posouzení vybraných charakteristik chůze u dětí v mladším školním věku na základě dat získaných pomocí inerciálního senzoru. V oblasti těchto charakteristik chůze byly porovnávány rozdíly mezi různými věkovými skupinami dětí v mladším školním věku, a to v rámci samostatné chůze a při současném vykonávání kognitivní úlohy. Byl rovněž porovnáván „dual task cost“ mezi jednotlivými věkovými skupinami dětí.

V teoretické části jsou shrnuté poznatky týkající se motorického vývoje dítěte od postnatálního do pubertálního období. Pozornost je věnována především chůzi a je zde popsáno, k jakým změnám dochází, než dojde k získání zralé chůze. Dále je představen proces kognitivního vývoje dítěte a jsou také popsány jednotlivé kognitivní funkce. Poslední část teoretických poznatků se zabývá principem dvojího úkolu, představuje jeho paradigmatu a shrnuje poznatky týkající se dvojího úkolu u dětí.

Praktická část popisuje průběh výzkumu a jeho výsledky. Do výzkumu bylo zapojeno 158 dětí z různých základních škol Olomouckého a Zlínského kraje. Z celkového výzkumného souboru bylo pro tuto diplomovou práci náhodně vybráno 66 dětí, které byly rozděleny do tří věkových skupin: od šesti do sedmi let, od osmi do devíti let a od deseti do jedenácti let. V každé věkové skupině bylo 22 dětí a totožné zastoupení dívek a chlapců (4 dívky a 18 chlapců). Měření vybraných charakteristik chůze probíhalo na chodbě dlouhé 15 m. Na trup probanda byl přímo na kůži umístěn senzor ve výši pátého bederního obratle. Prvním úkolem bylo čtyřikrát projít vyznačenou vzdálenost vycházkovým tempem bez zastavení. V rámci druhého úkolu probíhala chůze se sekundární kognitivní úlohou. Během chůze mělo dítě jmenovat zvíře, jehož název začíná na určité písmeno abecedy (počínaje písmenem „A“), které mu testující osoba zadala. Průběh chůze byl zaznamenán pomocí inerciálních senzorů Physilog (GaitUp, Lausanne, Švýcarsko). Následovalo zpracování naměřených údajů a jejich statistická analýza.

Z výsledků této studie vyplývá, že se zvyšujícím se věkem se zvýšila symetrie chůze bez sekundární kognitivní úlohou a s ní v anteroposteriorním směru. Byly také nalezeny statisticky signifikantní rozdíly u DTC vypočítaného pro variabilitu chůze v anteroposteriorním směru a u DTC stanoveného pro rychlost chůze, což znamená, že dochází ke snížení nákladů pro vykonání dvojího úkolu.

## 8 SUMMARY

This thesis focuses on the assessment of selected gait characteristics in young school-aged children based on data obtained with using an inertial sensor. Within these gait characteristics, differences between different age groups of younger school-aged children were compared in terms of independent walking and in the simultaneous performance of a cognitive task. The “dual task cost” (DTC) was also compared between different age groups of children.

The theoretical section summarizes the findings regarding the motor development of the child from the postnatal to the pubertal period. Attention is paid in particular to gait, and the changes that occur before mature gait is acquired are described. Subsequently, the process of cognitive development of the child is presented, and the different cognitive functions are also described. The last part of the theoretical background discusses the principle of dual task, presents its paradigms and summarizes the findings regarding dual task in children.

The practical part describes the research process and its results. The research involved 158 children from various primary schools in the Olomouc and Zlín regions. From the total research population, 66 children were randomly selected for this thesis and divided into three age groups: from six to seven years, from eight to nine years and from ten to eleven years. There were 22 children in each age group and an identical representation of girls and boys (4 girls and 18 boys). Measurements of selected gait characteristics were taken in a 15 m long corridor. A sensor was placed directly on the proband’s torso at the level of the fifth lumbar vertebra. The first task was to walk the marked distance four times at walking pace without stopping. The second task involved walking with a secondary cognitive task. During the walking task, the child had to name an animal whose name begins with a certain letter of the alphabet (starting with the letter “A”) given by the tester. The gait progress was recorded using Physilog inertial sensors (GaitUp, Lausanne, Switzerland). This was followed by processing of the measured data and statistical analysis.

The results of this study show that gait symmetry in the anteroposterior direction increased with increasing age – both during the walk without a secondary cognitive task, and with it. Statistically significant differences were also found for the dual task cost calculated for gait variability in the anteroposterior direction and for the dual task cost



determined for gait speed, indicating that there is a reduction in the cost of performing of the dual task.

## 9 REFERENČNÍ SEZNAM

- Al-Yahya, E., Dawes, H., Smith, L., Dennis, A., Howells, K., & Cockburn, J. (2011). Cognitive motor interference while walking: A systematic review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral reviews*, *35*(5), 715–728. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2010.08.008>
- Ambler, Z. (2011). *Základy neurologie* (7. vyd.). Praha: Galén.
- An, H. J., Kim, J. I., Kim, Y. R., Lee, K. B., Kim, D. J., Yoo, K. T., & Choi, J. H. (2014). The effect of various dual task training methods with gait on the balance and gait of patients with chronic stroke. *Journal of Physical Therapy Science*, *26*(8), 1287–1291. <https://doi.org/10.1589/jpts.26.1287>
- Bart, O., Hajami, D., & Bar-Haim, Y. (2007). Predicting school adjustment from motor abilities in kindergarten. *Infant and Child Development*, *16*(6), 597–615. <https://doi.org/10.1002/icd.514>
- Bathelt, J., Gathercole, S. E., Johnson, A., & Astle, D. E. (2017). Differences in brain morphology and working memory capacity across childhood. *Developmental Science*, *21*(3), 1–13. <https://doi.org/10.1111/desc.12579>
- Bayot, M., Dujardin, K., Tard, C., Defebvre, L., Bonnet, C. T., Allart, E., & Delval, A. (2018). The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, *48*(6), 361–375. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neucli.2018.10.003>
- Beerse, M., Henderson, G., Liang, H., Ajisafe, T., & Wu, J. (2019). Variability of spatiotemporal gait parameters in children with and without Down syndrome during treadmill walking. *Gait & Posture*, *68*, 207–212. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.11.032>
- Bellanca, J. L., Lowry, K. A., Van Swearingen, J. M., Brach, J. S., & Redfern, M. S. (2013). Harmonic ratios: A quantification of step to step symmetry. *Journal of Biomechanics*, *46*(4), 828–831. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.12.008>
- Belluscioa, V., Bergamina, E., Salatinoa, G., Marrob, T., Gentilib, P., Iosab, M., Morellib, D., & Vannozi, G. (2019). Dynamic balance assessment during gait in children with

- Down and Prader-Willi syndromes using inertial sensors. *Human Movement Science*, 63, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.11.010>
- Bisi, M. C., & Stagni, R. (2016). Complexity of human gait pattern at different ages assessed using multiscale entropy: From development to decline. *Gait & Posture*, 47, 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.04.001>
- Bisi, M. C., & Stagni, R. (2018). Changes of human movement complexity during maturation: quantitative assessment using multiscale entropy. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 21(4), 325–331. <https://doi.org/10.1080/10255842.2018.1448392>
- Bisi, M. C., Riva, F., & Stagni, R. (2014). Measures of gait stability: performance on adults and toddlers at the beginning of independent walking. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(131), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-131>
- Bizovská, L., Janura, M., Míková, M., & Svoboda, Z. (2017). *Rovnováha a možnosti jejího hodnocení*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- 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 & Posture*, 35(3), 428–434. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.11.002>
- Bronstein, A. M. (2004). *Clinical disorders of balance, posture and gait* (2nd ed). London: Edward Arnold.
- Brustio, P. R., Magistro, D., Zecca, M., Liubicich, M. E., & Rabaglietti, E. (2018). Fear of falling and activities of daily living function: mediation effect of dual task ability. *Aging & Mental Health*, 22(6), 856–861. <https://doi.org/10.1080/13607863.2017.1318257>
- Buzzi, U. H., & Ulrich, B. D. (2004). Dynamic stability of gait cycles as a function of speed and system constraints. *Motor control*, 8(3), 241–254. <https://doi.org/10.1123/mcj.8.3.241>
- Cimolin, V., Pau, M., Cau, N., Leban, B., Porta, M., Capodaglio, P., Sartorio, A., Grugni, G., & Galli, M. (2020). Changes in symmetry during gait in adults with Prader-Willi syndrome. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 23(14), 1094–1101. <https://doi.org/10.1080/10255842.2020.1787999>

- Clark, J., & Metcalfe, J. S. (2002). The mountain of motor development: a metaphor. *Motor Development: Research and Review*, (2), 62–95.  
[https://www.researchgate.net/publication/313187695\\_The\\_Mountain\\_of\\_Motor\\_Development\\_A\\_Metaphor](https://www.researchgate.net/publication/313187695_The_Mountain_of_Motor_Development_A_Metaphor)
- Connolly, K. J., & Forssberg, H. (1997). *Neurophysiology and neuropsychology of motor development*. London: Mac Keith Press.
- Čápková, J. (2016). *Od posturální ontogeneze k terapeutickému konceptu*. Ostrava: Repronis.
- de Oliveira, E. A., Andrade, A. O., & Vieira, M. F. (2019). Linear and nonlinear measures of gait variability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 46, 21–27.  
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.03.007>
- Decker, L. M., Cignetti, F., & Stergiou, N. (2010). Complexity and human gait. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 3(1), 2–12.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development*, 71(1), 44–56.  
<https://doi.org/10.1111/1467-8624.00117>
- Dylevský, I. (2021). *Klinická kineziologie a patokineziologie*. Praha: Grada Publishing.
- Feigelman, S. (2016a). The First Year. In R. M. Kliegman, B. F. Stanton, J. W. St Geme, & N. F. Schor (Eds.), *Nelson textbook of pediatrics* (pp. 65–70). Philadelphia: Elsevier.
- Feigelman, S. (2016b). Overview and Assessment of Variability. In R. M. Kliegman, B. F. Stanton, J. W. St Geme, & N. F. Schor (Eds.), *Nelson textbook of pediatrics* (pp. 48–54). Philadelphia: Elsevier.
- Feigelman, S. (2016c). The Preschool Years. In R. M. Kliegman, B. F. Stanton, J. W. St Geme, & N. F. Schor (Eds.), *Nelson textbook of pediatrics* (pp. 76–79). Philadelphia: Elsevier.
- Feuerstein, R. (2014). *Vytváření a zvyšování kognitivní modifikovatelnosti: Feuersteinův program instrumentálního obohacení*. Praha: Karolinum.

- Fraizer, E. V., & Mitra, S. (2008). Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual tasking in upright stance. *Gait Posture*, *27*(2), 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.04.002>
- Gage, J. R. (1991). *Gait analysis in cerebral palsy*. Oxford: Mac Keith Press.
- Goldberger, A. L., Amaral, L. A., Glass, L., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C., Mark, ... Stanley, H. E. (2000). PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*, *101*(23), e215–e220. <https://doi.org/10.1161/01.cir.101.23.e215>
- Hagmann-von Arx, P., Manicolo, O., Lemola, S., & Grob, A. (2016). Walking in school-aged children in a dual task paradigm is related to age but not to cognition, motor behavior, injuries, or psychosocial functioning. *Frontiers in Psychology*, *7*(352), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00352>
- Haibach-Beach, P. S., Reid, G. D., & Collier, D. H. (2018). *Motor learning and development* (2. vyd.). USA: Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hansen, C., Wei, Q., Shieh, J. S., Fourcade, P., Isableu, B., & Majed, L. (2017). Sample entropy, univariate, and multivariate multi-scale entropy in comparison with classical postural sway parameters in young healthy adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*(206), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00206>
- Hausdorff, M. J., Zeman, L., Peng, C. K., & Goldberger, A. L. (1999). Maturation of gait dynamics: stride-to-stride variability and its temporal organization in children. *Journal of Applied Physiology*, *86*(3), 777–1097. <https://doi.org/https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.3.1040>
- Haywood, K. M., & Getchell, N. (2014). *Life span motor development* (6. vyd.). USA: Human Kinetics.
- Huang, H. J., Mercer, V. S., & Thorpe, D. E. (2003). Effects of different concurrent cognitive tasks on temporal-distance gait variables in children. *Pediatric physical therapy*, *15*(2), 105–113. <https://doi.org/10.1097/01.PEP.0000067886.96352.6B>
- Huxhold, O., Li, S. C., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2006). Dual tasking postural control: Aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Research Bulletin*, *69*(3), 294–305. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2006.01.002>

- Ihlen, E. A., Weiss, A., Bourke, A., Helbostad, J. L., & Hausdorff, J. M. (2016). The complexity of daily life walking in older adult community-dwelling fallers and non-fallers. *Journal of biomechanics*, *49*(9), 1420–1428. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.02.055>
- Inasaridzea, K., Foleyb, J. A., Logie, R. H., & Sala, S. D. (2010). Dual task impairments in vascular dementia. *Behavioural Neurology*, *22*, 45–52. <https://doi.org/10.3233/BEN-2009-0252>
- Iosa, M., Fusco, A., Morone, G., & Paolucci, S. (2014). Development and decline of upright gait stability. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *6*(14), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00014>
- Janura, M., Vařeka, I., Lehnert, M., & Svoboda, Z. (2012). *Metody biomechanické analýzy pohybu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Jelsma, L. D., Geuze, R. H., Fuermaier, A. B. M., Tucha, O., & Smits-Engelsman, B. C. M. (2021). Effect of dual tasking on a dynamic balance task in children with and without DCD. *Human Movement Science*, *79*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2021.102859>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall INC.
- Kelly, V. E., Janke, A. A., & Shumway-Cook, A. (2010). Effects of instructed focus and task difficulty on concurrent walking and cognitive task performance in healthy young adults. *Experimental brain research*, *207*(1–2), 65–73. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2429-6>
- Kiesel, A., Johannsen, L., Koch, I., & Müller, H. (2022). Introduction: Overview of concepts and paradigms. In A. Kiesel, L. Johannsen, I. Koch, & H. Müller (Eds.), *Handbook of Human Multitasking* (pp. 5–8). Switzerland: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04760-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04760-2_1)
- Kirtley, C. (2006). *Clinical gait analysis: theory and practice*. Edinburgh: Elsevier.
- Klucká, J., & Volfová, P. (2016). *Kognitivní trénink v praxi* (2., rozšířené vydání). Praha: Grada Publishing.
- Kohoutek, R. (2008). Kognitivní vývoj dětí a školní vzdělávání. *Pedagogická orientace*, *18*(3), 3–22.

- Koch, I., Poljac, E., Müller, H., & Kiesel, A. (2018). Cognitive structure, flexibility, and plasticity in human multitasking: An integrative review of dual task and task-switching research. *Psychological Bulletin*, *144*(6), 557–583. <https://doi.org/10.1037/bul0000144>
- Kolář, P. (2020). *Rehabilitace v klinické praxi* (2. vyd.). Praha: Galén.
- Kolář, P., & Máček, M. (2021). *Základy klinické rehabilitace* (2. vyd.). Praha: Galén.
- Komárek, V., & Zumrová, A. (2008). *Dětská neurologie: vybrané kapitoly* (2. vyd.). Praha: Galén.
- Kulišťák, P. (2017). *Klinická neuropsychologie v praxi*. Praha: Univerzita Karlova, Karolinum.
- Künzell, S., Broeker, L., Dignath, D., Ewolds, H., Raab, M., & Thomaschke, R. (2018). What is a task? An ideomotor perspective. *Psychological Research*, *18*, 4–11. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00426-017-0942-y.pdf?pdf=button>
- Kwon, Y., Kwon, J. W., & Cho, I. H. (2019). The difference of gait characteristic according to the variety of dual tasks in young healthy adults. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, *63*(1), 33–38. <https://doi.org/10.3233/WOR-192905>
- Lanfranchi, S., Baddeley, A., Gathercole, S., & Vianello, R. (2012). Working memory in Down syndrome: is there a Dual taskdeficit?. *Journal of Intellectual Disability Research*, *56*(2), 157–166. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2011.01444.x>
- Langmeier, J., & Krejčířová, D. (2006). *Vývojová psychologie* (2. vyd.). Praha: Grada.
- Leban, B., Cimolin, V., Porta, M., Arippa, F., Pilloni, G., Galli, M., & Pau, M. (2020). Age-related changes in smoothness of gait of healthy children and early adolescents. *Journal of motor behavior*, *52*(6), 694–702. <https://doi.org/10.1080/00222895.2019.1680949>
- Lee, K. B., Kim, J. H., & Lee, K. S. (2015). The relationship between motor recovery and gait velocity during dual tasks in patients with chronic stroke. *Journal of Physical Therapy Science*, *27*(4), 1173–1176. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.1173>
- Levine, D., Richards, J., & Whittle, M. W. (2012). *Whittle's gait analysis* (5. vyd.). Edinburgh: Churchill Livingstone.

- Lezak, M. D., Howieson, D. B., & Loring, D. W. (2005). Neuropsychological assessment. *Journal of Neurology*, *252*, 1290–1291. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00415-005-0003-0>
- Lord, S., Howe, T., Greenland, J., Simpson, L., & Rochester, L. (2011). Gait variability in older adults: a structured review of testing protocol and clinimetric properties. *Gait & Posture*, *34*(4), 443–450. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.07.010>
- Lowry, K. A., Lokenvitz, N., & Smiley-Oyen, A. L. (2012). Age and speed-related differences in harmonic ratios during walking. *Gait and Posture*, *35*(2), 272–276. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.09.019>
- Mac-Auliffe, D., Chatard, B., Petton, M., Croizé, A. C., Sipp, F., Bontemps, B., Gannerie, A., Bertrand, O., Rheims, S., Kahane, P., & Lachaux, J. P. (2021). The dual task cost is due to neural interferences disrupting the optimal spatio-temporal dynamics of the competing tasks. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *(15)*, 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.640178>
- McIsaac, T. L., Lamberg, E. M., & Muratori, L. M. (2015). Building a framework for a Dual tasktaxonomy. *BioMed Research International*, *2015*, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2015/591475>
- Mehdizadeh, S. (2018). The largest Lyapunov exponent of gait in young and elderly individuals: A systematic review. *Gait & Posture*, *60*, 241–250. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.12.016>
- Menkes, J. H., Sarnat, H. B., & Maria, B. L. (2011). *Dětská neurologie II* (7. vyd.). Praha: Triton.
- Misu, S., Asai, T., Sakai, H., Nishiguchi, S., & Fuse, K. (2022). Usefulness of gait parameters obtained from inertial sensors attached to the lower trunk and foot for assessment of gait performance in the early postoperative period after total knee arthroplasty. *The Knee*, *37*, 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2022.06.005>
- Moe-Nilssen, R. (1998). A new method for evaluating motor control in gait under real-life environmental conditions. Part 1: The instrument. *Clinical Biomechanics*, *13*(4–5), 320–327. [https://doi.org/10.1016/s0268-0033\(98\)00089-8](https://doi.org/10.1016/s0268-0033(98)00089-8)
- Möhring, W., Klupp, S., Zumbrennen, R., Segerer, R., Schaefer, S., & Grob, A. (2021). Age-related changes in children's cognitive-motor dual tasking: Evidence from a



- large cross-sectional sample. *Journal of Experimental Child Psychology*, 206, 1–15.  
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105103>
- Moraes, H., Deslandes, A., Silveira, H., Arcoverde, C., Alve, H., & Laks, J. (2011). Effects of motor and cognitive dual task performance in depressive elderly, healthy older adults, and healthy young individuals. *Dementia & Neuropsychologia*, 5(3), 198–202. <https://doi.org/10.1590/S1980-57642011DN05030007>
- Muscolino, J. E. (2011). *Kinesiology: the skeletal system and muscle function* (2. vyd.). St. Louis, Mo.: Mosby-Elsevier.
- Musilová, M., & Janura, M. (2020). Využití kognitivních duálních úloh při hodnocení úrovně posturální kontroly. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 27(1), 30–37.
- Nandy, A., Chakraborty, S., Chakraborty, J., & Venture, G. (2021). *Modern methods for affordable clinical gait analysis*. London; San Diego; Cambridge; Oxford: Academic Press, an imprint of Elsevier.
- Neumannová, K., Janura, M., Kováčiková, Z., Svoboda, Z., & Jakubec, L. (2015). *Analýza chůze u osob s chronickou obstrukční plicní nemocí*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Nevšimalová, S., Komárek, V., Hadač, J., & Kršek, P. (2021). *Dětská neurologie*. Praha: Galén.
- Nikolai, T., & Bezdíček, O. (2018). Poruchy paměti a neuropsychologické vyšetření paměti v klinické praxi. *Neurologie pro praxi*, 19(6), 405–410.  
<https://www.neurologiepropraxi.cz/pdfs/neu/2018/06/03.pdf>
- Nurwulan, N. R., Jiang, B. C., & Iridiastadi, H. (2015). Posture and texting: Effect on balance in young adults. *PLOS ONE*, 10(7), 1–10. doi: 10.1371/journal.pone.0134230
- Otermans, P. C. J., Parton, A., & Szameitat, A. J. (2022). The working memory costs of a central attentional bottleneck in multitasking. *Psychological Research*, 86, 1774–1791. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00426-021-01615-1>
- Palluel, E., Chauvel, G., Bourg, V., Commare, M. C., Prado, C., Farigoule, V., Nougier, V., & Olivier, I. (2019). Effects of dual tasking on postural and gait performances in children with cerebral palsy and healthy children. *International Journal of*

- Pashler, H. (1994). Dual task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological Bulletin*, 116(2), 220–244. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.116.2.220>
- Pashler, H., Johnston, J. C., & Ruthruff, E. (2001). Attention and performance. *Annual Review of Psychology*, 52, 629–651.
- Patel, P., Lamar, M., & Bhatt, T. (2014). Effect of type of cognitive task and walking speed on cognitive-motor interference during dual task walking. *Neuroscience*, 260, 140–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2013.12.016>
- Payne, V. G., & Isaacs, L. D. (2017). *Human motor development: a lifespan approach* (9. vyd.). London: Routledge, Taylor & Francis Group.
- Pena, G. M., Pavão, S. L., Oliveira, M. F., de Campos, A. C., & Rocha, N. A. (2019). Dual task effects in children with neuromotor dysfunction: a systematic review. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 55(2), 281–290. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.19.05556-4>
- Perry, J., & Burnfield, J. M. (2010). *Gait analysis: normal and pathological function* (2. vyd.). Thorofare, N.J.: SLACK.
- Piek, J. P. (2006). *Infant motor development*. USA: Human Kinetics.
- Piek, J. P., Dyck, M. J., Nieman, A., Anderson, M., Hay, D., Smith, L. M., McCoy, M., & Hallmayer, J. (2004). The relationship between motor coordination, executive functioning and attention in school aged children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19(8), 1063–1076. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2003.12.007>
- Piqueres-Juan, I., Tirapu-Ustárrroz, J., & García-Sala, M. (2021). Dual performance paradigms: their conceptual aspects. *Revista de neurologia*, 71(10), 357–367. <https://doi.org/https://doi.org/10.33588/rn.7210.2020200>
- Plummer, P., Eskes, G., Wallace, S., Giuffrida, C., Fraas, M., Campbell, G., Clifton, K. L., & Skidmore, E. R. (2013). Cognitive-motor interference during functional mobility after stroke: state of the science and implications for future research. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(12), 2565–2574. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.08.002>

- Preiss, M. (1998). *Klinická neuropsychologie*. Praha: Grada.
- Procházka, R., & Orel, M. (2021). *Vývojová neuropsychologie*. Praha: Grada.
- Raffalt, P. C., Bencke, J., Mortensen, K., Torabi, T. P., Wong, C., & Speedtsberg, M. B. (2022). Electro-suit treatment of children with unilateral cerebral palsy alters nonlinear dynamics of walking. *Clinical Biomechanics*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2022.105714>
- Raichle, M. E., Fiez, J. A., Videen, T. O., MacLeod, A. M., Pardo, J. V., Fox, P. T., & Petersen, S. E. (1994). Practice-related changes in human brain functional anatomy during nonmotor learning. *Cerebral Cortex*, 4(1), 8–26. <https://doi.org/10.1093/cercor/4.1.8>
- Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American journal of physiology-heart and circulatory physiology*, 278(6), H2039–H2049. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.2000.278.6.H2039>
- Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *Americal Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology*, 278, H2039–H2049. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.2000.278.6.H2039>
- Rogan, S., Taeymans, J., Bangerter, C., Simon, S., Terrier, P., & Hilfiker, R. (2019). Influence of single and dual tasks on gait stability and gait speed in the elderly. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 52(1), 23–27. <https://doi.org/10.1007/s00391-017-1279-2>
- Rose, J., & Gamble, J. G. (2006). *Human walking* (3. vyd.). Philadelphia, Pa.: Lippincott Williams & Wilkins.
- Rosenstein, M. T., Collins, J. J., & De Luca, C. J. (1993). A practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 65(1–2), 117–134. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-2789\(93\)90009-P](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-2789(93)90009-P)
- Ruthruff, E., Pashler, H. E., & Hazeltine, E. (2003). Dual task interference with equal task emphasis: Graded capacity sharing or central postponement?. *Perception & Psychophysics*, 65(5), 801–816. <https://doi.org/10.3758/BF03194816>

- Růžička, E., Šonka, K., Marusič, P., & Rusina, R. (2019). *Neurologie*. Stanislav Juhaňák – Triton.
- Selge, C., Schoeberl, F., Zwergal, A., Nuebling, G., Brandt, T., Dieterich, M., Schniepp, R., & Jahn, K. (2018). Gait analysis in PSP and NPH: Dual task conditions make the difference. *Neurology*, *90*(12), 1021–1028.  
<https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000005168>
- Schifino, G., Cimolin, V., Pau, M., da Cunha, M. J., Leban, B., Porta, M., Galli, M., & Pagnussat, A. S. (2021). Functional electrical stimulation for foot drop in post-stroke people: quantitative effects on step-to-step symmetry of gait using a wearable inertial sensor. *Sensors*, *21*(3). <https://doi.org/10.3390/s21030921>
- Schmahmann, J. D., & Sherman, J. C. (1998). The cerebellar cognitive affective syndrome. *Brain*, *121*(4), 561–579.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1093/brain/121.4.561>
- Skaličková-Kováčiková, V. (2017). *Diagnostika a fyzioterapie hybných poruch dle Vojty*. Olomouc: RL-CORPUS, s.r.o.
- Stelmach, G. (1982). Information-processing framework for understanding human motor behavior. In J. A. S. Kelso (Ed.), *Human motor behavior: An introduction* (pp. 63–91). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stergiou, N., Harbourne, R., & Cavanaugh, J. (2006). Optimal movement variability: a new theoretical perspective for neurologic physical therapy. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, *30*(3), 120–129.  
<https://doi.org/10.1097/01.npt.0000281949.48193.d9>
- Suarez, I., Vidal, F., Burle, B., & Casini, L. (2015). A dual task paradigm to study the interference reduction in the Simon task. *Experimental Psychology*, *62*(2), 75–88.  
<https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000275>
- Sugden, D., & Wade, M. (2013). *Typical and atypical motor development*. London: Mac Keith Press.
- Svoboda, Z., Rosický, J., & Janura, M. (2020). *Chůze osob s transtibiální amputací*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.

- Terrier, P., & Reynard, F. (2015). Effect of age on the variability and stability of gait: a cross-sectional treadmill study in healthy individuals between 20 and 69 years of age. *Gait & Posture*, *41*(1), 170–174. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.09.024>
- Thevenon, A., Gabrielli, F., Lepvrier, J., Faupin, A., Allart, E., Tiffreau, V., & Wieczorek, V. (2015). Collection of normative data for spatial and temporal gait parameters in a sample of French children aged between 6 and 12. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, *58*(3), 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2015.04.001>
- Thorová, K. (2015). *Vývojová psychologie: proměny lidské psychiky od početí po smrt*. Praha: Portál.
- Tramontano, M., Morone, G., Curcio, A., Temperoni, G., Medici, A., Morelli, D., Caltagirone, C., Paolucci, S., & Iosa, M. (2017). Maintaining gait stability during dual walking task: effects of age and neurological disorders. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, *53*(1), 7–13. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.16.04203-9>
- Vágnerová, M. (2021). *Vývojová psychologie: dětství a dospívání* (3. dopl.). Praha: Karolinum.
- Valenta, M., Michalík, J., & Lečbych, M. (2018). *Mentální postižení* (2. vyd.). Praha: Grada.
- Vařeka, I., Janura, M., & Vařeková, R. (2018). Kineziologie chůze. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, *25*(2), 81–86. [https://www.researchgate.net/publication/327594975\\_Kineziologie\\_chuze](https://www.researchgate.net/publication/327594975_Kineziologie_chuze)
- Véle, F. (2006). *Kineziologie: přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy* (2. vyd.). Praha: Triton.
- Vojta, V., & Peters, A. (2010). *Vojtův princip: svalové souhry v reflexní lokomoci a motorické ontogenezi*. Praha: Grada Publishing.
- Whittle, M. (2007). *Gait analysis: an introduction* (4th ed). Edinburgh: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture*, *16*(1), 1–14. [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(01\)00156-4](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(01)00156-4)

- Yogev, G., Giladi, N., Peretz, C., Springer, S., Simon, E. S., & Hausdorff, J. M. (2005). Dual tasking, gait rhythmicity, and Parkinson's disease: which aspects of gait are attention demanding?. *European Journal of Neuroscience*, 22(5), 1248–1256. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.04298.x>
- Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Movement disorders*, 23(3), 329–342. <https://doi.org/10.1002/mds.21720>
- Zijlstra, W., & Hof, A. L. (2003). Assessment of spatio-temporal gait parameters from trunk accelerations during human walking. *Gait & Posture*, 18(2), 1–10. [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(02\)00190-x](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(02)00190-x)
- Zumrová, A. (2015). Opoždění psychického a motorického vývoje. In H. Ošlejšková (Eds.), *Dětská neurologie* (pp. 22–32). Olomouc: Solen.

# 10 PŘÍLOHY

Příloha 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

Příloha 2

Potvrzení o anglickém překladu

**Potvrzení o zhotovení překladu**

Potvrzuji, že jsem zhotovila odborný překlad abstraktu a souhrnu diplomové práce  
Bc. Elžbiety Szymeczek „Hodnocení vybraných charakteristik chůze dětí v mladším  
školním věku pomocí inerciálních senzorů“.



MUDr. Michaela Šramlová

**IČO:** 01310801

**DIČ:** CZ6960185133

V Praze dne 27. 5. 2023