

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

2. lékařská fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2014

Adéla Hrušková

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

2. lékařská fakulta

VÝVOJ SOMATOSENZORICKÝCH FUNKCÍ V SOUVISLOSTI  
S POSTURÁLNĚ- LOKOMOČNÍMI FUNKCEMI V PŘEDŠKOLNÍM VĚKU,  
MOŽNOSTI HODNOCENÍ

(Bakalářská práce)

Autor: Adéla Hrušková, obor fyzioterapie

Vedoucí práce: PaedDr. Irena Zouňková

Praha 2014

## **Bibliografická identifikace**

HRUŠKOVÁ, ADÉLA *Vývoj somatosenzorického systému v souvislosti s posturálně lokomočními funkcemi v předškolním věku, možnosti hodnocení*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 2. lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2014. Vedoucí bakalářské práce PaedDr. Irena Zouňková

## **Abstrakt:**

Cílem této práce je popsat na základě rešerše vývoj somatosenzorického systému u dítěte předškolního věku, jeho souvislosti s posturálně- lokomočními funkcemi a popis možnosti hodnocení somatosenzorického systému u předškolních dětí. V jednotlivých kapitolách teoretické části této práce je popsán somatosenzorický systém a jeho vývoj, vývoj posturálně- lokomočních funkcí v předškolním věku, růst a vývoj předškolního dítěte. V části praktické pak byly shrnuty nalezené informace, jak mohou být vývoj somatosenzorického systému a jeho plné využívání centrálním nervovým systémem v posturálně- lokomočních funkcích ovlivněny u předškolního dítěte. Dále jsou popsány možnosti testů somatosenzorického systému, které lze použít u předškolního dítěte v běžné fyzioterapeutické praxi. Součástí práce je kazuistika předškolního dítěte zaměřená na testy somatosenzorického systému.

**Klíčová slova:** somatosenzorický systém, vývoj předškolního dítěte, posturálně- lokomoční funkce vývoj, posturální kontrola

Souhlasím s půjčováním bakalářské práce v rámci knihovních služeb.

**Bibliographic identification**

HRUŠKOVÁ, ADÉLA. *Development of somatosensory system in the context of the postural-locomotion system and the assessment possibilities* Prague: Charles University, 2nd Faculty of Medicine, Department of Rehabilitation and Sports Medicine, 2014. Supervisor: PaedDr Irena Zouňková

**Abstract:**

The aim of the work is to describe the somatosensory system function development in the context of postural- locomotion function in preschool age and to describe the possible assessment of this function in preschool children, on the basis of research. The theoretical chapters deal with the development of the somatosensory system and the postural- locomotion system, also with the physical development of the preschool child. The practical part presents the outcomes of the research, namely how the development and usage of somatosensory signals by central nervous system is influenced by growth of the preschool child's organism. Lastly, the work presents the possibilities how to assess the preschool child's somatosensory system in common physiotherapeutic practice. A preschool child's case report is included.

**Keywords:** somatosensory system, preschool child's development, postural – locomotion functions, postural control

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

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením PaedDr. Ireny Zoukové, uvedla všechny literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky. Dále prohlašuji, že tato práce nebyla použita k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 20. 4. 2014

Adéla Hrušková

Děkuji PaedDr. Ireně Zounkové za poskytnutí cenných rad, návrhů a zdrojů při zpracovávání bakalářské práce a dále Mgr. Zdeňkovi Čechovi a ochotným pracovníkům knihovny za pomoc se získáváním některých odborných zdrojů. Děkuji své rodině a přátelům, že mi svým přístupem a podporou umožnili studovat obor fyzioterapie, také svému synkovi, který se dokázal přizpůsobit mému studijnímu režimu. V této souvislosti patří velký dík i mým kolegům a vyučujícím za trpělivost, shovívavost a vstřícnost, když jsem navštěvovala některé vyučovací hodiny se svým dítětem.

Adéla Hrušková

# Obsah

## SEZNAM ZKRATEK

1. ÚVOD .....	10
2. PŘEHLED POZNATKŮ .....	11
2.1. Somatosenzorický systém.....	11
2.1.1. Součásti somatosenzorického systému.....	11
2.1.2. Receptory kožního čítí a propiocepce.....	12
2.1.3. Syntetické čítí a posturálně lokomoční funkce.....	13
2.1.4. Centrální spoje somatosenzorického systému .....	14
2.1.5. Centrální zpracování informací .....	15
2.1.6. Zrání somatosenzorického systému .....	16
2.1.6.1 Vývoj somatosenzorických funkcí od tří let věku .....	18
2.2. Posturálně – lokomoční funkce .....	20
2.2.1. Neurofyziologie motoriky .....	20
2.2.2. Systémy ovlivňující motoriku .....	21
2.2.3. Somatosenzorický systém v porovnání s vestibulárním a zrakovým aparátem v posturálně- lokomočních funkcích .....	23
2.2.4. Postura a lokomoce .....	24
2.2.5. Vývoj posturálně-lokomočních funkcí od 3 do 6 let.....	25
2.2.5.1 Vývoj řízení pohybů v souvislosti se somatosenzorickým systémem .....	26
2.2.5.2 Vývoj stabilizace segmentů v posturální kontrole .....	27
2.2.5.3 Motorické dovednosti dítěte 3- 6 let .....	30
2.3. Růst a vývoj dítěte: .....	31
2.3.1. Růst dítěte v předškolním věku.....	31
2.3.2. Stavba pojivových tkání dítěte .....	32
2.3.3. Klouby .....	32
2.3.4. Svalový systém.....	32
3. CÍLE A HYPOTÉZY .....	34
4. METODIKA.....	35
5. VÝSLEDKY REŠERŠE .....	36
6. DISKUSE .....	37
6.1. Růst dětského organismu a jeho vliv na somatosenzorické funkce.....	37
6.2. Senzorická integrace somatosenzorických signálů v posturálně- lokomočních funkcích.....	38
6.3. Somatosenzorický systém v porovnání s vestibulárním a zrakovým aparátem v posturálně- lokomočních funkcích v období vývoje dítěte .....	40
6.4. Posturálně- lokomoční funkce- odlišení vlivu somatosenzorického systému od zraku a vestibulárního aparátu .....	41

6.5.	Korelace somatosenzorických funkcí a posturálně- lokomočních funkcí u dětí předškolního věku .....	43
6.6.	Testy somatosenzorického systému.....	44
6.6.1.	Testy kinestezie .....	45
6.6.2.	Specificita testování předškolních dětí.....	47
6.6.3.	Přístrojové testování.....	49
6.7.	Vyšetření vybraných somatosenzorických funkcí u dítěte předškolního věku .....	49
7.	KAZUISTIKA.....	51
8.	ZÁVĚR.....	55
9.	SOUHRN .....	57
10.	SUMMARY .....	59
11.	REFERENČNÍ SEZNAM.....	61
12.	PŘÍLOHY.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>



## SEZNAM ZKRATEK

CNS – centrální nervový systém

DCD – developmental coordination disorder

DK, DKK – dolní končetiny

HK, HKK – horní končetiny

KST – kinaesthetic sensitivity test

M – ABC – movement assessment battery for children

SIPT – Sensory Integration and Praxis Test

# 1. ÚVOD

Somatosenzorický systém představuje důležitý zdroj aferentních informací pro mozek. Je známo, že vliv aferentních vstupů z celého těla je pro řízení motoriky zásadní a tento úzký vztah se označuje termínem senzomotorika (Kolář et al. 2009, 187). Somatosenzorické funkce a jejich souvislost s posturálně- lokomočními funkcemi představují poměrně rozsáhlé téma. Úvodem je třeba poznamenat, že bohužel v problematice somatosenzorického systému není terminologie české a zahraniční literatury zcela přehledná a jednotná, což poněkud ztěžuje orientaci v této oblasti. Cílem této práce je pokusit se uceleně zpracovat informace o souvislostech fyziologického vývoje somatosenzorického systému u předškolních dětí a posturálně lokomočními funkcemi a také vyhledat testy somatosenzorického systému, které je možné u dětí předškolního věku použít v klinické praxi.

## 2. PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1. Somatosenzorický systém

#### 2.1.1. Součásti somatosenzorického systému

Podle Králíčka zahrnuje somatosenzorický systém tzv. kožní čítí a propiocepci (Králíček 2011, 71- 88). Kožní čítí je vnímání podnětů mechanických (taktilní čítí), tepelných (termocepcce) a bolestivých (nocicepcce), působících na povrch těla. Propriocepcí se rozumí vnímání vzájemné polohy (statická propiocepcce neboli statestezie) a pohybu (dynamická propiocepcce neboli kinestezie) jednotlivých partií těla.

Podle kvality a složitosti podnětu působícího na somatosenzorický systém se rozeznává čítí elementární – dotyk, bolest, tah, tlak, vibrace a syntetické – diskriminace dvou bodů, statestezie (určení polohy), kinestezie (vnímání pohybu), barestezie (vnímání váhy a tlaku), planestezie (určení tvaru obrazce), grafestezie (rozeznávání písmen, číslic psaných na vybranou oblast těla), topoestezie (určení místa dotyku), somatognosie (rozpoznání vlastního těla, tělesného schématu) a stereognosie (kvalita rozlišovací schopnosti polohy, pohybu a podnětů pomocí kožní a propioceptivní aferentace, schopnost prostorového vnímání a kontaktu se zevním prostředím bez pomoci zraku ve vztahu k tělesnému schématu (Kolář et al., 2009, 92)). „Somatosenzorický systém vnímá pozici a rychlost všech tělesných segmentů, jejich kontakt s vnějšími objekty a orientaci vektoru gravitační síly.“ (Winter 1995, 194)

Dunn et al., který se v poslední době zabýval hodnocením somatosenzorického systému v praxi, používá pojem „touch“ (= hmat, nebo dotek) do něhož zahrnuje dotyk, vibrace, tlak, rozlišení objektu. Somatosenzitivitu pak popisuje jakožto všechny aspekty smyslu „touch“ spojeného s propiocepcí, které přispívají k povědomí jedince, jak se části těla vztahují k sobě navzájem a vzhledem ke svému okolí (Dunn et al. 2013). Kandel et al. zahrnuje pod pojem „touch“ vnímání určitého tlakového stimulu (Kandel et al., 2000, 414).

Pod pojem kinestezie někteří zahraniční autoři zahrnují tři složky: smysl pro polohu části těla (kinaesthetic acuity, v české literatuře statestezie) a vnímání pasivního a aktivního pohybu (limb passive movement sense and active movement sense) (Livesey a Parkes 1995, Pickett a Konczak 2009) Dunn et al. také řadí do kinestezie smysl pro pohyb a polohu končetiny

(Dunn et al. 2012). Boisgontier et al. chápe kinestezii a statestezii jako podsložky propiocepce, podobně jako Králíček (Boisgontier et al., 2011; Králíček 2011).

Somatosenzorický systém se odděluje od speciálních smyslů a zařazuje se do samostatné skupiny pro následující zvláštnosti:

1. receptory nejsou soustředěny do určitého jasně definovatelného orgánu, ale jsou roztroušeny po celém těle a v různých tkáních (pojivová, svalová, kožní),
2. na rozdíl od speciálních smyslových orgánů je schopen detekovat více forem informačních signálů (modalit) působících na povrch těla.

Více zdrojů se shoduje na tom, že posturálně lokomoční funkce a jejich vývoj jsou somatosenzorickým systémem ovlivňovány (Bertoti, 2004; Bent et al. 2004; Kolář a Kobesová 2013). Zejména to platí pro propioceptory, taktilní čítí a komplexní funkce s nimi související, na které se tato práce zaměřuje. Je nutno zmínit, že také nocicepce a termocpce jakožto složky somatosenzorického systému ovlivňují posturálně- lokomoční funkce. Součástí stereognosie, která je zahrnuta v této práci, je kožní čítí včetně nocicepce a termocpce. Sama nocicepce jako taková ovlivňuje motorické funkce dosti významně (Čech 2011b). Tato práce se podrobně nocicepcí a termocpcí dále nebude zabývat pro velký objem dat. Důvodem je také to, že zdroje pojednávající o vývoji motoriky v souvislosti se somatosenzorickým systémem zmiňují především jiné složky, a to právě propiocepce a taktilní čítí (Bertoti, 2004; Kolář a Kobesová 2013).

### **2.1.2. Receptory kožního čítí a propiocepce**

#### Kožní čítí:

Jde o kožní mechanoceptory, a to Merkelovy disky, Meissnerova tělíska, Ruffiniho tělíska a Vater-Paciniho tělíska. Hustota kožních receptorů není všude stejná. K přesnému posouzení taktilní citlivosti se užívá několik kritérií: prahový tlak, prostorový práh, autotopognosie a stereognosie. Ke kožnímu čítí patří také kožní termoreceptory a nociceptory. Některé z mechanoceptorů se podílejí i na propiocepce. „Kožní aference významná pro pohyb pochází zejména z kůže v okolí kloubů.“ (Cordo et al 2011, 1879).

### Propriocepce:

Proprioceptory umožňují detekovat vzájemnou polohu a pohyby jednotlivých částí těla, a jako tato čidla zřejmě fungují 1.) ruffiniformní a paciniformní tělíska v kloubních pouzdech a vazech, 2.) svalová vřeténka a Golgiho šlachová tělíska a 3.) Ruffiniho tělíska uložená v koriu.

Soudí se, že ruffiniformní tělíska signalizují extrémní pozici v kloubu a paciniformní tělíska pohyb v kloubu, tedy kinestezii. Zbylé receptory, tj. svalová vřeténka, Golgiho šlachové orgány a Ruffiniho kožní tělíska signalizují ustálenou pozici v kloubu (statesteezii). Signál ze svalových vřetének a Golgiho šlachových tělísek se přenáší do centrálního nervového systému aferentními nervovými vlákny typu A alfa. Informace ze zbývajících typů proprioceptorů vstupuje do centrálního nervového systému vlákny typu A beta. Funkce svalových vřetének je ovlivňována sympatikem. Protože se signály ze svalového vřeténka podílejí na mnoha funkcích – míšní i supraspinální motorické reflexy, kontrola a koordinace pohybů, kinestezie – má např. zvýšený tonus sympatiku vliv i na kvalitu těchto funkcí (Kolář et al 2009, 187).

Jak se jednotlivé receptory na vnímání různých složek pohybu přesně podílí, je stále ve fázi výzkumu. Cordo et al zkoumal v poslední době vnímání pasivního pohybu v okolí neutrální pozice kloubu a domnívá se, že somatosenzorické receptory svalu se podílí na percepci rychlosti a kožní receptory na percepci rychlosti i percepci dynamické pozice (Cordo et al., 2011, 1879). Předpokládá se, že v řízení pomalých pohybů dominuje aferentní informace o poloze efektoru, zatímco ovládání rychlých pohybů napomáhají zejména receptory registrující rychlost (Hay et al., 2005, 149).

#### **2.1.3. Syntetické čítí a posturálně lokomoční funkce**

Propriocepce a kožní čítí se podílí na syntetickém čítí, které souvisí s posturálně lokomočními funkcemi. Sem se řadí kinestezie a statesteezie, důležité pro kontrolu pohybu, manipulaci s objekty a zvládání vzpřímené postury. Během dozrávání řídicích center se utváří schopnost vědomí vlastního těla, tedy somatesteezie, a uvědomování si ho ve vztahu k okolnímu prostředí, což je somatognosie (Kolář et al 2009, 89). Vznikají komplexní gnostické funkce somatognosie a stereognosie, které mají velký význam pro vnímání pohybu, detekci chyb a jejich nápravu.

Ani v případě syntetického čítí není terminologie zcela přehledná a jednotná. Longo et al. rozlišuje pojmy somatopercepce (zajištění tělesné percepce pomocí exterocepce a

interocepce) a somatoprezentace, což je kognitivní proces v mozku zahrnující i vlastní znalosti o těle a postoje k tělu (Longo, Azañón, Haggard 2010, 2). Podle Koláře et al. (2009) je somatognosie schopnost správné identifikace vlastního těla. Stereognostické funkci je nadřazeno tzv. tělesné schéma, vnímaný „obraz“ těla. Tělesné schéma je výsledek syntézy komplexních vědomých i nevědomých zkušeností. Na vzniku tělesného schématu se kromě somatosenzorických receptorů podílejí dle některých autorů i zrakové a vestibulární informace (Bair et al, 2012,15), zatímco podle Haggarda a Wolperta tělesné schéma (body scheme) obsahuje vnímanou polohu a konfiguraci tělesných segmentů, jejich polohu a pohyb v prostoru na podkladě proprioceptivních a taktilních informací, bez zrakové kontroly – odlišují je od tzv. body image, které zrakové informace obsahuje (Haggard and Wolpert 2005, 1-2). Tělesné schéma je kontinuálně během pohybu aktualizováno coby zpětná vazba pro cílenou motoriku.

Somatognosie je úzce provázána se stereognosií. Bez této funkce neexistuje cílený pohyb, neboť je výrazně narušena funkce asociačních oblastí mozkové kůry. „V místě, kde je přítomna stereognostická funkce, ovlivní kožní stimulace pomocí mechanismů somatosenzorické pozornosti vnímání tělesného schématu.“ (Čech in Svobodová, 2008, 12) Vnímání vlastního těla a pak interpretování těchto vjemů v mozku je důležité pro kvalitu motorického výstupu (Kolář, Smržová a Kobesová 2011). „Čím lepší je percepce těla, tím lepší je kvalita fázického pohybu a schopnost vykonávat izolované pohyby v jediném segmentu a je lepší schopnost relaxace.“ (Kolář, Kobesová, 2013, 8).

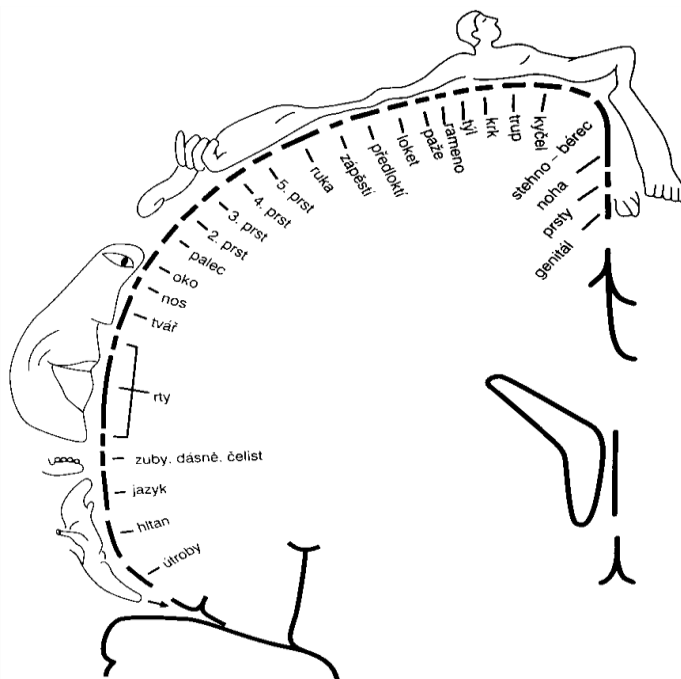
#### **2.1.4. Centrální spoje somatosenzorického systému**

Všechny somatosenzorické informace z oblastí trupu, krku, zadní poloviny hlavy a končetin vstupují do centrálního nervového systému zadními míšními kořeny. Z přední poloviny hlavy jsou somatosenzorické informace přenášeny cestou aferentních vláken především n. trigeminus. Další přenos z míchy do mozkové kůry se děje prostřednictvím lemniskálního a anterolaterálního systému. Lemniskální systém přenáší informace týkající se taktilního čítí a propriocepce. Ve spinální míše se tyto nacházejí ipsilaterálně, zatímco nocicepce a termocpce prochází kontralaterálně.

Taktilní čítí prochází přes aferentní vlákna neuronů spinálních ganglií, pak míří v ipsilaterálním zadním míšním provazci přes ncl. gracilis a ncl. cuneatus medialis. Tam se synapticky napojí v zona glomerularis a po výstupu z jader kříží střední rovinu, poté stoupají vzhůru jako součást svazku mediálního lemnisku. Pak pronikají do thalamu a končí na buňkách

ncl. ventralis posterolateralis. Thalamické neurony pak vysílají axony do somatosenzorického kortexu. Anterolaterální systém vede aferentní nocicepci a termocepci. Převádí i malou část taktilních informací, vjem nicméně není dostatečně přesný, vyžaduje vyšší prahový tlak podnětu, má vysoký prostorový práh a neumožňuje přesnou autotopognosii a stereognosii. Míří do thalamu, retikulární formace a limbického systému.

Vnímání místa působení mechanického podnětu je umožněno somatotopickou organizací projekčních a kortikálních neuronů. Tak zvaný tělesný povrch je prostřednictvím specifických neuronálních spojů přesně bod po bodu zmapován do struktur centrálního nervového systému, které mají vztah k přenosu a zpracování somatosenzorických informací. V dané korové oblasti jedné hemisféry se projikují somatosenzorické informace z kontralaterální poloviny těla. To je podrobně popsáno u taktilního čítí. Velikost okrsků závisí na hustotě somatosenzorických receptorů. Dojde-li ke korové lézi, potvrdilo se, že trpí zejména taktilní čítí a propriocepce více než nocicepce a termocepce (Kandel, Schwartz, Jessel, 2000).



Obr. 1. Homunculus v oblasti gyrus postcentralis – mapa senzitivní (Pffeifer 2007, 50)

### 2.1.5. Centrální zpracování informací

V mozkové kůře je pro posturálně-lokomoční funkce v souvislosti se somatosenzorickým systémem důležitá Brodmannova area 5, která integruje taktilní informace z kůře s proprioceptivními inputy a dále integruje informace z obou rukou. Area 7 získává vizuální, taktilní a proprioceptivní informace, což dovoluje integrovat stereognosii a

vizuální informace. Důležitou roli hraje primární a sekundární somatosenzorický kortex a dále zadní parietální kortex, který projikuje do motorických oblastí frontálního laloku a je podstatný pro sensorickou iniciaci a vedení pohybu. Zde jsou somatosenzorické odpovědi ještě komplexnější a často integrované s jinými smyslovými modalitami. Tyto asociační korové oblasti napomáhají sensorickému vedení pohybu a tak jsou organizovány spíše funkčně než topograficky. Mnoho neuronů v arei 5 dostává vstupy z několika přilehlých kloubů nebo skupin svalů a tyto vstupy poskytují informaci o postuře celé ruky nebo paže.

Parietální laloky zpracovávají komplexní sensorické a percepční informace, obzvláště informace vztahované k somatosenzitivitě, prostorovým vztahům, tělesnému schématu a motorickém učení. (O'Sullivan a Schmitz, 2007, 307) Případné poškození zadního parietálního kortexu vede ke komplexním senzomotorickým abnormitám. Důsledkem je špatná motorická koordinace a špatná koordinace oko-ruka, což vede k neglectu končetiny (Kandel et al., 2000, 468). Zadní parietální kortex spolupracuje s motivačními centry limbického systému a tím vzniká funkce orientované somatosenzorické pozornosti (Čech 2011a).

#### **2.1.6. Zrání somatosenzorického systému**

Subsystémy somatosenzorického systému v průběhu zrání CNS dozrávají nejprve relativně odděleně a teprve pak se integrují a vzniká funkce prostorové diskriminace. Vnější odraz zrání těchto systémů se odráží v motorických projevech jedince (Čech 2011a). Vývoj somatognostických funkcí jde v souladu s vývojem funkcí motorických (Lepšíková a Čech 2013). Jednotlivé oblasti těla se do tělesného schématu dostávají s jasně definovanou posloupností. Je možné určit stupeň vývoje stereognosie podle motorické zralosti jedince a vice versa.

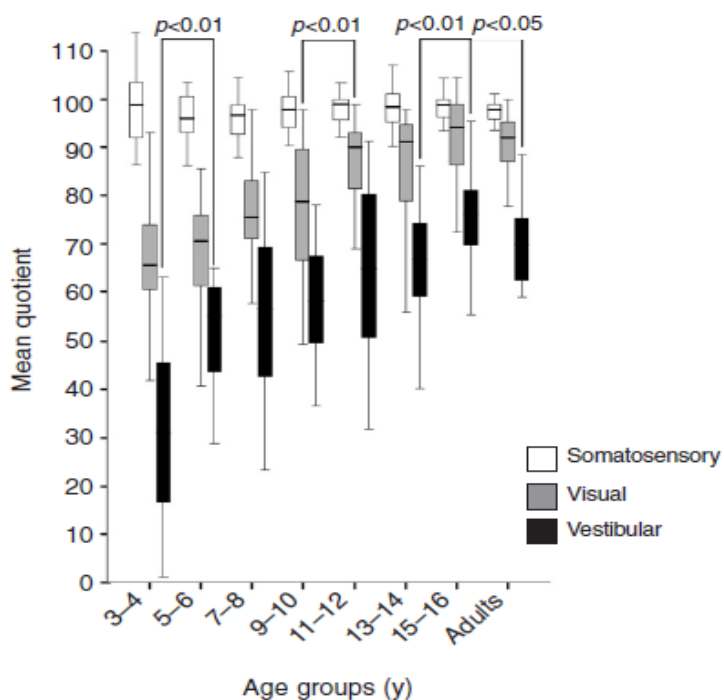
U kojence do jednoho roku je zřetelná souvislost postupného zániku primitivních reflexů souběžně s rozvojem stereognosie a schopnosti izolovaných pohybů. Například dokud se nevytvoří stereognostické vnímání na ruce, lze u dítěte vybavit úchopový reflex ruky a není možná opěrná a úchopová funkce ruky. Podobně vertikalizace do stoje je závislá na vývoji stereognostické funkce planty.

„Senzomotorická korová oblast má plně myelinizované aferentní spoje v průběhu prvních dvou měsíců postnatálního života. Nelze proto až do této doby předpokládat plně funkční „čtení“ například tělového schématu.“ (Dylevský, 2012, 44) Za přispění somatosenzorického systému si dítě v 3- 6 měsíci uvědomí, kde má části těla v prostoru.



Vznikne koordinace mezi dvěma stranami těla a začíná motorické plánování. Integrace mezi vjemy gravitace, pohybu a zraku má za následek vzpřimování, pohupy a otáčení (Zounková, 2012). Spolu s dozríváním kortikálních a neocerebelárních oblastí souvisejících s neuromuskulární kontrolou nastupuje především vědomá kontrola motorického projevu a schopnost motorického učení, ale také schopnost vědomého vnímání vlastního těla a funkce somatosenzorické pozornosti. (Lepšíková, Čech, Kolář 2013). S přibývajícím věkem dítěte se senzitivní mapa těla „homunkulus“ stává dokonalejší a podrobnější (Pfeiffer 2007).

Někteří autoři předpokládají, že funkce somatosenzorického systému v posturální kontrole dozrívá oproti ostatním smyslům brzy a že dospělé úrovně dosahuje právě na počátku předškolního věku ve 3- 4 letech (Hirabayashi, Iwasaki in Mallau et al, 2010). Steindl et al. (2006) dokládá zralost somatosenzorického systému ve 3-4 letech pomocí SOT testu, jehož výsledky naznačují, že somatosenzorická funkce v dětství se již málo liší od dospělé, v porovnáním se zrakovým a vestibulárním aparátem (viz obr. 2).



Obr. 2. Vývoj funkce sensorických systémů na posturální kontrolu dle SOT testu v průběhu života. Položky „somatosensory“, „visual“ a „vestibular“ značí schopnost stability jedince za podmínky, kdy je daný sensorický systém dle SOT testu dominantní v posturální kontrole. Z grafu je vidět, že somatosenzorický systém od 3-4 let věku je podobně funkční jako u dospělého. Převzato ze Steindl et al. 2006

Mallau et al. (2010) se nicméně domnívá, že co se integrace např. propioceptivních vjemů do posturální kontroly v různých situacích týče, ještě u dětí mezi 7 a 15 lety není zcela vyvrálá. Podle Hytonena et al (Hytonen et al., 1993, 121) testy dětí naznačují, že exteroceptivní a propioceptivní reflexy jsou plně funkční, ale posturální kontext a funkce CNS nejsou zralé natolik, aby upotřebily tyto reflexy v nejrůznějších posturálně náročných situacích nebo pokud dojde ke konfliktu sensorických informací. Pickett a Konczak dokazují, že ještě u prepubertálních dětí není dozrálá kinestetická vnímavost, protože dospělí dovedou lépe identifikovat směr pohybu při velmi nízké rychlosti pasivního pohybu a jejich mozek také rychleji než ten dětský zachytí vjem, že k nějakému pohybu dochází (Pickett a Konczak, 2009, 1).

#### **2.1.6.1 Vývoj somatosenzorických funkcí od tří let věku**

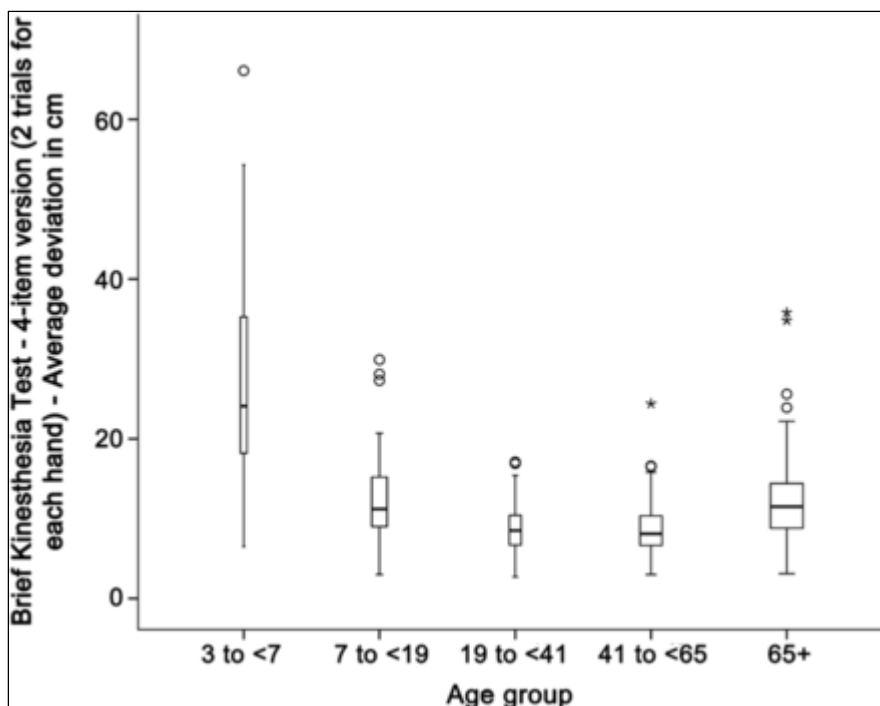
V předškolním věku především vyvrává uvědomění si a interpretace sensorické informace a dále sensorická integrace somatosenzorických signálů, zrají tedy komplexní somatosenzorické funkce. Na téma vývoje samotných somatosenzorických funkcí v předškolním věku a jejich testování nebylo prováděno v současné době mnoho studií. Některé zde zmiňované studie jsou starší než 10 let. Je uváděno, že mezi 3. a 6. rokem dochází ke zránění těchto funkcí: somatognosie a funkce s ní související - tělesné schéma, dále stereognosie, statestezie a kinestezie.

Již Campbellová se v r. 1973 zabývala vytvářením tělesného schématu u dětí předškolního věku a domnívá se, že pochopení částí těla a jejich vzájemných vztahů se rozvíjí před porozuměním objektům a jejich vzájemným vztahům. Schopnost využívat pojmy o lokalizaci v prostoru a podle toho se orientovat (vlevo, vpravo, umístění prstů....) nemusí být nutně doprovázena schopností slovně to popsat (Campbell 1973, 16). „Již ve 3- 4 měsících dítě dokáže vnímat rozdíl mezi „nad“ a „pod““ (Bremner et al., 2008, 299). Tělesné schéma je podle A. Kulakowske ve třech letech přítomno, ale vývoj vnímání tělesného schématu není v předškolním věku zdaleka ukončen, stále se zdokonaluje (Kulakowska 2011). Kulakowska propojuje tuto funkci se znalostí jazyka a popisuje, že díky somatognosii je dítě předškolního věku schopno začít rozlišovat pojmy nahoře- dole, vlevo – vpravo, před - za apod. Dítě by mělo již od tří let jazykově rozlišit několik částí svého těla a postupně své znalosti rozšiřovat.

Stereognostická schopnost v testu rozpoznávání běžných předmětů bez zrakové kontroly vykazuje mezi 3 a 6 lety určitý rozvoj. Autoři studie zahrnovali pouze stereognosii ruky. Podle studie nebyl rozdíl mezi preferovanou a nepreferovanou stranou (Benton a Schultz 1949). Se zvyšujícím se věkem se děti postupně při zkoumání předmětu orientují nejdříve podle celkového tvaru a později jsou schopné soustředit se kromě celkového tvaru i na jednotlivé části předmětu (Morrongiello et al. 1994).

Vývoj propioceptivního vnímání bylo zkoumáno u dětí předškolního věku pomocí Kinaesthetic Sensitivity Test (KST). „Kinaesthetic sensitivity test (KST) zkoumá pouze dva aspekty kinestezie a to tzv. kinestetickou paměť a kinestetickou přesnost.“ (kinestetická přesnost = kinaesthetic acuity, je v české terminologii pravděpodobně statestezie, viz kapitola 2.1.1.) (Laszlo a Bairstow, 1985 in Livesey a Parkes, 1995, 160) Tento test ukázal, že tříleté děti již mají tuto funkci poměrně dobře vyvinutou a v 5- 6 letech dosahují v rámci použitého testu velmi dobré výsledky. Výrazné zlepšení nastane mezi 7 a 8 lety, tedy na přelomu předškolního a mladšího školního věku. 8leté děti již zvládají tyto úkoly na stejné úrovni jako 12leté. Toto zjištění se shoduje další vývojovou studií, která zkoumaly propioceptivní vnímání a potvrzují, že nejvýznamnější zlepšení funkce nastává mezi 5 a 8 lety (Sigmundsson, Whiting, Loftesnes 2000, 348). Dunn et al. také zjišťuje, že děti předškolního věku mají v porovnání se staršími věkovými skupinami zdaleka nejméně vyzrálé funkce kinestezie, což se od 7 let věku poměrně výrazně zlepšuje, viz obr. 3. (Dunn et al., 2012)

Ze studie o roli propiocepce v programování a kontrole cíleného pohybu u 5-11letých dětí vyplývá, že dítě v 5 letech se teprve učí přesně využívat propiocepce. Více chybje, má-li korigovat pohyb pouze na základě zpětné propioceptivní vazby s vyloučením zrakové kontroly. Způsob, jakým různě staré děti plnily pohybový úkol bez zrakové zpětné vazby, naznačoval, že se postupně rozvíjí schopnost v kontrole pohybu nahradit zrakovou zpětnou vazbu propioceptivní (Hay et al, 2005, 141). Od 5 do 12 roku se dále zlepšuje propioceptivní vnímavost a pohybová paměť (Bertoti 2004, 66).



Obr. 3. Vývoj kinestezie v průběhu života jedince. Převzato z Dunn et al. 2012.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3662343/>

## 2.2. Posturálně – lokomoční funkce

### 2.2.1. Neurofyziologie motoriky

Základem veškeré motoriky je svalový tonus, který vzniká na podkladě podnětů z CNS a somatosenzorických receptorů. Svalová činnost má dvě složky, a to postojovou a pohybovou.

Motorická aktivita kosterních svalů má dvojí původ. Prvním je reflexní odpověď na podráždění určitého receptoru somatosenzorického systému, tedy myotatický reflex a obrácený myotatický reflex. Ve druhém případě motorická aktivita nastane bez účasti bezprostřední periferní stimulace smyslových orgánů a to pomocí tzv. generátoru vzorce pohybu. Vzniklý centrální motorický program spouští relativně jednoduché lokomoční a jiné rytmické pohyby, nebo složitější cílené volní pohyby (Králiček, 2011, 105 - 107).

### Postojová motorika

Je to udržení určitého postoje pro cílenou činnost. Ústředí přijímají informace prakticky od všech senzoričkových soustav, nejvíce však od propioceptivního, vestibulárního a zrakového. Patří sem postojové reflexy, vzpřimovací reflexy a umíst'ovací reakce. Na první dvě mají významný vliv vjemy z propioceptorů a taktilních čidel.

### Cílená mimovolní motorika

Generátor vzorce lokomočního pohybu vytváří rytmické pohyby (např. plavání, chůze). Pokud chybí aferentní signalizace z končetinových propioceptorů, cyklus je zpomalen a alternován. Proprioceptory napomáhají reflexně upravit motorický program tak, aby výsledný pohyb byl sladěn s terénem. Zrakové i somatosenzoričkové signály jsou v tomto případě modulovány v závislosti na fázi lokomoce (tzv. phase-dependent modulation). Do mimovolní motoriky patří dále obranné spinální reflexy, které jsou rovněž závislé na exterocepci a propiocepci. Zde se účastní i nociceptory (např. flexorový obranný reflex). Nocicepčním drážděním se vyvolávají také reflexy způsobující svalový spasmus, kdy aktivita nemá cílený charakter.

### Volní motorika

Již v přípravné fázi úmyslného pohybu se účastní somatosenzoričková korová oblast. Zadní parietální kortex uskutečňuje výběr a zpracování vhodné senzoričkové informace pro danou motorickou činnost. Pomocí informací z propioceptorů je mozeček schopen kontroly cílených pohybů. Mozeček detekuje, jak rychle a v jakém směru se část těla pohybuje a pomocí toho vypočte časový průběh dráhy pohybu po následující velmi krátký časový úsek. Díky tomuto předpovídání je např. schopen zastavit pohyb přesně v zamýšleném cíli.

#### **2.2.2. Systémy ovlivňující motoriku**

Současné teorie o posturální kontrole jsou založeny na přístupu, který předpokládá, že je ovládaná mnoha interreagujícími systémy.

### Aferentní vlivy

Na posturálně lokomoční funkce mají vliv především tyto smyslové systémy: zrakový, somatosenzorický a vestibulární. Poskytují informace o pozici a pohybu těla, obzvláště hlavy, v souvislosti s prostředím a naopak – o pozici a poloze prostředí ve vztahu k tělu.

Zrakový receptor detekuje světlo a umožňuje rozlišit objekty a překážky. Centrální zrakové pole je nejvíce používáno k orientaci, kde se jedinec v prostoru nachází, zatímco periferní vidění poskytuje informace o pohybu těla vzhledem k prostředí včetně pohybu hlavy, a o tzv. posturálním kolísání těla (postural sway). Zrak přispívá k anticipačním posturálním odpovědím a reakcím posturálního systému na narušení. Vestibulární systém vnímá pohyb jedince, orientaci vzhledem k vertikále, ovládá COG (těžiště), podílí se na stabilizaci hlavy. Při vnímání pohybu jedince napomáhá vestibulární systém rozlišit pohyb těla od pohybu okolí (O'Sullivan a Schmitz, 2007, 302 - 306). Somatosenzorické receptory, obzvláště z chodidel, kotníků, kolen, kyčlí, zad a krku poskytují informaci potřebnou pro statickou a dynamickou kontrolu. Např. prosté znecitlivění plosky chodidel zabrání jinak normálnímu jedinci stát na jedné noze. Somatosenzorický systém rozlišuje vlastnosti povrchu, na němž jedinec stojí a pozici a pohyb tělesných segmentů vůči sobě navzájem. Atituda, se kterou je spojena určitá aference z receptorů, navozuje tzv. „odheslování“ motorického programu. (Čápková in Čech, 2011a).

### Eferentní vlivy

Neuromuskulární a muskuloskeletální systém dovolují volní nebo reflexní pohyby v odpovědi na senzorní input a kognitivní systém interpretuje senzorní informace, aby zvolil a koordinoval motorické odpovědi v podobě postury a pohybu. Kognitivní percepce pohybu hraje podstatnou roli v posturální kontrole, což se potvrdilo podle výrazných reakcí jedince na iluzorní pohyb (Kandel et al, 2000, 829). Primární oblasti CNS, které ovládají motorický output, jsou kortex, bazální ganglia a cerebellum.

Zejména mozeček je významně propojen se smyslovými systémy. Je nutný pro adaptivní funkci posturální kontroly (Kandel et al., 2000, 825). Účastní se na udržení rovnováhy a vzpřímené polohy, regulaci svalového tonu, řízení a koordinace jednotlivých pohybů a koordinace. Se somatosenzorickým systémem je provázáno především neocerebellum a paleocerebellum.

Na řízení cílené motoriky se podílí zejména neocerebellum (Trojan, 2005, 74), které koordinuje pohyby na základě aference především z primárních motorických oblastí mozkové kůry o připravovaných volných pohybech a z proprioreceptorů svalů prostřednictvím míchy o momentálním stavu napětí svalů. Ovlivňuje iniciaci pohybu, kontrolu a ukončení pohybu. Paleocerebellum reguluje především svalový tonus a k tomu musí analyzovat informace z proprioreceptorů při svalovém pohybu a změnách svalového napětí. Předpokládá se, že mozeček dostává jakousi kopii povelových vzorců, které motorická kůra vysílá během realizace pohybů k motoneuronům. Tuto informaci porovnává se skutečným stavem pohybu v periférii, která je registrována proprioreceptory. Jestliže se tato část nepohybuje podle „zamýšlení“ kortexu, paleocerebellum rozpozná vzniklou diskrepanci a zásahem do aktivity neuronů sestupných motorických drah dovede rozdíl upravit. (Králíček, 2011, 113)

Informace z motorických příkazů kortikálních oblastí, které plánují (area 6, suplementární motorická oblast a premotorická oblast) a vykonávají motorické akce (area 4, primární motorická oblast), se převádí opět do somatosenzorické oblasti, která se účastní zpracovávání výsledných vjemů.

### **2.2.3. Somatosenzorický systém v porovnání s vestibulárním a zrakovým aparátem v posturálně-lokomočních funkcích**

Zdá se, že v dospělosti neexistuje hierarchie senzorických systémů v účasti na řízení posturální orientace a stabilizace. Selektce hlavního systému pro kontrolu postury se děje v závislosti na konkrétním pohybovém úkolu (kontextově specifický způsob) a stadiu vývoje jedince (Hirabayashi a Iwasaki 1995, 111). Je podstatné, jak se v kterých situacích jednotlivé smysly kontroly rovnováhy účastní.

Předpokládá se, že somatosenzorické inputy mají největší vliv na samotnou detekci kolísání těla (body sway) (Mallau et al., 2010) a hrají hlavní roli zejména v jednoduchých pro jedince známých situacích, kterým je pro dospělého např. stoj na stabilním povrchu. Zraková informace je zde spíše doplňková, na rozdíl od situace pro jedince nové, kdy je zrak důležitější než somatosenzorická informace. Vestibulární systém napomáhá vyřešit intersenzorický konflikt tak, že potlačuje smysl, který s vestibulárními informacemi nesouhlasí (Hirabayashi a Iwasaki 1995, 113). Zastává tuto rozhodující funkci proto, že ovládá pozici COG (centre of gravity) (Steindl et al., 2006, 481). Malé děti se v senzorickém konfliktu orientují spíše pomocí

zraku, což může být způsobeno tím, že funkce vestibulárního systému dozrávají pomaleji než druhé dva systémy (Bair et al. 2007, Steindl et al., 2006).

Nestabilita v rovnováze člověka je velmi brzo registrována proprioceptory, které odpovídají na pohyb a svalové protažení, dále je registrováno lineární a úhlové zrychlení hlavy. Zrakové inputy zřejmě ovlivňují pozdější stabilizující reakce, které probíhají až po iniciálních korekcích rovnováhy (Allum et al., 1998). Vestibulární a proprioceptivní signály oba přispívají k modulaci odpovědi svalové synergie.

Zjišťovalo se, jaký vliv mělo rozdílné vyvažování vestibulárních a proprioceptivních inputů na aktivitu různých skupin svalů. Pro korekce rovnováhy je třeba interakce proprioceptivní a vestibulo- spinální modulace. Některé svaly jako musculus triceps surae zjevně obdrží zanedbatelnou vestibulární modulaci při narušení stoje, zatímco jiné jako m. quadriceps femoris a m. tibialis anterior jsou ovlivněny vestibulárními inputy již po 80- 120 ms. Proprioceptivní napínací reflex a vestibulo- spinální reflexy spolupracují při natažení kolen a opětovném srovnání těla.

Předpokládá se, že podíl vestibulárního signálu na posturální kontrole bude převažovat ve většině dynamických situací (Assainte et al., 2005). Pokud je vestibulární systém hypofunkční nebo chybí, je prokázáno, že somatosenzorický systém nedovede vestibulární systém kompenzovat (Peterka a Benolken, 1995, 107). Naopak ale studie profesionálních gymnastů ukazují, že využití vestibulárního aparátu lze zlepšit specifickým tréninkem, jenž dovede do jisté míry kompenzovat chybějící somatosenzorické funkce (Mallau et al., 2010, 10). Horak et al. se domnívají, že vestibulární a somatosenzorický systém ovlivňují volbu posturální strategie při narušení rovnováhy. A to sice tak, že ztráta somatosenzorické informace z chodidel a kotníků vede k většímu používání kyčelní strategie, kdežto při ztrátě vestibulárního aparátu jedinec přestává používat kyčelní strategie (Horak, Nashner, Diener, 1990, 167).

#### **2.2.4. Postura a lokomoce**

Postura je aktivní dynamické držení těla proti působení zevních sil. Posturální stabilizace znamená neutrální (centrované) postavení a tedy biomechanicky optimální zatížení kloubů. Lokomoce je definována jako proces pohybu z místa na místo. Lokomoce obsahuje základní model sagitální stabilizace, přičemž vůdčí při lokomoci je optická kontrola a motivace. Principem lokomoce je diferenciací ná kročné a oporné funkce. Probíhá v ipsilaterálním nebo kontralaterálním vzoru (stejnostranné končetiny vykonávají v tentýž okamžik stejnou/různou



funkci – náročnou nebo opěrnou). Vzor se projevuje na vzájemném postavení os pletence ramenního a pánevního, které rotují stejným nebo opačným směrem (Valouchová, Kapečka, Truc, 2014).

Posturálně- lokomoční systém musí plnit tři hlavní úkoly. Prvním je udržení stabilního postoje jedince proti působení vnějších sil, zejména gravitace – jedinec musí dokázat lokalizovat a zvládnout těžiště (centre of gravity, COG) v rámci opěrné báze. V některých zdrojích je toto popisováno jako schopnost rovnováhy (balance), anebo posturální kontrola (postural control), protože obsahuje ovládnání pozice nebo postury těla v klidu (statická balanční schopnost) či při pohybu (dynamická balanční schopnost) (Kandel et al, 2000, 830). Do posturálně - lokomočních funkcí patří schopnost předvídat volní cílené pohyby a podle toho reagovat, aby nedošlo k pádu, schopnost se přizpůsobit různým podmínkám. Posturu chápe Kandel et al. jako relativní pozici segmentu těla vzhledem k pozici jiného segmentu, k okolí jedince a vzhledem ke gravitačnímu poli, používá tedy definici blízkou popisu toho, co vnímá jedinec pomocí somatognosie (Kandel et al., 2000, 817).

Posturální kontrola a rovnováha závisí na interakci senzorické organizace (integrace), motorické koordinace a biomechanice muskuloskeletálního systému (Lee et al., 2004, 719). Kolář et al. (2009) pod posturálně lokomoční funkce zařazuje posturální stabilitu, posturální stabilizaci a posturální reaktivitu. V rámci zahraničních zdrojů použitých v této práci se posturálně-lokomoční funkce popisují zejména pojmy postural control, balance control a movement control.

Na posturální narušení je nejjednodušší odpovědí systému automatický reflex, ale ty zcela nepostačují pro posturální kontrolu během složitých cílených pohybů (Kandel et al, 2000, 817). Složitější anticipační odpovědi se musí systém naučit, ale mohou následně také pracovat automaticky a spouští je specifický zaměřený pohyb (Kandel et al, 2000, 830). Základními a nejprozkoumanějšími strategiemi posturální kontroly je kotníková (především ve stoji), kyčelní (pokud se těžiště dostane rychle mimo opěrnou bázi, neočekávaně se hne laterálně, nebo je zakolísání větší) a strategie kroku (změna opěrné báze, pokud je hranice stability překročena) (O'Sullivan a Schmitz, 2007, 307).

### **2.2.5. Vývoj posturálně-lokomočních funkcí od 3 do 6 let**

Podle Bertoti se předškolní věk vyznačuje periodami stability a obdobími procvičování a zjemňování pohybů, která se prolínají s fázemi změn nebo přechodů, které vyžadují vývoj

nově upravovaných posturálních strategií. Shumway- Cook a Wollacott se domnívají, že dítě od 4 do 6 let vykazuje pomalejší a variabilnější posturální odpovědi než batolata a děti od 7 do 10 let, nastává tedy podle nich určité zhoršení posturální kontroly (Shumway-Cook a Wollacott, 2007, 203).

V předškolním věku se dokončuje myelinizace pyramidových drah, dozrávají funkce mozečku – rovnovážné schopnosti, jemná motorika a řeč, a uzrávají korové funkce. Charakteristický je vývoj obratnosti a motorické koordinace, mimo jiné na základě nasbíraných posturálních zkušeností. Dále se kvalitativně i kvantitativně rozvíjejí hybné stereotypy. Zkvalitňují se komplexní pohyby, což se projevuje v osamostatnění pohybů končetin od souhybů celého těla. Dochází ke zlepšení celkové dynamické koordinace cyklických a acyklických pohybů. U dítěte během vývoje dochází k postupnému vytváření posturálních strategií kdy, co a jak, a to z prostých biomechanických důvodů anebo v závislosti na zrání CNS a dalších systémů. Ve vývoji posturální a lokomoční rovnováhy se považuje za důležitý bod 6-7 let (Assainte, 1998, 529; Assainte et al. 2005, 114).

### **2.2.5.1 Vývoj řízení pohybů v souvislosti se somatosenzorickým systémem**

Během pohybu se uplatňuje podle Hay et al. trojí způsob řízení (Hay et al., 2005). Jedním je periferní mechanismus (tzv. feedback), který se účastní např. opravování pohybu. Pro feedback kontrolu musí CNS znát stav efektoru v prostoru v předcházejícím okamžiku. Druhý způsob je řízení pomocí centrálního mechanismu programování (tzv. feedforward), a třetí je tzv. on-line mechanismus, kdy je CNS monitorován okamžitý stav efektoru a ovlivňuje zejména přesnost a regulování rychlosti pohybu. K řízení typu feedforward potřebuje CNS přesné informace o stavu efektoru před pohybem, obzvlášť o jeho prostorovém umístění. Na feedforward řízení závisí anticipační odpověď. Centrální příkaz k volnému pohybu je propojen se simultánním příkazem, který předvídá očekávané posturální narušení. Posturální chování v odpovědi na neočekávané posturální narušení zprostředkuje feedback řízení. Všechny tyto typy řízení pomáhá zajistit somatosenzorický systém společně se zrakovým a vestibulárním v závislosti na podmínkách.

Hay et al. dospěla k teorii, že nejprve u dítěte převládá feedforward řízení a následuje tzv. přechodné období kolem 7-8 roku věku, kdy se postupně zdůrazňuje dynamická kontrola on-line a kontrola s pomocí zpětné vazby ze senzoričtých systémů, tedy feedback. Přechod

k řízení s pomocí percepce pohybu v jeho průběhu zmiňuje i Vařeka (Vařeka, Vařeková 2009, 136).

Své tvrzení dokládá Hay et al. výsledky ze studie cílených pohybů bez zrakové kontroly, tedy závislých převážně na somatosenzorickém systému. V testu sériového zasahování terčů 7-9leté děti dosahovaly v jednom aspektu testu překvapivě horších výsledků než 5leté a 11leté děti. Hay tuto skutečnost vysvětluje tak, že pětileté děti se spoléhají především na programování pohybu a tak se jim často povede dosti dobře „balistickým způsobem“ odhadnout vzdálenost, kam se mají střelit. Nemají ale tak dokonalou terminální přesnost pohybu (která určuje přesnost zásahu a která se dle Hayové vyvíjí u dětí poměrně lineárním způsobem). Hay také dokazuje, že v pozdějším věku jsou děti čím dál méně závislé na statické informaci o umístění efektoru před pohybem a dokáží tedy lépe pohyb modulovat v jeho průběhu, v závislosti na aferenci somatosenzorických informací.

#### **2.2.5.2 Vývoj stabilizace segmentů v posturální kontrole**

Dle Assainte et al. kontrola rovnováhy a prostorové orientace vyžadují ustanovení referenčního stabilního rámce – určitého tělesného segmentu. Tělesný segment může být buď pevně stabilizován na jiném segmentu - *en bloc* způsobem, nebo tzv. artikulovaně. První způsob omezuje počet segmentů, který je nutno ovládat v jeden okamžik. Druhý způsob vyžaduje ovládnutí několika na sebe navazujících segmentů, a tedy vyžaduje ovládnutí stupňů svobody v příslušných kloubech, které je třeba mít současně pod kontrolou (Assainte et al, 2005, 110). Koncept stabilizace segmentu artikulovaným způsobem, tj. nezávisle na segmentech s ním spojených, se podobá Kolářově popisu dovednosti selektivně izolovaného pohybu části těla (Kolář et al. 2009, 91).

Nutnost stabilizovat segmenty dítě vede k postupnému vybudování posturálních strategií. Zároveň se jedinec musí naučit vybrat tu nejadekvátnější strategii pro daný okamžik a to záleží na schopnosti předvídat konsekvenci pohybu, na což mají značný vliv aferentní signály a mozeček. Vývoj této schopnosti (anticipační kontrola) začíná časně, ale dozrává zvolna. O'Sullivan a Schmitz píše, že okolo 4- 6 let by měly být v zásadě zralé anticipační posturální odpovědi ve stoji (O'Sullivan a Schmitz, 2007, 348).

Během života se objevují dle Kandela et al. a Assainte et al. dva směry vytváření posturálních odpovědí, a to buď od hlavy k trupu, kdy hlava je referenčním rámcem a řídicí roli v orientaci má vestibulární systém (Kandel et al., 2000, 830; Assainte et al, 2005, 110), nebo

od trupu, respektive od stabilizovaného segmentu, k hlavě. Organizace v kefalokaudálním směru nastává dle Kandela et al. ve chvíli, když má pohyb vysokofrekvenční složky, jako při běhu. V opačném směru, kdy jsou referenčním rámcem kaudálnější segmenty, jsou organizovány pohyby pomalé frekvence a nižší amplitudy úhlového rozpětí pohybu, jako při např. změně směru v chůzi. V opoře se jedinec spoléhá hlavně na proprioceptivní a kožní informaci z efektorů a dočasně organizuje rovnováhu od nohou resp. opěrného bodu k hlavě (Assainte a Amblard, 1995, 16).

Assainte et al předpokládají, že ve vývoji posturální kontroly se tyto dva typy organizace objevují postupně. Od narození se začíná vyvíjet posturální odpověď v kefalokaudálním směru, tj. nejprve je dítě schopno kontrolovat hlavu a pak ostatní segmenty. V batolecím a předškolním věku, kdy se dítě převážně pohybuje bipedálně, bývá posturální kontrola (balance control) organizována vzestupně od chodidel k hlavě (ve stoji) a také od pánve k hlavě (v pohybu). Tato ascendentní organizace vyplývá dle studie z *en bloc* pohybu jednotky hlava- trup, která nastává za pro dítě náročnějších posturálních podmínek, viz odstavec níže.

Assainte a Amblard zjišťují, že 2- 6 leté dítě při pokusu udržet rovnováhu na plošině, která se vychyluje v horizontálním směru, tzv. blokuje pohyby v krčních segmentech. To bylo ověřeno pokusem, který potvrdil, že pohyby hlavy a trupu při testu rovnováhy korelovaly, což vedlo k předpokladu, že hlava a trup jsou spojeny *en bloc*. Okolo 7 let dítě již zvládá artikulovaný pohyb jednotky hlava - trup v náročnějších posturálních úlohách (Assainte a Amblard, 1995, 14). Testy také ukazují, že 7 – 10 leté děti dovedou lépe izolovat pohyb předloktí od pohybu trupu než děti od 4 do 6 let (Assainte et al, 2005, 115). Na základě těchto zjištění se tedy dá říci, že po předškolním věku se zlepšuje schopnost izolovaných pohybů v náročnějších posturálních podmínkách.

### Stabilizace trupu

Referenčním rámcem pro kontrolu rovnováhy těla v počínající bipedální lokomoci dítěte se nejdříve stává pánev. Schopnost stabilizace pánve je nutný předpoklad pro samostatnou chůzi v prostoru. Kontakt s oporou je během bipedální lokomoce intermitentní, dolní končetiny tedy nemohou sloužit jako stabilní referenční rámec pro organizaci rovnováhy celého těla. Assainte et al. zjistila, že 3- 4 leté děti dovedou stabilizovat pánev i ramena v prostoru, pokud chodí na rovném povrchu. Pokud se ztíží podmínky, ztratí stabilizaci ramen, která se navrátí za cenu destabilizace pánve. Děti 5- 6 leté dovedou na rovném povrchu stabilizovat tělesné segmenty stejně dobře jako 3- 4 leté, ale pokud dojde k náhlé destabilizaci

pánve (např. nárazem), nedokážou v odpověď tak dobře zastabilizovat ramena jako 3- 4 letí. V tomto věkovém rozmezí tedy dojde k určité regresi ve vývoji stabilizace tělesných segmentů.

Sedmiletí již dovedou na rovném povrchu stabilizovat hlavu, ramena i pánev nezávisle na sobě. Na úzké kladině ale nedovedou ještě stabilizovat ramena. Stabilizace ramen nezávisle na trupu dle Mallau et al. nastává až okolo 10 let. Ve věku 5 let a více zůstává podle Mallau et al. způsob stabilizace pánve a trupu stejný nezávisle na věku a zrakových podmínkách (Mallau et al 2010, 7).

### Stabilizace hlavy

Vědomí o pozici hlavy ve vztahu k prostředí je důležité pro stabilizaci zrakového signálu, zatímco vědomí pozice hlavy vůči tělu je důležité pro zvládnutí vzpřímené postury (Kandel et al, 2000, 817). Hlava je segment nesoucí vizuální a vestibulární senzory, které hrají důležitou roli v kontrole posturální a lokomoční rovnováhy. Předpokládá se, že stabilizace hlavy v prostoru vzniká hlavně na základě vestibulární informace. V odpovědi na pohyb, který pravděpodobně rovnováhu naruší, se organismus bude snažit minimalizovat pohyby hlavy, aby se zlepšila senzoričká zpětná vazba z hlavy (Assainte a Amblard, 1995, 17- 18). Je možné hlavu stabilizovat zafixováním pomocí svalů krku (Assainte a Amblard toto nazývají *en bloc*), nebo artikulovaně s volnými krčními segmenty.

Dospělí dovedou stabilizovat hlavu artikulovaně během různých pohybových úkolů a vytvořit tak pevný referenční rámec pro vestibulární ústrojí a zrak. Děti do 6 let dovedou stabilizovat hlavu „v prostoru“ pouze při chůzi po rovném terénu. Při ztížených podmínkách (např. při chůzi po kladině) používají *en bloc* stabilizaci hlavy na trupu. Již šestileté děti začínají hlavu systematicky stabilizovat v závislosti na různých podmínkách. 7 leté děti už dovedou stabilizovat hlavu v prostoru i při chůzi po kladině. Mallau et al. testovala stabilizaci segmentů u 5- 15 letých dětí a dokázala, že děti jsou schopny hlavu stabilizovat ještě dříve než v 7 letech, používala však při testování nízké oscilace plošiny, na níž dítě stálo, což nepředstavuje tak zásadní narušení rovnováhy jako chůze po kladině (Mallau et al, 2010, 11).

### Stabilizace segmentů při chůzi

Vývoj chůze znamená nalezení kompromisu mezi impulsem pohybu těla vpřed, což je výrazně destabilizační síla, a potřebou zvládnout laterální stabilitu těla. U dítěte učícího se chodit je nejtěžším balančním úkolem naučit se nést váhu celého těla na jedné noze. Jak již bylo

řečeno, dítě začíná stabilizací pánve a ramena se stabilizují po dvou měsících samostatné chůze (Assainte et al, 2005, 111). Na hlavu se čeká déle, více než 11 měsíců. Chůze zraje právě v předškolním věku. (Bertoti, 2004, 345)

### **2.2.5.3 Motorické dovednosti dítěte 3- 6 let**

Hrubá motorika dítěte se kvantitativně již nerozvíjí tak rychle jako v prvních třech letech. Ve třech až čtyřech letech by dítě mělo zvládnout vykonat některé posturální úkoly bez zrakové kontroly, např. by mělo udržet při zavřených očích rovnováhu ve stoji výkročném. Ve 3- 4 letech již také zvládá rovnováhu na jedné noze při očích otevřených, což souvisí s lepší stabilizací těla v chůzi. U cca čtyřletého dítěte dojde k fixaci vyzrálého stereotypu chůze, třebaže její energetické nároky jsou stále vyšší než u dospělých (Vařeka a Vařeková, 2009). Bertoti označuje začátek vyzrálé chůze až okolo 7 let (Bertoti, 2004, 345). Vyzrálý stereotyp chůze obsahuje úder paty při počátečním kontaktu nohy s podložkou, odvíjení palce, flexe v kolenní v mezistoji, reciproční pohyby dolních končetin, stejnou délku kroku, reciproční pohyby horních končetin a zúžení opěrné báze na šířku pánve.

Jakmile dovedou děti stát na jedné noze, zdokonalují kopání míčem na cíl. Při chůzi do schodů 3- 4 leté dítě střídá nohy, ze schodů dokáže jít bez držení. Zdokonaluje se ve skocích: seskočí z nejnižšího schodu a přeskočí z rozběhu překážku 20- 25 cm nad zemí. Se zlepšující se koordinací souvisí dovednost ježdění na tříkolce a jízdy na kole, která navíc klade další požadavky na rovnováhu.

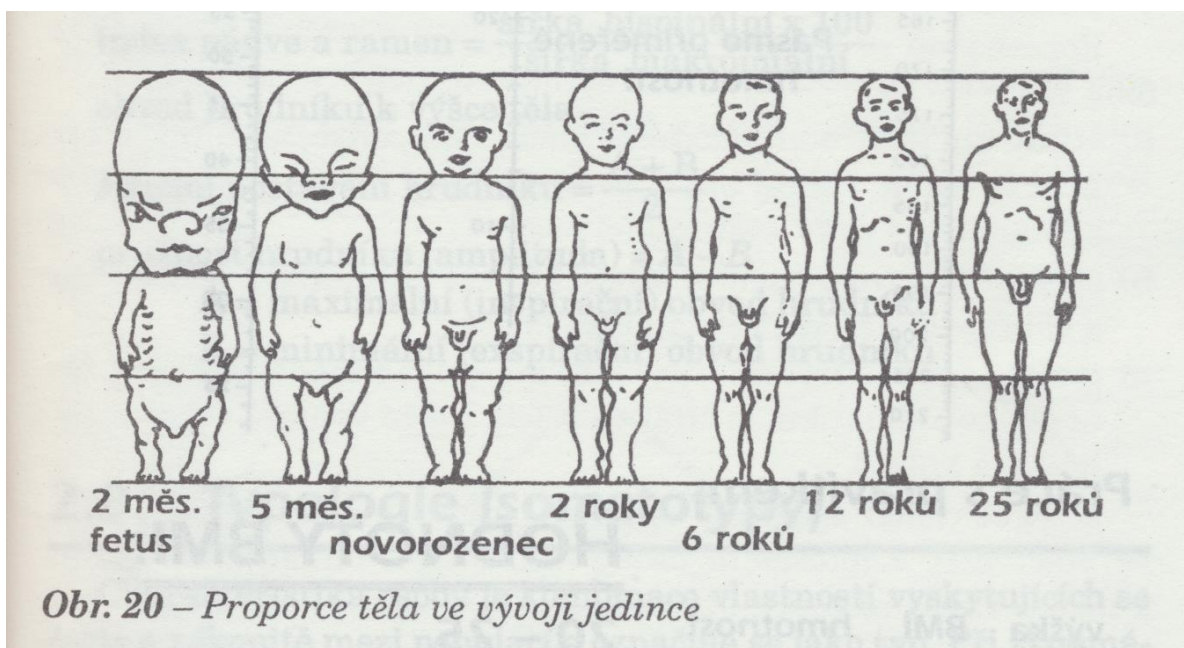
Ve 4- 5 letech rozvoj koordinace a rovnováhy pokračuje. Dítě chodí po šikmé ploše a leze na žebřík. Chodí po schodech nahoru bez držení. Dokáže také stát chvíli na špičkách a udržuje rovnováhu, v 5 letech už ujde po špičkách asi 3 m. Ve 4 letech dokáže stát na jedné noze asi 15 s, na jedné noze už také umí skákat po čáře a překonat tak cca 5 m. Umí vykonat kolem 5 poskoků ihned za sebou. Zlepšuje se koordinace rukou a zraku, takže se zdokonaluje házení a chytání míče. Zvládá postupně jezdit na bruslích, na lyžích a plavat.

V 5-7 letech by mělo dítě zvládnout udržet bez zrakové kontroly rovnováhu na jedné noze s druhou ve flexi v kolenní. Udržuje rovnováhu na jedné noze a na špičkách. Dále dovede přejít šikmou plochu ve výšce 15 cm. Zlepšuje se koordinace ve skocích – dítě seskočí ze židle bez držení, přeskočí sounož šňůru ve výšce 20 cm a pokouší se skákat přes švihadlo.

## 2.3. Růst a vývoj dítěte:

### 2.3.1. Růst dítěte v předškolním věku

Až do 4 let dítěte převládá přibírání na váze nad rychlostí růstu do délky. Na váze přibírají děti 1, 4 až 2, 3 kg ročně a v průměru váží 13,6 až 17, 2 kg. V předškolním věku dítě vyroste celkem cca o 20 cm a jeho roční výškový přírůstek je 5- 7,6 cm. U pětiletého a staršího dítěte se již tak rychle a výrazně nemění poměr délek končetin, trupu a hlavy. Změny proporcí těla v růstu viz obr. 4.



Obr. 4. Převzato z: Haladová, Nechvátalová: Vyšetřovací metody hybného systému, IPV Brno, 1997

V předškolním období, konkrétně ve 4 letech, Kolář poukazuje na dozrávání posturální funkce fázických svalů, což má zásadní vliv na morfologický vývoj skeletu, např. na vytvoření nožní klenby (Kolář in Kraus et al, 2005, 95). Ve čtyřech letech dítěte je také ukončena zralost CNS pro hrubou motoriku (Kolář, 2002, 107). Anatomická stavba dětského pohybového systému je odlišná od dospělého a klíčové je dokončování morfologického vývoje struktur pohybového aparátu právě v předškolním věku, o čemž pojednal Dylevský v knize *Dětský pohybový systém* (Dylevský, 2012, 53- 141). Stavbu struktur pohybového systému popsal na příkladu dětského loketního kloubu, který bude uveden i zde.

### **2.3.2. Stavba pojivových tkání dítěte**

Největší změny dětský loketní kloub prodělává mezi 1-5 rokem. Do pěti let dítěte je synoviální vrstva kloubního pouzdra těsně a pevně spojena s vazivovou vrstvou pouzdra a až poté se diferencuje silnější vrstva subsynoviálního vaziva. Pouzdro je na konci 3. roku delší a kloubní dutina prostornější. Toto uvolnění kloubního pouzdra probíhá zároveň s tvarovou přestavbou kloubních konců zúčastněných kostí, především olecranon ulnae. Z kinetického hlediska se těmito morfologickými změnami postupně zvětšuje pohyblivost loketního kloubu, ale zároveň se omezuje možnost jeho hyperextenze.

### **2.3.3. Klouby**

Tvarový vývoj základních komponent dětského loketního kloubu je v pěti až sedmi letech v podstatě ukončen. Z morfologického hlediska samozřejmě pokračuje vývoj kostěných komponent kloubu a diferenciací fibrózní i synoviální vrstvy kloubního pouzdra. Po 5-7 roce nastává období charakteristické zejména morfologickým vývojem celé loketní krajiny, především svalových začátků a úponů, a kineziologickým vývojem kloubu. Kinetika dětského loketního kloubu se vyvíjí tak, že u dětí do 5 let je možné sledovat mírný pokles rozsahu flexe a pronace. Asi do 4 až 5 ti let chybí těsná vazba kloubního pouzdra a m. supinator. Také např. m. pronator teres je svým začátkem v tomto věkovém období ve zcela jiném postavení než u starších dětí.

### **2.3.4. Svalový systém**

Histodiferenciací a především růstové a proporční změny jednotlivých svalů pokračují v základním kontextu až do 7 let věku dítěte. Zásadní rozdíl myologie rostoucího a dospělého organismu je kromě velikosti a hmotnosti jednotlivých svalů v proporcích sval- šlacha, ve vnitřní struktuře svalových bříšek (v uspořádání a zpeření vláken) a v prostorové orientaci rostoucího a diferencujícího se svalu (tj. ve vztahu začátek - úpon – osa/osy kloubů).

Proporce svalového bříška a šlachy se mění v poměrně dlouhém časovém intervalu mezi 18 měsíci a 7 roky věku dítěte. Např. u m. gastrocnemius se stabilizuje poměr délky šlachy a bříška na 1: 2 až 1: 2,3 mezi 6. a 7. rokem života. Lze odvodit, že zhruba v 7 letech se stabilizuje konečný poměr svalového bříška a obou úponových šlach.



V 7 letech dozraje i zpeřenost svalů. U dítěte předškolního věku se přetváří vnitřní struktura. Platí, že v 7 letech je náběhový úhel vláken svalu na vlákna šlachy zhruba stejný, jako u dospělých. Assainte uvádí, že EMG m. gastrocnemius dosahuje finální velikosti amplitudy v 5- 6. roce věku (Assainte a Amblard, 1995, 529).

### **3. CÍLE A HYPOTÉZY**

Cílem této práce je zjistit pomocí rešerše, jak u předškolního dítěte souvisí vývoj posturálně lokomočních funkcí a vývoj somatosenzorického systému. Dalším cílem je vyhledat testy somatosenzorického systému, které lze použít u předškolních dětí a nalézt ve zdrojích, do jaké míry mohou mít výpovědní hodnotu o kvalitě posturálně- lokomočních funkcí dítěte. Součástí této práce je kazuistika předškolního dítěte zaměřená na testy somatosenzorického systému.

## 4. METODIKA

Pro teoretický podklad k této práci byly nejprve sepsány poznatky z oblasti ontogeneze a fyziologie motorického a somatosenzorického systému. Dále byl popsán růst a vývoj dítěte se zaměřením na tělesný růst a anatomický vývoj pohybového systému. Poté byly vyhledány studie související se somatosenzorickým systémem v kontextu posturálně- lokomočních funkcí ve vývoji dítěte. Tato práce čerpala především z elektronických databází PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, kde byly vyhledány odborné články v specializovaných časopisech (*Computers in Biology and Medicine, Gait and Posture, Medical Rehabilitation, Journal of Bodywork and Movement Therapies, Developmental Medicine and Child Neurology, Acta Otolaryngologica, Brain and Development, Medicína po promoci, Pediatrie v praxi*), dále z vybrané literatury a časopisů.

V databázích byly vyhledány články podle klíčových slov předškolní věk, somatosenzorický systém, propriocepce, kinestezie, statestézie, stereognosie, somatognosie, posturální kontrola (postural control) a balance. V kapitole o testech somatosenzorického systému jsou uvedeny testy s použitím přístrojů i bez nich. Na základě získaných vědomostí se odebírala anamnéza v příložené kazuistice a byly prakticky otestovány funkce somatosenzorického systému a pohybové funkce u předškolního dítěte. Testy somatosenzorického systému byly vybrány na základě této rešerše, s přihlédnutím k individuálním možnostem sledovaného dítěte.

## 5. VÝSLEDKY REŠERŠE

Na zákonitosti vývoje posturální kontroly v souvislosti se sensorickou aferencí se objevují ve studiích dva různé směry. Jeden se zaměřuje na upřednostňování jednoho sensorického systému nad druhým v určitém stadiu vývoje, druhý v souvislosti s vývojem posturální kontroly zkoumá spíše stupeň vývoje sensorické integrace. Obě hypotézy jsou zařazeny do témat diskuse. Témata jsou uvedena zde:

1. Jak souvisí tělesný růst dítěte se zráním a využíváním somatosenzorického systému? 2. Jak souvisí využívání somatosenzorických signálů se sensorickou integrací, která se také významně vyvíjí v předškolním věku? 3. Jaký podíl mají v období předškolního věku somatosenzorické funkce na posturálních funkcích v porovnání se zrakovým a vestibulárním aparátem a jak lze jejich vliv odlišit? 4. Souvisí s vývojem somatosenzorického systému odlišné posturální chování předškolního dítěte a dospělého při pohybu? Existuje přímá korelace mezi kvalitou somatosenzorické funkce a kvalitou posturálně- lokomoční funkce dítěte? 4. Jak lze testovat somatosenzorický systém u předškolního dítěte? Témata budou probrána v rámci diskuse.

## 6. DISKUSE

### 6.1. Růst dětského organismu a jeho vliv na somatosenzorické funkce

Předpokládá se, že tělesné rozměry jedince přímo ovlivňují jeho schopnost posturální kontroly. Růst, velikost tělesných segmentů a tzv. somatotyp jsou u lidského druhu dosti variabilní faktory. Na využívání somatosenzorického systému v řízení pohybu má tělesný růst podstatný vliv. „Muskuloskeletální faktory, např. tělesná asymetrie, mohou výrazně ovlivnit schopnost rovnováhy.“ (O’Sullivan a Schmitz, 2007, 308) Posturální odpovědi dítěte jsou odlišné od dospělého vzhledem k jiným antropometrickým parametrům. Děti mají např. těžiště umístěno výše, okolo 12. hrudního obratle, což ztěžuje statickou rovnováhu (O’Sullivan a Schmitz, 2007, 348)

Struktury pohybového systému obsahují receptory somatosenzorického systému, které mají za úkol informovat o změnách v dané struktuře během pohybu. Autoři některých studií se domnívají, že poměrně rychlé fyzické změny během růstu mají za následek to, že pro CNS je somatosenzorické vnímání méně spolehlivé (Mallau et al, 2010, 2). Mozek se totiž musí kontinuálně adaptovat na měnící se rozměry tělesných segmentů, změnu struktury svalů apod. Dítě se navíc vyvíjí poněkud disproporcionálně a to zejména během růstové akcelerace, neboť jednotlivé tělesné segmenty rostou nerovnoměrně, např. nohy rostou rychleji než ruce. Na somatosenzorický systém není tedy takové spolehnutí při výběru motorických programů. Shumway – Cook a Wollacott této disproporcionalitě v růstu připisují důležitou roli v zhoršení schopnosti posturální kontroly dětí mezi 4- 6 lety věku (Shumway- Cook a Wollacott, 2007, 203).

Velké morfologické i funkční změny organismu během období dětství a dospívání mohou vést jedince k podužívání informací získaných z propiocepce na úkor informací zrakových. Prokázalo se, že nedospělí jedinci jsou více závislí na zrakových informacích než dospělí, což vedlo k teorii, že v období výrazného růstu nastává tzv. neglect propioceptivních informací v senzorní integraci týkající se posturální kontroly (Assainte et al., 2005, 116). Důsledkem této skutečnosti je i určité narušení tělesného schématu v období intenzivního růstu, protože tělesné schéma je závislé na integraci zrakových, somatosenzorických a vestibulárních informací. Mallau et al. ukázala na studii posturální stabilizace dětí od 5 do 15 let, že nejvíce je kvalita pohybů snížena u nejmladších a nejstarších probandů. Tyto věkové skupiny spadají do období intenzivního tělesného zrání (Mallau et al., 2010, 11).

V často zmiňovaném přelomovém období okolo 7 let je souslednost určité stabilizace v morfologickém vývoji struktur a zároveň změny v posturálně lokomočních funkcích z hlediska řízení posturální kontroly a stabilizace segmentů. Je možné, že právě tehdy získává CNS kvalitnější podmínky, aby mohl začít zdokonalovat své adaptační odpovědi v posturálně-lokomočních funkcích.

## **6.2. Senzorická integrace somatosenzorických signálů v posturálně-lokomočních funkcích**

Senzorická organizace je jedním z procesů, které tvoří základ posturální kontroly. Jedná se o integraci jednoho nebo více orientačních smyslů (zrakový, somatosenzorický a vestibulární). Kolář et al. nahlíží na proces sensorické integrace jako na schopnost mozku registrovat, roztrždit, integrovat, filtrovat a koordinovat sensorické podněty a vytvářet pro ně adekvátní adaptační odpověď (Kolář et al., 2009, 309).

Senzorická integrace je v posturální kontrole nutná, protože informace z jediného systému neumožní CNS rozlišit specifické pohyby a pozice (O'Sullivan a Schmitz, 2007). Například pouhé informace ze somatosenzorického systému nestačí k rozlišení mezi naklánějícím se tělem a naklánějící se oporou, a zrakový a vestibulární systém nedovedou samotné rozlišit pohyb těla od pohybu okolí. Centrální zpracování je obzvláště důležité v případě, že vznikne sensorický konflikt a z různých systémů přicházejí nesourodé informace. Je-li dostupná zraková informace současně s proprioceptivní, jak dospělý, tak dítě si vedou lépe než v případě, že mají k dispozici pouze zrak či somatosenzorické informace (Smyth and Mason, 1998, 673). Bair et al. předpokládá, že tato skutečnost neplatí pro děti s poruchou vývojové koordinace (DCD- developmental coordination disorder), které lépe plní úkoly, pokud přijímají informace od menšího počtu sensorických systémů zároveň – tyto děti mají tedy postiženou sensorickou integraci (Bair et al, 2012, 16).

Aby mohl CNS integrovat multisenzorické informace, neustále mění svůj důraz (weight) na zrakové, vestibulární a somatosenzorické informace, aby byl při měnících se podmínkách zachován vzpřímený stoj. Tato kontinuální změna v důrazu (tj. reweighting) vyžaduje komplexní propočty – CNS potlačuje (down-weights) nespolehlivé sensorické informace a současně vyzdvihuje spolehlivější sensorické stimuly a podle toho se tvoří posturální reakce. Toto vyvažování se dělí na tzv. intra-modal reweighting (CNS pracuje s informacemi z jednoho sensorického systému), a inter-modal reweighting (vztahující se více

než k jednomu sensorickému systému). Ukazuje se, že zralá posturální kontrola vyžaduje propojení mezi mechanismem integrace (adaptivním vyvažováním - adaptive reweighting) a vyvinutou schopností předvídat sensorické konsekvence pohybu těla, které závisí na somatosenzorické informaci (Bair et al. in Mallau et al, 2010, 2).

Třebaže děti již od raného věku dovedou využívat sensorické informace z více zdrojů, jejich optimální integraci (tj. obojí intra-modal a inter-modal reweighting) dítě začne zvládat dle Baira et al. až okolo 10. roku věku. První zraje schopnost tzv. intra – modal reweighting, která se u zdravého dítěte vyvíjí již krátce po 4. roce věku, a to u zrakových a hmatových informací (touch) (Bair et al., 2012). Zde je nutné poznamenat, že Bair přesně nevysvětluje, co všechno zahrnuje pod relativně obecný pojem hmat, lze předpokládat, že se jedná o kožní nebo taktilní cití. Tzv. sensorický reweighting se dále s věkem zlepšuje.

Někteří autoři označují věk 4- 6 let jako „tranzitorní fázi“, po níž začnou děti záviset na více zdrojích sensorické informace, tak jako dospělí (Wollacott et al in Bair et al, 2007, 110). Další uvádějí, že dítě mladší 7 let má nižší schopnost přijímat a využívat v posturální kontrole současně různé zdroje sensorických informací a řešit intersenzorický konflikt (Shumway- Cook a Wollacott, 2007, 206; Steindl et al., 2006, 481).

Senzorická integrace somatosenzorických podnětů se vyvíjí ještě po 10. roce věku. Zjistilo se, že zdravé děti od 7 do 12 let stále ještě nedokáží použít somatosenzorické informace, aby omezily kolísání těla (body sway) vzniklé dynamicky se měnícím zrakovým vjemem. Podobnou informaci přináší Mallau, která ve své studii zahrnuje děti do 15 let. Dospělí dovedou vyvažovat kolísání povrchu, na němž stojí, stabilizací pánve a ostatních segmentů vzhledem k prostoru, zatímco děti a dospívající nedovedou užít propioceptivní informace k podobnému vyvažování a segmentální stabilizaci jako dospělí (Mallau et al. 2010, 9). Hay dokazuje, že narušení propiocepce 5letým dětem významně zhoršuje i fázický pohyb, neboť nejsou schopny se na změny podmínek rychle adaptovat (Hay et al., 2005). Z daných informací lze předpokládat, že se integrace somatosenzorických signálů postupně během dětství zlepšuje a do té doby nemohou být somatosenzorické informace dokonale využívány.

Zdá se, že pokud by rozvoj multisenzorické integrace byl dokončen již v raném dětství, mohlo by to být pro rozvíjející se mozek užitečné, ale zároveň velmi náročné. Zde je opět zdůrazňována souvislost s výraznými růstovými změnami lidského mozku a těla v období raného dětství (Burr a Gori 2012).

Do 7. roku života se teprve rozvíjejí senzomotorické funkce. Ve věku novorozeneckém a částečně i kojeneckém jsou adaptační odpovědi ve formě reflexů. Dále během batolecího a předškolního věku jsou děti vystaveny novým sensorickým podnětům, na které vytvářejí různé

nové adaptační, ne vždy adekvátní odpovědi, které se rozvojem senzomotorických funkcí dále zlepšují. Po 7. roce věku se již objevují složitější adaptační (motorické) odpovědi (Kolář et al, 2009, 309). Děti jsou čím dál více schopny přizpůsobit své pohybové strategie na základě dostupnosti senzoričkových informací (Hay et al., 2005). Tato představa by odpovídala náznakům z různých zdrojů, že okolo 7 let nastává určitý „zlomový bod“ ve vývoji posturální kontroly a je tedy otázkou, jestli tento věk představuje také „zlom“ ve vývoji senzoričkové integrace smyslových podnětů. Mallau et al. nicméně v testech orientace v prostoru a segmentální stabilizace popisuje, že tzv. senzoričkový reweighting pro posturální strategie se od 5 do 15 let vyvíjí lineárně, bez jednoznačného bodu zlomu (Mallau et al. 2010).

### **6.3. Somatosenzoričkový systém v porovnání s vestibulárním a zrakovým aparátem v posturálně- lokomočních funkcích v období vývoje dítěte**

Novorozenec začíná s dominujícím somatosenzoričkovým systémem a tato dominance pokračuje do kojeneckého věku. Studie ukazují, že pětiměsíční dítě sahá po předmětech raději na podkladě somatosenzoričkové, než optické informace (Bertoti, 2004, 66). Vizuální zpětnou vazbu dítě nejvíce potřebuje první tři měsíce po zvládnutí nové postury – tedy např. poté, co dítě dosáhne schopnosti sedu, stoje či chůze, dále se tato potřeba postupně snižuje. Význam periferního vidění v dynamické kontrole postury od 3 do 6 let roste a jeho vrchol nastává okolo 6 let (Assainte, 1998). Nastává pak přechodné vymizení přispění periferního vidění v lokomoční kontrole okolo 7 let, což koresponduje se začátkem efektivní stabilizace hlavy v prostoru. Stabilizace hlavy v prostoru je ponejvíce závislá na zrakových informacích a přispívají k ní také informace vestibulární. Ukázalo se, že strategie stabilizace hlavy v prostoru u takto starých dětí s vyloučením zraku mizí. V testu stability dětí na oscilující plošině se ukázalo, že bez zrakové kontroly mizí u dětí schopnost stabilizovat jednotlivé tělesné segmenty „v prostoru“, obzvlášť při vyšších frekvencích oscilací (Mallau et al., 2010, 8.).

S předpokládanou zrakovou dominancí u dítěte může souviset korelace očních poruch a balančních abnormalit v dětství. Mallau et al. zmiňuje studie, které ukazují, že děti (stáří 6-14 let) mají nižší skóra rovnováhy v testech zvláště pokud není dostupná zraková informace nebo neodpovídá realitě. Posturální kontrola dětí je také citlivá na narušení propioceptivní informace a informace z receptorů tlaku, tedy pokud dítě přijímá matoucí somatosenzoričkové informace (Hytonen, Pykko, Aalto, 1993,122). Shumway- Cook a Wollacott popisují, že dítě od 3 do 6 let dovede lépe udržet posturální kontrolu, když je vystaveno matoucím zrakovým



signálům, než když je vystaveno matoucím somatosenzorickým signálům. Z tohoto faktu podle Shumway- Cook a Wollacott vyplývá, že dítě od 3 let začíná v posturální kontrole upřednostňovat somatosenzorický systém místo zrakového (Shumway- Cook a Wollacott, 2007, 209). Bertoti naopak předpokládá, že posturální kontrola dítěte je mezi 4- 6 lety vysoce závislá na zraku (Bertoti, 2004, 72). Snížená schopnost dětí 3-6 letých vyrovnat se s matoucími somatosenzorickými signály může souviset se zhoršenou integrací somatosenzorických signálů v období disproporcionálního růstu, viz kapitoly 6.1 a 6.2, pozn. autorky.

Studie chlapců a děvčat od 4 do 17 let ukázaly, že závislost na zraku se s věkem snižuje, přičemž vrchol závislosti na zrakové informaci se vyskytuje ve věku 6, 8 a 15 let (Assainte et al 2005). 7 a 9 leté děti jsou na zrakovém feedbacku závislejší než 5leté a 11leté (Hay et al., 2005, 149). Také u dětí 3- 16letých byla na základě SOT testu pozorována tendence k zlepšování posturální stabilizace s věkem a postupné snižování závislosti na zraku a lepší využití somatosenzorických informací (Steindl et al., 2006). Jak již bylo zmíněno v kapitole, Hay předpokládá, že somatosenzorický systém je schopen postupně převzít od zraku čím dál větší část role během řízení pohybu (Hay et al., 2005). To platí globálně v posturální stabilitě i během učení se jednotlivým pohybům.

Vysvětlení dominance zraku v určitém období dětství by mohlo spočívat ve faktu, že zrakové informace jsou pro dítě prvním spolehlivým referenčním rámcem, který není zasažen muskuloskeletálním růstem. Zároveň ale je třeba zvážit, proč dítě upřednostňuje somatosenzorický systém v novorozeneckém a kojeneckém věku, když také v tomto období prochází intenzivním růstem. Může to být z toho důvodu, že somatosenzorický systém je v této době ze smyslových systémů nejzralejší, zatímco plné zrakové ostrosti dítě nabývá až v roce věku (Bertoti, 2004, 70). Také pro malého kojence je důležitější spíše bližší než vzdálené okolí a telereceptory nabývají na důležitosti až později, ve chvíli, kdy se také výrazněji rozvíjí kognitivní funkce dítěte. Pickett a Konczak zmiňují, že „kinestezie není typicky smysl v středobodu pozornosti dítěte.“ (Pickett a Konczak 2009, 1)

#### **6.4. Posturálně- lokomoční funkce- odlišení vlivu somatosenzorického systému od zraku a vestibulárního aparátu**

Odlišení vlivu somatosenzorického systému od ostatních systémů podílejících se na posturální kontrole se v průběhu času provádělo několika různými způsoby, které zpravidla

vyžadovaly určité zjednodušení přirozených podmínek. Allum et al. testoval, jak ovlivní posturální stabilitu ztráta propriocepce na akrech dolních končetin a výsledky popisoval ve smyslu vlivu propriocepce obecně na posturální kontrolu (Allum et al., 1998, 220). Jak je však nyní známo, proprioceptory chodidel však nejsou jediné proprioceptory, které stabilitu ovlivňují (O'Sullivan a Schmitz, 2007, 308). Mallau et al. prováděla studii rovnovážných schopností v souvislosti se sensorickými systémy tak, že dítě stojící na rotující platformě muselo udržet vzpřímený stoj a nesmělo vůbec flektovat kolena (Mallau et al., 2010). Stoj se zamčenými koleny je však také umělým způsobem navozená podmínka.

Poměrně známý je tzv. SOT – Sensory Organization Test, který kvantitativně rozlišuje příspěvi vestibulárního, zrakového a somatosenzorického systému ke kontrole rovnováhy tak, že manipuluje somatosenzorický nebo zrakový input. Posturografická plošina (na níž testovaný stojí), zrakové okolí nebo obojí mohou odpovídat na kolísání těla testovaného (tj. tlak chodidla ovládá úhel sklonu okolí nebo plošiny tak, aby zůstal úhel v hlezenním kloubu konstantní) (Steindl et al., 2006, Lee et al. 2004). Podmínky pro testovaného se mění následujícími možnými způsoby: oči jsou/nejsou zakryté, plošina je fixovaná/pohyblivá, zrakové okolí je fixované /odpovídá na kolísání těla. Tím se vyselektují podmínky, za kterých je jeden ze systémů v posturální kontrole dominantní.

Peterka a Benolken použili test, kdy testovaný stojí na rotující plošině. Zrak se vyloučí jednoduše zakrytím očí. Vestibulární systém se od somatosenzorického systému odliší tak, že se zvolí frekvence otáčení plošiny jen do prahu, kde se vestibulární systém ještě nezapojuje. Zjistilo se, že se vestibulární systém určitě nezapojuje při frekvenci 0,1- 0,2 Hz, přispívá jistě od 0,5 Hz (Peterka a Benolken 1995, 108-109). Při velmi nízkých frekvencích byly somatosenzorické podněty účinnější při snižování kolísání těla, tzv. body sway. Jiná současná studie popisuje metodu užívající vibrace aplikované na šlachy kotníku, která dovede zjistit podíl proprioceptivního kanálu z chodidel na percepci a kontrole pohybu. Tento typ stimulace ruší relevantní proprioceptivní signály a narušuje posturální kontrolu, takže lze zjistit, jaká složka rovnováhy je zasažena (Hay et al., 2005). Podle Corda et al. je i v rámci somatosenzorického systému samotného možné odlišit jednotlivé složky. Kožní inputy mohou být vyrušeny aplikací anestezie a svalové na principu zamezení aktivace určitých svalových skupin např. polohou končetiny (Cordo et al. 2011, 1880).

## **6.5. Korelace somatosenzorických funkcí a posturálně- lokomočních funkcí u dětí předškolního věku**

Při vědomí velkého množství faktorů, které ovlivňují kvalitu pohybové funkce, je třeba zjistit, zda lze dokázat přímou korelaci mezi funkcí somatosenzorického systému a posturálně-lokomoční funkcí v předškolním věku. Významnou roli v posturálně lokomočních funkcích hrají faktory související s funkcí CNS, zvláště pokud je známo, že v předškolním věku vyzrává uvědomění si a interpretace sensorické informace, sensorická integrace a zrají komplexní somatosenzorické funkce: kinestezie a statestezie, stereognosie, tělesné schéma a somatognosie.

Otázkou, zda existuje významná korelace mezi vývojem somatosenzorických funkcí a komplexními percepčně- motorickými dovednostmi dítěte, se podrobněji zabýval Smyth a Mason. Zadával probandům úlohy závislé zejména na propiocepci, jako zasahování cíle a napodobení postury jedné končetiny druhostrannou končetinou, obojí bez zrakové kontroly. Výsledky dával do souvislosti s testem motorických dovedností M- ABC (Smyth a Mason, 1998). Dosažené skóre testů založených na propioceptivním vnímání použil k předpovídání kvality, s jakou dítě zvládne komplexní úkoly z M- ABC (použil úkoly postavené na manuální zručnosti, házení a chytání míče, schopnosti udržet rovnováhu). Smyth ukázal, že kvalita provedení jednoduchého pohybového úkolu bez použití zraku skutečně předpovídá úroveň kvality provedení komplexnější úlohy z testu M- ABC. Z novějších studií je třeba zmínit Klaru Marton, která zjistila, že u typicky se vyvíjejících dětí odpovídá kvalita kinestezie schopnosti napodobit gesta a posturu (Marton 2009).

Studie ohledně souvislosti vývoje somatognosie u předškolních dětí s posturálně – lokomočními funkcemi nalezena během rešerše nebyla. U dospělého se v klasickém testu somatognosie (somatopercepce a somatoprezentace) jedná o chápání rozměrů části těla. Kulakowska testovala vnímání tělesného schématu a schopnost orientace v prostoru u předškolních dětí, ale tento test byl spíše propojen se znalostí jazyka, než s posturálně-lokomoční funkcí: pokládala dítěti otázky, kde má ruku či jinou část těla, pak příkazy, aby např. dítě položilo pravou ruku na pravé koleno apod. Její test ukazuje, zda si dítě dovede spojit s jazykovým pojmem část svého těla. Od 6- 7 let věku dle Kulakowske lze při těchto úlohách překračovat střední čáru, např. aby dítě ukázalo levé ucho pravou rukou (Kulakowska, 2011, 5). Prvky podobné tomuto testu (pravolevá orientace na těle) se používají při hodnocení školní zralosti dítěte ve věku 6 let.

Lze dokázat korelaci vývoje stabilizace tělesných segmentů v posturální kontrole a řízení pohybů se zráním somatosenzorického systému? Odlišnost segmentální stabilizace a posturálního chování dítěte a dospělého je zřejmě dána mnoha faktory. Posturální odpovědi dítěte se odlišují od dospělých již na základě jiných antropometrických poměrů dětského těla, viz kapitola (O'Sullivan et al., 2007, 348).

Dle Mallau et al. existují korelace mezi percepční a posturální strategií jedince (Mallau et al., 2010, 9). Mallau et al. dále píše, že dospělý je schopen efektivněji stabilizovat tělesné segmenty a zároveň u něho v ovlivňování balanční kontroly převažují somatosenzorické signály, zatímco děti a adolescenti využívají k stabilizaci tělesných segmentů a posturální orientaci spíše zrakové informace (Mallau et al., 2010, 8). Dominance zraku u dítěte se ukazuje jak u stabilizace hlavy, tak dalších segmentů těla (podrobněji viz kapitola 6.3.). Na posturální stabilizaci dětí má tedy velký vliv závislost na zraku, zatímco somatosenzorické informace jsou v období intenzivního růstu dítěte využívány nedokonale.

Vývoj řízení cílených pohybů dle Hay ukazuje přímou souvislost se somatosenzorickým systémem (Hay et al., 2005). V období okolo 7 let se mění z převládajícího feedforward - programování pohybu (při němž jedinec potřebuje co nejpřesnější informace o stavu efektoru před pohybem, tedy statestické informace) na feedback a dynamickou on-line kontrolu s požadavkem co nejpřesnějších informací o okamžitém stavu efektoru při pohybu. Pravděpodobně to znamená, že CNS začíná pracovat s určitými složkami kinestezie, jako vnímání rychlosti a vnímání okamžité pozice a začleňovat je do svých motorických příkazů. Hay et al. předpokládá, že počátek užívání tohoto způsobu řízení může souviset s tím, jak CNS ve větší míře organizuje posturální kontrolu od opěrného bodu chodidel (v klidu) či pánve (v pohybu) a musí tedy zaměřit pozornost na přesné somatosenzorické informace z aktuálně probíhajícího pohybu a pozice.

## **6.6. Testy somatosenzorického systému**

U somatosenzorického systému se testuje čití analytické i syntetické a také funkce významně závislé na kvalitě funkce centrální nervové soustavy, tedy stereognosie a somatognosie. Je možné zvolit test somatosenzorické funkce, anebo testovat danou funkci přímo v kontextu s posturálně- lokomoční funkcí.

Samotné testy citlivosti (např. dotyk, vnímání vibrací, dvoubodová diskriminace) mají významnou výpovědní hodnotu u patologií nervového systému (např. poškození periferního

nervu, kořenová léze, mozková léze). Testy jednotlivých modalit čítí nicméně mají také souvislost se somatognosií a stereognosií a tedy s kvalitou posturálně- lokomočních funkcí. Kolář zde uvádí např. diskriminační čítí a hluboké čítí.

V přímém kontextu s posturálně – lokomoční funkcí je dle Koláře vidět kvalita somatosenzorické funkce ve schopnosti selektivně izolovaných pohybů a schopnosti relaxace, např. schopnost izolovat pohyb očí nebo jazyka od pohybu hlavy. Dále se používají testy výkonnosti propioceptivního systému, somatopercepce, somatoprezentace a stereognosie, test grafestezie a test podle Petrie (Kolář et al., 2009, 68 a 93). Tyto testy se používají u jedinců, kteří dovedou spolupracovat a dosáhli určité kognitivní úrovně.

Dunn et al. popisuje baterii hodnotících testů somatosenzorického systému používaných u dětí od 3 let věku. (Dunn et al., 2012). Tyto testy odpovídají testům vytvořeným Ayersovou v roce 1971 (Brief Kinaesthesia Test a Tactile Discrimination Test převzatý ze Sensory Integration and Praxis Test (SIPT, blíže viz příloha)). SIPT obsahuje tyto testy somatosenzorických funkcí: rozpoznání předmětu v ruce, grafestezie (Ayersová v popisu uvádí „rozpoznání obrazce p („design“) psaného na kůži“ spíše než písmene nebo číslice), rozpoznání prstu, lokalizace taktilního podnětu na ruce nebo paži, somatická percepce polohy ruky a paže. Somatická percepce pohybu a pozice ruky a paže se podobá testu výkonnosti propioceptivního systému, jak jej popisuje Kolář et al.(2009).

Test stereognosie jsou popisovány především v souvislosti s rukou. Ukazuje korelaci se schopností manipulovat s předměty, tedy spíše s jemnou než hrubou motorikou. Kvalita stereognosie rukou nemusí být stejná jako u ostatních částí těla téhož jedince. Kolář et al. píše, že poruchy integrace propiocepce se projevují buď lokalizovaně, nebo na celém těle (Kolář et al., 2009, 119). Zřejmě tedy test stereognosie pouze ruky nemusí spolehlivě korelovat s kvalitou posturálně- lokomočních funkcí. Dále je možné testovat stereognosii položením předmětu na kůži jinde na těle, kde také lze odhadovat některé vlastnosti předmětu, ale ne tolik vlastností, jako při testu stereognosie ruky.

### **6.6.1. Testy kinestezie**

Test kinestezie považuje za důležitý více starších i současných zahraničních autorů, proto je jim věnována samostatná kapitola. Ukazuje se, že nízká kvalita kinestezie (přesnost vnímání pohybu) u dítěte souvisí s výskytem motorických poruch. Opakovaně je prokazováno,

že testy kinestezie odliší zdravé děti od dětí s vývojovou koordinační poruchou (DCD) (Marton 2009; Pickett a Konczak 2009; Smyth and Mason 1998). Kinestezie by se také měla zlepšovat na přelomu předškolního a mladšího školního věku.

Testy kinestezie a statestzie vzbuzovaly u začátku svého vzniku rozporuplné názory ohledně toho, zda kinestezie vůbec předpovídá kvalitu komplexních motorických dovedností a jak tuto funkci lze přesně testovat (Elliot, Conolly a Doyle 1988). Cordo et al. poznamenává, že mnoho starších studií při výzkumu nebralo v úvahu všechny podstatné složky kinestezie a dá se tedy říci, že jejich výpovědní hodnota je sporná. Také dodává, že ani v současné době není známo, jak se která složka kinestezie na daném pohybovém úkolu přesně podílí (Cordo et al 2011). Pickett a Konczak psali v r. 2008, že standardizovaný protokol nebo vybavení pro přesné testování kinestezie dětí není k dispozici a přesné testování kinestezie u dětí je obtížné.

Objevovaly se rozpory, zda u zkoumání kinestezie používat pasivní či aktivní pohyb. Pasivní pohyb nevyžaduje motorické plánování a dovoluje testovat děti s motorickým deficitem (Livesey a Parkes 1995). Má výhodu oddělení od aktivní motorické funkce, takže výsledky budou přesněji vypovídat o kvalitě samotného senzoričkého vnímání a test je senzitivnější, neboť se účastní méně receptorů (Pickett a Konczak 2008). Přesně tento důvod (facilitace vnímání pohybu) však Smyth a Mason uvádějí ve prospěch užívání spíše aktivního pohybu v testech kinestezie. Dále uvádějí, že separace percepčního systému od motorického systému neodpovídá reálné situaci a ztěžuje pochopení využití somatosenzoričké informace v kontrole pohybu (Smyth a Mason 1998). Také nelze jednoznačně dokázat, že pohyb je skutečně pasivní, protože testovaná končetina může klást volní, nebo reflexní odpor (Elliot et al., 1988, 81).

Pasivním pohybem se z kinestezie testuje schopnost rozpoznat existenci pohybu, jeho směr a rozsah (Cordo et al. 2011). Kinestezie však zahrnuje i další složky, jako vnímání dynamické (okamžité) pozice a rychlosti, podstatné pro zpětnou vazbu při řízení pohybu a právě tato složka, či její integrace do řízení pohybu, zraje u dítěte předškolního věku (Hay 2005, viz kapitola 2.2.4.1). Kinaesthetic sensitivity test, dříve zmíněný v kapitole 2.1.6.1. zahrnuje test kinestetické přesnosti (kinaesthetic acuity - statestzie) a kinestetické paměti (proprioceptivní paměti) (Smyth a Mason 1998, Livesey a Parkes 1995). Smyth a Mason ukázali, že KST nepředpovídal kvalitu některých konkrétních motorických dovedností z M- ABC testu.

Livesey a Parkes pro testování proprioceptivní vnímavosti vyrobili test pro předškolní děti, který byl veden formou hry. Byl vyroben speciální testovací stůl s obrázky zvířat v kruhu na desce stolu viděné zrakem i pod stolem. Dítěti se pohybovalo neviděnou rukou pod stolem a ono hádalo, které zvíře jeho ruka šla „navštívit.“ Podle toho se určovala přesnost vnímání

polohy končetiny dítětem. Tento test se zřejmě pak již dále nepoužíval, nebyl u novějších studií nalezen (Livesey a Parkes 1995).

V současné době se v klinické praxi testuje kinestezie a statestezie v rámci testu výkonnosti propioceptivního systému, který zahrnuje pasivní i aktivní pohyb. Testovaný stojí čelem či bokem k testovací ploše a má identifikovat úhel v kloubu při absenci zrakové informace. Končetina je pasivně či aktivně nastavena v dané pozici a podržena 2-3 sekundy. Poté má testovaný připažit a znovu předvést tutéž pozici s touž končetinou během aktivního pohybu, který je založen na propioceptivní paměti. Výsledek se hodnotí pomocí milimetrového papíru (Kolář et al, 2009, 92- 93). Pokud při testu polohocitu nepoužijeme milimetrový papír, výsledky jsou pouze orientační. Další test používaný v zahraničí je Brief Kinaesthesia test ([Brief Kinesthesia Test](#)).

Nevýhoda těchto testů je jejich propojení s pamětí, tedy poruchy paměti nebo její nezralost mohou ovlivnit výsledek. S vyloučením paměti lze testovat tak, že referenční končetina je uvedena do nějaké polohy a kontralaterální končetina se pokusí tuto polohu přesně napodobit (Boisgontier et al. 2011). To ale zase dodává určitý kognitivní úkol porovnávání končetin (např. Pickett a Konczak upřednostňují test, který tento přídavný kognitivní proces nevyžaduje).

Při vyšetření pohybecitu by měl být vyšetřovaný schopen rozeznat pohyb rychlosti 1° za sekundu v oblasti drobných kloubů na prstech ruky a pohyb rychlosti 3° za sekundu na drobných kloubech prstů nohou. Opět lze testovat přístrojově, nebo orientačně, pacient určuje směr a okamžik, odkdy pohyb vnímá (Kobesová in Kolář, 2009).

### **6.6.2. Specificita testování předškolních dětí**

Při vyšetření předškolních dětí je třeba brát v potaz specifika dětského věku a to, co by mělo dítě fyziologicky umět. Při tom se lze orientovat podle tabulek pro daný věk (např. viz Kolář 2009, 114- 115, také viz příloha 1.). Je nutné adekvátně zvolit způsob testování a testy vhodně modifikovat, nejlépe je dítě vyšetřit formou hry. Je vhodné se pokusit jej motivovat k provedení určité činnosti, na níž by vyšetřující viděl požadovanou funkci. U dětí předškolního věku již lze testovat i slovním požádáním, aby dítě něco předvedlo, za podmínek, že má ochotu spolupracovat. To je individuálně variabilní a závislé na stavu a rozpoložení dítěte.

Čítí je vjemem subjektivním, náročným na pozornost a vyžaduje dobrou spolupráci testovaného, protože např. u testování dotyku, vibrace a diskriminačního čítí nelze spolehlivě

ověřit subjektivní výpověď. Je proto potřeba testovat opakovaně. U malého dítěte je tato nevýhoda zdůrazněna, třebaže předškolní dítě už zpravidla spolupracuje lépe než batole.

Je třeba dbát na to, aby test nebyl pro dítě příliš náročný, zdouhavý nebo nezajímavý. Dítě do 7 let věku může při některých testech odpovídat náhodně, sdělovat vyšetřujícímu, že je unavené a může nedávat pozor, např. se tak stává podle Livesey a Parkese při vyšetření rozpoznání úhlu v kloubu při standardním testu polohocitu (Livesey a Parkes 1995). Livesey a Parkes se domnívají, že odpověď dítěte v testu somatosenzorické funkce má být jednoduchá, jasně srozumitelná a sdělitelná s minimální paměťovou komponentou.

Pokud se u dítěte testují komplexní somatosenzorické funkce, je potřeba zvolit takovou funkci, kterou lze u dítěte daného věku použít s ohledem na nezralost kognitivních funkcí. Nelze například předpokládat, že předškolní dítě již od tří let dokáže adekvátně pochopit test somatopercepce a somatorepresentace a určit šířku svých ramen či pánve, zejména pokud by dané pojmy jazykově neovládalo. Dobře lze testovat dle Bentona a Schultze schopnost stereognosie ruky, a to na rozpoznávání známých předmětů bez zrakové kontroly, s tím, že se vyšetřující předem ujistí, že dítě zvládá předměty pojmenovat. Předškolní dítě tomuto testu většinou porozumí a považuje jej zpravidla za hru na hádání předmětů poslepu. Test dle Bentona a Schultze je spojen s určitými jazykovými znalostmi a tak byl označen jako nevhodný pro batolata, která ještě zpravidla nedovedou předměty spolehlivě pojmenovat (Benton a Schultz 1949, 363).

Testy stereognosie a grafestezie vhodnější pro mladší děti, tedy nezávislé na jazykových znalostech, vytvořila J. A. Ayersová v rámci Sensory Integration and Praxis Test (SIPT), který je vhodný pro děti od 4 do 8,2 let (Ayers, 1989). Při vyšetření stereognosie dítě přiřazovalo neviděný předmět v ruce k stejnému předmětu viděnému zrakem, nebo taktéž neviděnému, drženému v druhé ruce. Grafestezie podle Ayersové zahrnovala taktilní percepci kresby na neviděné části těla a poté se dítě pokusilo nakreslit tvar, který vnímalo (testovala tedy spíše tzv. planestezii než grafestezii, neboť předškolní dítě ještě spolehlivě nezná písmena a čísla, pozn. autorky).

Kvalitu selektivně izolovaných pohybů lze testovat i u dítěte. Lze se na to zaměřit při aspekčním vyšetření spontánního projevu a sledovat, jestli dítě např. je schopno flexi v kyčli při nároku izolovat od souhybu pánve a bederní páteře, tedy dokáže selektivně izolovaný pohyb v kyčli. Zpravidla se také testuje izolovaný pohyb očí a jazyka bez souhybu hlavy (Kolář 2009).



### **6.6.3. Přístrojové testování**

Přístrojové testování somatosenzorického systému se objevovalo ve většině použitých studií. Má výhodu velké přesnosti a testování za jednoznačně stanovených podmínek. Také není subjektivně zatíženo jako vyšetřování jednou osobou - vyšetřujícím. Ukazuje se, že např. pro odlišení jednotlivých sensorických systémů je nutné přesně definovat rozsah či míru pohybu, kterému je vyšetřovaná osoba vystavena při testování balančních funkcí, neboť práh pohybu pro zapojení pouze somatosenzorického systému bez systému vestibulárního je velmi nízký (Peterka, Benolken 1995).

Důležitost naprosté přesnosti při vyhodnocení testů zmiňují již autoři, kteří testovali stateziii a kinestezii bez použití přístroje s pomocí pasivního pohybu u předškolních dětí od 3 do 6 let. Dokazují, že jednotlivé věkové kategorie se od sebe liší v míře přesnosti určení pozice nebo směru pohybu končetiny. I děti, které v testu chybovaly, dokázaly popsat přibližnou polohu, kam byl pohyb veden a odchylky nebyly příliš velké (Livesey a Parkes, 1995). Dále, jedině přístrojovým vyšetřením lze přesně zjistit proprioceptivní vnímavost, od kdy přesně a jak malý pohyb jedinec vnímá. Nevýhodou přístrojového testování je omezená možnost využití, zatím se používají na specializovaných pracovištích a nepatří do běžného vybavení fyzioterapeutické ordinace.

## **6.7. Vyšetření vybraných somatosenzorických funkcí u dítěte předškolního věku**

Zvolenými způsoby testování somatosenzorického systému u daného předškolního dítěte v kazuistice jsou na základě rešerše některé vybrané testy. Testy byly provedeny s jen takovým počtem opakování, aby dítě spolupracovalo a dovedlo se soustředit, dále byly vybrány především takové testy, aby dítě pokud možno na dostatečně dlouhou dobu zaujaly. Podrobný popis testů viz kapitoly 6.7 a 6.8.

- Test stereognosie rukou – použité předměty viz příloha 3., použita varianta testu závislá na jazykových znalostech, neboť chlapec z kazuistiky dovedl použité předměty spolehlivě pojmenovat
- Test somatognosie (Kulakowska 2011) – rozpoznání a pojmenování částí těla a orientace v prostoru

- Test propioceptivní vnímavosti – test s mířením (bez zrakové kontroly) na předešle nastavenou polohu dominantní horní končetiny na milimetrovém papíře, dále orientační test pohybcitu (pasivní pohyb provedený vyšetřujícím) (Kolář, 2009) a orientační test polohocitu (nastavení končetin a pak posouzení dítětem, která je nastavena výše, popř. nastavení končetiny do polohy terapeutem a dítě napodobí toto nastavení druhostrannou končetinou nebo touž končetinou)
- vybrané testy dle SIPT (celý test SIPT viz příloha 2.) (Ayers 1989): planestezie – byl zvolen test planestezie s rozpoznáním několika 2- rozměrných tvarů, které konkrétní dítě zná; rozpoznání prstu

V běžné praxi by testy somatosenzorického systému u dítěte měly být provedeny současně s doplňujícími vyšetřeními – kineziologický rozbor, aspekce spontánního motorického projevu, anamnéza dítěte odebraná od rodiče, která by mohla naznačit obtíže v somatosenzorické oblasti (např. kožní hypersenzitivita/hyposenzitivita, neobratnost, časté pády).

## 7. KAZUISTIKA

Kazuistika M. W., narozen 29. 2. 2010

### Anamnéza:

OA: porod 39+0 plánovaným s.c. pro snížené množství plodové vody a polohu koncem pánevním, váha dítěte 3 000 g. Poporodní adaptace v normě. Očkován dle kalendáře. Psychomotorický vývoj dle pediatra v normě, zrak a sluch v normě. Sklony k častým infekcím cest dýchacích.

Vývoj pohybového aparátu v kojeneckém a batolecím věku: Dysplazie kyčelních kloubů, doporučeno široké balení a cvičení Vojtovy metody. Stav se po 2 měsíčním režimu dle matky upravil. Do 4. měsíce lehká predilekce doleva. Otáčení v 6 měsících, levou stranu preferoval a také začal dříve (náročná PDK); dříve si stoupal než lezl; chůze s oporou o nábytek v 10 měsících; samostatná chůze v 15m. Nyní preference L ruky.

Dle matky je trochu neobratný v pohybech, když někam leze, a je poněkud nesoustředění. Dovede ale jezdit na odrážedle a začíná jezdit na kole.

### **Vyšetření ze dne 17. 12. 2013.**

stáří probanda 3 roky, 9 měsíců

### Kineziologický rozbor – vybrané aspekty:

- při vyšetření přítomna matka
- stoj stabilní, vadné držení těla, odstávající lopatky, ochablější trup, v porovnání s trupem se jeví větší napětí na končetinách – palpačně, tendence k protrakci, elevaci ramen a předsunu hlavy, tendence k valgositě pat a kolen, zatíná prsty na nohou
- balanční schopnosti: je schopen Rombergova stoje I., II., III. – zvládá s titubacemi. Bez zrakové kontroly jsou titubace větší, ale bez pádu. Stoj na jedné noze – dominantní krátce – cca 4s, nedominantní nezvládne vůbec. Ve stoji na špičkách se udrží velmi krátce, ztrácí rovnováhu. Na patách stát nedovede.
- vyšetření chůze: v chůzi pouze minimální souhyby horních končetin, krok poměrně symetrický, šířka opěrné báze na šířku pánve. Schopen chůze po špičkách cca 2m. Heel- toe walking - nadměrně krčí kolena, musí se dívat na chodidla.

- spontánní motorické chování: chlapec je spíše neobratnější, nárok PDK při lezení na stůl se souhybem pánve a kyfotizace v bederní páteři, vážne zapojení šikmých břišních řetězců, vylézání s nárokem LDK se pokusil po vyzvání, zvládl jednou s dopomocí, když zjistil, že mu to nejde, odmítl zkoušet dál. Navyklý sedět kyfoticky a s hýžděmi mezi chodidly – tzv „W“ sed. Nesoustředěný, přebíhá pozorností od jedné činnosti k druhé.
- test izolovaných pohybů: jazyka od hlavy- bez vad; očí od hlavy – mírná porucha, natáčí hlavu současně s očima

### **Antropometrie:**

Váha: 17,3 kg

Výška: 111,5 cm.

Délka DKK: oboustranně stejná, funkční 59 cm, anatomická 57 cm.

Délka HKK: oboustranně stejná, 46,5 cm

### **Somatosenzorický systém:**

#### Stereognosie rukou:

rozpozná a pojmenuje bez chyby předměty výrazně se lišící tvarem, velikostí, hmotností (7/7). Poněkud obtížně rozezná předměty podobného tvaru lišící se především detaily a strukturou povrchu (2/7). Test provádí ochotně.

Somatognosie a lokalizace taktilního podnětu: rozezná a pojmenuje minimálně deset částí těla, orientuje se v prostoru – ukáže směry nahoru, dolů, k tělu, od těla

Třebaže dovede s kontrolou zraku stabilně pojmenovat prsty, nedovede bez zrakové kontroly pojmenovat, který prst vyšetřující drží. (0/5). Rozpozná však bez chyby bez kontroly zrakem dotyk na paži, chodidle, zádech, břiše, hlavě.

Planestezie (na zádech a plosce chodidla): rozpozná kruh, čárku, tečku, čtverec, křížek a správně je pojmenuje 5/7, test provádí ochotně

#### Testy propioceptivní vnímavosti:

Po pasivním nastavení HKK a DKK, pokud má nastavit kontralaterální končetinu do stejné pozice, nastaví ji do lehce nepřesné pozice, většinou poněkud níže s porovnání s končetinou nastavenou terapeutem (na základě aspekce vyšetřujícího). Test míření s milimetrovým papírem nebyl při tomto vyšetření proveden, poněvadž jej dítě nechtělo zkusit.

Kinestezie: je schopen poznat směr pomalu prováděného pasivního pohybu v základních směrech, které předem dokázal, že dovede pojmenovat (nahoru, dolů, k tělu, od těla), kořenové

klouby bez chyby (5/5), akra již více chybí- prsty na ruce (3/5), pohyb prstů na nohou nedovede určit vůbec (0/5)

## **Vyšetření dne 14. 4. 2014**

stáří probanda 4 roky, 2,5 měsíce

**Kineziologický rozbor** – v porovnání s minulým vyšetřením významně nezměněn

### **Antropometrie:**

Váha: 18, 5 kg

Výška: 114 cm

Délka DKK: oboustranně stejná, funkční: 64 cm, anatomická: 63 cm

Délka HKK: oboustranně stejná, 48 cm

### **Somatosenzorický systém:**

Stereognosie rukou: oproti minulému vyšetření mírné zlepšení, předměty vzájemně podobné (velikostí a tvarem, lišící se texturou) občas zamění, je již schopen lépe se soustředit (4/7). Jasně odlišené (texturou, hmotností, velikostí) pozná bez chyby (7/7).

Somatognosie: je schopen rozlišit a pojmenovat části těla a orientovat se v prostoru stejně jako při minulém vyšetření.

Rozpoznání prstů : od minulého vyšetření nezměněno, stále bez zrakové kontroly nerozpozná prst držený vyšetřujícím

Planestezie na zádech a ploše chodidla: rozliší většinou kruh, čárku, tečku, čtverec, křížek nakreslené bez zrakové kontroly na kůži, odpovídá rychleji než při prvním vyšetření (6/7)

### Test proprioceptivního vnímání:

ochoten provést test míření s milimetrovým papírem, dominantní HK, také u tohoto testu se strefuje většinou níže, než bylo původní nastavení. Odchyly se dosti různí, viz příloha 4. Dítě stálo pouze čelem k testovací ploše, postoj bokem nechtělo vyzkoušet.

Kinestezie: u orientačního vyšetření pohybovosti výsledek oproti minulému vyšetření nezměněn.

### **Závěr kazuistiky:**

Za čtyři měsíce od provedení 1. vyšetření dítě nabralo na výšce a na váze a změnila se délka horních i dolních končetin. Vyšetřovaný chlapec spolupracoval a komunikoval poněkud

hůře. Vadné držení těla, roztěkané chování a snížení pohybové koordinace může naznačit lehkou mozkovou dysfunkci. Posturálně- lokomoční funkce byly vyšetřovány především aspekci spontánního motorického chování a vybranými testy rovnováhy ve stoji a chůze.

Bylo třeba zkracovat dobu a počet opakování úkolu na minimum. Nebylo možné při prvním vyšetření objektivně (goniometrem či milimetrovým papírem) vyšetřit polohocit, vyšetřovalo se pouze aspekci a pasivní pohyby byly prováděny vyšetřujícím. Test s milimetrovým papírem dítě ochotně provedlo až při druhém vyšetření. Výsledky chlapce nebyly statisticky zpracovány z důvodu malého počtu provedených vyšetření (pouze jedno), testovací milimetrový papír je doložen v přílohách k nahlédnutí.

Chlapec netoleroval zavázání očí, krátce snesl zakrytí očí dlaněmi druhou osobou (vyšetřující nebo matkou). Kinestezii bylo možné testovat s takto zakrytými očima nebo s testovanou končetinou mimo zorné pole, se zavázanými očima si za krátkou dobu chlapec stěžoval, že ho bolí nohy. V testu stereognosie pozná výrazné rozdíly předmětu, zatímco na detaily se zatím v tomto věku nesoustředí, což se v rámci 4 měsíců mírně zlepšilo.

## 8. ZÁVĚR

Cílem práce bylo zjistit poznatky o vývoji somatosenzorického systému v předškolním věku a jeho souvislosti s posturálně- lokomočními funkcemi. Na základě rešerše bylo nalezeno několik oblastí, které ovlivňují funkci somatosenzorického systému v kontextu posturálně-lokomočních funkcí a tyto oblasti byly podrobně probrány v diskusi. Rešeršní záměr práce byl tedy splněn. Druhý záměr práce, tedy nalézt přesné testy somatosenzorického systému vhodné pro testování předškolního dítěte, byl splněn částečně, neboť jen některé nalezené testy se v kazuistice dítěte osvědčily.

Nebyl nalezen test dostatečně dokládající dětskou somatopercepci a somatoprezentaci, který by pomohl jako u testu používaného u dospělých zjistit, jestli a jak dítě v tomto věku chápe vlastní tělo z hlediska rozměrů. Také testy kinestezie a statestezie patří dle rešerše k důležitým testům. Rešerše nicméně naznačila fakt, že testy kinestezie i statestezie vyžadují přesné měření a to bývá u dětí zejména nízkého věku obtížně proveditelné (Pickett a Konczak 2009), což se v kazuistice potvrdilo. Tyto testy lze v klinické běžné praxi u dětí provádět spíše orientačně a to nepostačí pro přesné zjištění, k jak velké změně funkce dochází během růstu v oblasti propioceptivní vnímavosti. Dostatečnou přesnost lze dosáhnout u testu propioceptivního vnímání s pomocí milimetrového papíru, goniometru nebo přístroje, které u omezeně spolupracujících dětí nelze vždy použít.

V kazuistice se potvrdilo, že u dítěte je možné somatosenzorické funkce testovat s přihlédnutím k jeho kognitivní zralosti a schopnosti se soustředit. Nejlépe se u dítěte v kazuistice osvědčil test stereognosie ruky, který chlapec považoval za dostatečně zábavný, aby se soustředil, ochotně spolupracoval i při testu planestezie. V testu stereognosie se potvrdil předpoklad Morongiella et al., že dítě se při rozpoznávání předmětu zpočátku příliš nesoustředí na detaily (Morongiello et al., 1994, také viz kapitola 2.1.6.1 ). V druhém vyšetření pracoval ochotně i při testu propioceptivní vnímavosti prováděném s milimetrovým papírem, počet opakování však nebyl takový, aby výsledky byly dostatečně validní.

Požadavek na testy prováděné bez zrakové kontroly se ještě u předškolního dítěte může setkat s praktickými obtížemi, neboť jak se ukázalo v kazuistice, děti v tomto věku ještě nemusí ochotně spolupracovat při zakrytí očí. Některé testy lze provést tak, aby dítě nemuselo mít zavázané oči, lze např. testovanou končetinu zakrýt zástěnou. Také dítě s obtížemi v somatosenzorické oblasti bude nejspíše zakrytí očí odmítat, neboť nebude vědět, kde je

v prostoru a bude se cítit nejisté. Domnívám se, že testy somatosenzorického systému u dětí se budou zřejmě v současné době dále vyvíjet.



## 9. SOUHRN

Tato bakalářská práce shrnuje poznatky o vývoji somatosenzorického systému v kontextu posturálně- lokomočních funkcí v předškolním věku. Práce byla zpracována jako rešerše české a zahraniční literatury s kazuistikou.

Somatosenzorický systém je důležitým aferentním vstupem, který ovlivňuje posturálně- lokomoční funkce. Třebaže v raném kojeneckém věku je dominantním smyslem, v následujících obdobích vývoje dítěte poněkud ustupuje zrakovému smyslu. Jeho opětovné intenzivnější využívání závisí zřejmě na ukončení určité etapy zrání centrálního nervového systému a struktur pohybového aparátu.

Somatosenzorický systém a jeho přesná souvislost s posturálně- lokomočními funkcemi je v současné době stále zkoumané téma. Vývoj dětského somatosenzorického systému je v základu dokončen ve 3- 4 letech života, tj. exteroceptivní a propioceptivní reflexy odpovídají reflexům dospělého, v předškolním věku ale dále pokračuje zrání integrace somatosenzorických signálů do posturálního a lokomočního chování v různých kontextech. Zrají především funkce související s centrálním nervovým systémem, tj. propioceptivní vnímavost a paměť, somatosenzorická pozornost, somatognosie, stereognosie a funkce kinestezie a statestezie. Sensorická integrace somatosenzorických signálů do řízení posturálně- lokomočních funkcí má za následek zkvalitňování posturálně- lokomočních funkcí.

Předškolní věk je období zřetelného zrání CNS a pohybového aparátu. Morfologie dětského pohybového aparátu a proporcionalita dětského těla se začínají blížit dospělé podobě. V předškolním věku začne být růst dítěte rovnoměrný, a tak jsou vytvořeny stálejší podmínky pro vytvoření zralejší koordinace posturálně – lokomočních funkcí. Dokončuje se vývoj mozečku, který je zodpovědný za koordinaci pohybů a ke své činnosti potřebuje kvalitní somatosenzorickou aferenci, jejíž sensorická integrace postupně vyžívá. CNS má možnost začlenit do řízení složky somatosenzorického systému, které přesně registrují polohu a pozici částí těla a koordinovat a opravovat pohyby již v průběhu pohybu v závislosti na momentálních podmínkách. Posturální kontrola v období dětství je spojena s postupným snižováním závislosti na zrakových informacích ve prospěch signálů somatosenzorických. Zrání posturální kontroly se projevuje na vývoji stabilizace tělesných segmentů při pohybu, vývoji schopnosti selektivně izolovaných pohybů a přesných cílených pohybů, vývoji koordinace.

Testování somatosenzorického systému zahrnuje jak testy jednotlivých modalit čítí, tak testy komplexnějších somatosenzorických funkcí, jako kinestezie, statestezie, stereognosie,

grafestezie, somatognosie. Na testy propioceptivní vnímavosti jsou kladeny větší nároky z hlediska přesnosti a proto je vhodné je provádět pomocí přístroje nebo s goniometrem či milimetrovým papírem, a tak se testují u omezeně spolupracujících dětí obtížně. U předškolních dětí lze testovat somatosenzorické funkce s přihlédnutím k jejich nižší schopnosti se soustředit, nižší zralosti kognitivních funkcí, paměti a jazykových schopností. Důležitou součástí testování předškolních dětí je anamnéza a doplňující vyšetření posturálně- lokomočních funkcí.

## 10. SUMMARY

This research summarises information about the development of the somatosensory system in the context of postural- locomotion function in preschool children.

The somatosensory system is an important source of the afferent information influencing the postural and locomotion functions. Despite being the leading system during the early development, the somatosensory system in preschool child somewhat lessens its influence in comparison to the visual system. Its importance grows again as the child's CNS and musculoskeletal system mature.

The somatosensory system and its connection with the postural- locomotion system is yet to be fully examined. The somatosensory system development is basically finished as early as in 3- 4 year-olds, that is to say, the exteroceptive and proprioceptive reflexes do not differ from the adult response. At the preschool age and further in childhood, however, the sensory integration of the somatosensory signals continues to mature in various postural- locomotion contexts. Predominantly, the functions which mature are those in connection with the central nervous system function: proprioceptive sensitivity and memory, somatosensory attention, somatognosis, stereognosis and the kinaesthetic functions.

In the preschool age the CNS and the musculoskeletal system mature. The morphology of the child's musculoskeletal system and the proportionality of the child's body begin to resemble the adult's. The preschool child's growth stabilizes and so the conditions for the maturation of coordination postural- locomotion functions are set. The cerebellum, which is responsible for the movement coordination, matures. The cerebellum needs a good somatosensory afferentation, whose sensory integration matures also. Especially are maturing the somatosensory functions, which register precisely the position and movement of the body parts, which allow the CNS to repair and coordinate movement in the course of its duration.

During the childhood, the visual system slowly loses its chief influence on the postural control to be replaced by the somatosensory system. The postural control in childhood is progressively less dependent on the visual system in favour of the somatosensory system. The maturation of the postural control is expressed in the ability to stabilize the body segments, in the control of the voluntary movements, in the ability of selective isolated movements, and coordination.

Testing of the somatosensory system encompasses tests of various sensation modalities as well as the tests of complex somatosensory functions, namely the limb movement and position sense, stereognosis, graphesthesia, somatognosis. It is possible to test these functions in

preschool child considering the child's limited ability to concentrate, degree of maturation of cognitive abilities, memory and language abilities. In assessing the somatosensory system in preschool child it is necessary to consider also the child's anamnesis and postural locomotion functions.

## 11. REFERENČNÍ SEZNAM

ALLEN, K. E., MAROTZ, L. (2005) *Přehled vývoje dítěte od prenatálního období do 8 let*. Praha: Portál 2005, 187 s. 100- 116 ISBN 80-7367-055-0

ASSAINTE, CH. (1998) Development of locomotor balance control in healthy children *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 22 (4) 527 – 532 Retrieved 29. 3. 2013 from source <http://posturodoc.org/conferences/conference-Assaiente-26-11-2010/Assaiente1998.pdf>

ASSAINTE, CH., MALLAU, S., VIEL, S., JOVER, M., SCHMITZ, CH.(2005) Development of postural control in healthy children: A functional approach. *Neural Plasticity* 12 (2-3) 109 – 118 Retrieved 29.3. from source [http://sites.univprovence.fr/wpsycle/documentpdf/DocJover/Assaiente2005\\_NeuralPlasticity.pdf](http://sites.univprovence.fr/wpsycle/documentpdf/DocJover/Assaiente2005_NeuralPlasticity.pdf)

AYERS, A. J. (1989) "Sensory integration and praxis test (SIPT)." *Los Angeles, Western Psychological Services* (1989). Retrieved 16. 4. from source [http://www.v-psyche.com/doc/special-cases/Sensory%20Integration%20and%20Praxis%20Test%20\(SIPT\).docx](http://www.v-psyche.com/doc/special-cases/Sensory%20Integration%20and%20Praxis%20Test%20(SIPT).docx)

BAIR, W - N., KIEMEL, T., JEKA, JJ., CLARK, JE. (2012) Development of multisensory reweighting is impaired for quiet stance control in children with developmental coordination disorder (DCD) *PLoS ONE* 7 (7): e40932. doi:10.1371/journal.pone.0040932 Retrieved 20.11. 2013 from source <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0040932>

BAIR, W-N., KIEMEL, T., JEKA, J. J, CLARK, J. E. (2007) Development of multisensory reweighting for postural control in children. *Experimental Brain Research* 183(4):435- 446 Retrieved 25. 6. 2013 from source <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2720682/>

BENT, L. R., INGLIS, J. T., BRADFORD J. (2004) When is Vestibular Information Important During Walking, *J. Neurophysiol* 92: 1269 – 1275. Retrieved 26. 12. 2013 from source <http://jn.physiology.org/content/92/3/1269>

BERTOTI, B. (2004) *Functional Neurorehabilitation through the Life Span*. Philadelphia: Davis Company 2004. 411 s. ISBN 0-8036-1107-2

BOISGONTIER, M. P, OLIVIER, I, CHENU, O., NOUGIER, V. (2011) Presbypropria: the effects of physiological ageing on proprioceptive control, *Age (Dordr)* 34 (5): 1179 – 1194 Retrieved 26. 12. 2013 from source <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3448996/>

BREMNER, A. J., HOLMES, P. N., SPENCE, CH. (2008) Infants lost in (peripersonal) space?, *Trends in Cognitive Sciences* 12 (8), 298- 305

BURR, D. GORI, M., Multisensory Integration Develops Late in Humans, in Murray MM, Wallace MT. *The Neural Bases of Multisensory Processes*, Boca Raton (FL) CRC Press 2012 Retrieved 24.7. 2013 from source <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK92864/>

CORDO, P. J., HORN, J., KUNSTER, D., CHERRY, A., BRATT, A., GURFINKEL, V. (2011) Contributions of skin and muscle afferent to movement sense in the human hand. *J Neurophysiol* 105, 1879 – 1888 Retrieved 7.10. 2013 from source <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3075285/>

ČECH, Zdeněk, (2011) *Somatosenzorický systém*, prezentace. Retrieved 6.5.2013 from source: <<http://mefanet-motol.cuni.cz/clanky.php?aid=1642>>

ČECH, Zdeněk, (2011) *Reaktivní funkční změny vázané na nociceptivní aferentaci*.

Prezentace. Retrieved 15. 4. 2014 from source <<http://mefanet-motol.cuni.cz/clanky.php?aid=1644>>

DUNN, W., GRIFFITH J.W., MORRISSON, M. T., TANQUARY, J., SABATA, D., VICTORSON, D., LEEANNE, M. C., GERSHON, M. C. (2012) Somatosensation assessment using the NIH Toolbox. *Neurology*. Retrieved 31. 10. 2013 from source <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3662343/>

ELLIOT, J. M, CONOLLY, K. J, DOYLE A. J. R., (1988) Development of kinaesthetic sensitivity and motor performance in children *Developmental Medicine and Child Neurology* 30 80- 92

HAGGARD, P., WOLPERT, J. *Disorders of body scheme*. Retrieved 20. 12. 2013 from source <http://learning.eng.cam.ac.uk/pub/Public/Wolpert/Publications/HagWol04.pdf>

HAY, L., BARD, CH., FERREL, C., OLIVIER, I., FLEURY, M. (2005) Role of proprioception and movement programming in 5 to 11- year old children, *Human Movement Science* 24: 139 – 154

HIRABAYASHI, S., IWASAKI, Y. Developmental perspective of sensory organization on postural control 1995, *Brain and Development* 17: 111- 113

HORAK, F. B, NASHNER, L. M., DIENER, H. C. (1990) Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss *Experimental Brain Research* 82: 167- 177

HYTONEN, M., PYKKO, I., AALTO, H., STARCK, J. (1993) Postural control and age. *Acta Otorlaryngol* 1993; 113: 119- 122

KANDEL, E. R, SCHWARTZ, J. H, JESSEL, T. M., (2000) *Principles of Neural Science*, 4. vydání, Appleton and Lange 2000. ISBN 0-8385-7701-6

KULAKOWSKA, Z., SZAMOTULSKA, K., ZYCHOWICZ, B., GNITECKA, J. (2010) Changes of the somatognosis in children with developmental disharmony who have undergone psychomotor therapy by means of the Procus and Block method, *Medical Rehabilitation*. 14 (4) 1-9 Retrieved 5.9. 2013 from source [http://www.rehmed.pl/images/upload/pdf\\_en/2010/4\\_2010/A-Kulakowska-ang-22.06.2011.pdf](http://www.rehmed.pl/images/upload/pdf_en/2010/4_2010/A-Kulakowska-ang-22.06.2011.pdf)

KOBESOVÁ, A., KOLÁŘ, P. (2013) Developmental kinesiology: Three levels of motor control in the assessment and treatment of the motor system. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 1- 11.

KOLÁŘ, P., (2002) Vadné držení těla z pohledu posturální ontogeneze, *Pediatric pro praxi*.č. 3, 106- 109. Retrieved 3. 2. 2014 from source: <http://www.pediatricpropraxi.cz/pdfs/ped/2002/03/05.pdf>

KOLÁŘ, P. in KRAUS, J. (2005) *Dětská mozková obrna: Vývojová kineziologie*. Praha: Grada, 2005. 344 s. ISBN 80-247-1018-8

KOLÁŘ, P., SMRŽOVÁ, J., KOBESOVÁ, A., (2011) Vývojová dyspraxie, senzomotorická integrace a jejich vliv na pohybové aktivity a sport. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca* 2011, roč. 20, č.2, s. 66- 81. ISSN 1210- 5481

KRÁLÍČEK, P. *Úvod do speciální neurofyzologie*. Praha: Galén 2011, 3. vydání ISBN 978-80-726-618-2

LEE, H.- Y., CHERNG, R. -J., LIN, C-H. (2004) Development of a virtual reality environment for somatosensory and perceptual stimulation in the balance assessment of children. *Computers in Biology and Medicine* 34: 719- 733

LEPŠÍKOVÁ, M., ČECH, Z., (2013) Změny somatognosie v klinickém obraze chronických bolestivých poruch pohybového aparátu, *Medicina po promoci* 2, Retrieved 23. 10. 2013 from source: <http://www.tribune.cz/clanek/29842-zmeny-somatognozie-v-klinickem-obraze-chronickyh-bolestivyh-poruch-pohyboveho-aparatu>

LONGO, M., AZANON, E., HAGGARD, P. More than skin deep: body representation beyond primary somatosensory cortex. *Neuropsychologia* 48 (3) 655 – 668. ISSN 0028- 3932 Retrieved 11.2. 2014 from source <http://eprints.bbk.ac.uk/5397>

MAILLOUX, Z. *An Overview of Sensory Integration and Praxis Tests*. Retrieved 16.12. 2013 from source <http://ajot.aotapress.net/content/44/7/589.full.pdf>

MALLAU, S., VAUGOYEAU, M., ASSAINTE, C. (2010) Postural Strategies and Sensory Integration: No Turning Point Between Childhood and Adolescence. *PLoS ONE* 5 (9): e13078.doi:10.1371/journal.pone.0013078

MARTON, K. (2009) Imitation of body postures and hand movements in children with specific language impairment, *Exp Child Psychol* 102 (1): 1- 13 Retrieved 11.3. 2014 from source <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2584158/>



MORRONGIELLO, B. A., HUMPHREY, G. K., TIMNEY, B., CHOI, J., ROCCA, P. T. (1994) Tactual object exploration and recognition in blind and sighted children. *Perception* 1994 23 (7): 833- 48. Abstrakt. Retrieved 15. 12. 2013 from source <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7845773>

O´SULLIVAN, S., SCHMITZ, T. J. (2007) *Physical Rehabilitation*, F a Davis Company 2007. 1383 s. ISBN 0803612478

PFEIFFER, Jan. (2007) *Neurologie v rehabilitaci: pro studium a praxi*. 1. vydání. Praha: Grada, 2007, 350 s. ISBN 978-802-4711-355.

PETERKA, R. J., BENOLKEN, M. S. (1995) Role of somatosensory and vestibular cues in attenuating visually induced human postural sway, *Experimental Brain Research*, 105: 101-110

PICKETT, K., KONCZAK, J., (2009) Measuring kinaesthetic sensitivity in typically developing children. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1- 6.

SHUMWAY- COOK, A., WOLLACOTT, M., (2007) *Motor control*, Lippincott Williams and Wilkins 2007. 3rd edition. ISBN 13:978-0-7817-6691-3

SIGMUNDSSON, H., WHITING, H. T. A, LOFTESNES, J. M., (2000) Development of proprioceptive sensitivity, *Experimental Brain Research* 135: 348 - 352

SMYTH, M. M., MASON, U. C, (1998) Use of proprioception in normal and clumsy children, *Developmental Medicine and Child Neurology* 40: 672- 681

STEINDL, R., KUNZ, K., SCHROTT- FISCHER A., SCHOLTZ, A. W.,(2006) Effects of age and sex on maturation of sensory systems and balance control, *Developmental Medicine and Child Neurology* 48: 477- 482

TROJAN, S. *Fyziologie a léčebná rehabilitace motoriky člověka*. Praha: Grada, 2005. 237 s. ISBN 80-247-1296- 2

VALOUCHOVÁ, P., KAPEČKA, P., TRUC, M. (2014) *Kvalita posturálně- lokomoční funkce jako základ sportovní techniky*. Retrieved 28. 3. 2013 from source:  
[http://www.olympic.cz/docs/medicinsky\\_seminar\\_2013/Posturalne-lokomocni\\_funkce.pdf](http://www.olympic.cz/docs/medicinsky_seminar_2013/Posturalne-lokomocni_funkce.pdf)

VAŘEKA, I., VAŘEKOVÁ, (2009) *Ontogeneze chůze*. Kineziologie nohy. Olomouc: Vydavatelství UP Retrieved 12. 12. 2014 from source  
[http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.biomechanikapohybu.upol.cz%2Fnet%2Findex.php%2Fcomponent%2Fdocman%2Fdoc\\_download%2F6-84-ontogeneze-chze&ei=gXtVU63nMIPatAbOz4CIDQ&usg=AFQjCNH87knAswEtDvwMFAJhWVp3u3Kkcw&sig2=3jxyUqIF5oEKrt6Y\\_Bl68A&bvm=bv.65058239,d.Yms](http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.biomechanikapohybu.upol.cz%2Fnet%2Findex.php%2Fcomponent%2Fdocman%2Fdoc_download%2F6-84-ontogeneze-chze&ei=gXtVU63nMIPatAbOz4CIDQ&usg=AFQjCNH87knAswEtDvwMFAJhWVp3u3Kkcw&sig2=3jxyUqIF5oEKrt6Y_Bl68A&bvm=bv.65058239,d.Yms)

WINTER, D. A., (1995) Human balance and posture control during standing and walking, *Gait and Posture* 3: 193- 214 Retrieved 13.12. 2013 from source  
<http://www.reedinvent.com/home/users/web/b2317/cnc/work/ckeditortest/ckfinder/userfiles/files/human%20balance%20and%20posture%20control%20during%20standing%20and%20walking.pdf>

ZOUNKOVÁ, IRENA (2012) *Funkční anatomie nervového systému v pediatrii*. Prezentace.  
<<http://mefanet-motol.cuni.cz/clanky.php?aid=1977>>

Test školní zralosti, [http://is.muni.cz/th/351035/pedf\\_b/priloha\\_CD.pdf](http://is.muni.cz/th/351035/pedf_b/priloha_CD.pdf) pg 8

