

8.4 Ontogeneze chůze

Následující text je zkrácenou a upravenou verzí článků: *Revize výkladu průběhu motorického vývoje – novorozenecké období a holokinetické stadium* (Vařeka, 2006a) a *Revize výkladu průběhu motorického vývoje – monokinetické stadium až batolecí období* (Vařeka, 2006b).

Vývoj chůze je součástí celkového motorického vývoje a úzce souvisí s vývojem postury, která je základem všech cílených pohybů. Klasická neurofyziologická koncepce je založená na relativně uniformním vývoji *motorických milníků*, který je dán vyžíváním predeterminovaných vzorů v CNS. Vychází z předpokladu přímé kauzální závislosti mezi vývojem specifických neuroanatomických struktur a objevením se motorického chování. Vývoj je chápán jako vyžívání hierarchicky uspořádaného neuronového modelu. Základní principy tohoto konceptu vývoje shrnul do několika hlavních bodů Bradley (1992). V klasickém konceptu je novorozenecká motorika řízena nižšími primitivními reflexy a spinálními generátory motorických vzorů, tzv. *CPG* (Wilson, 1961; Kjaerulff & Kiehn, 1996; Marder & Calabrese, 1996; Pang & Yang, 2001; Grillner, 2003; Jones, 2003; Rossignol & Bouyer, 2004; Kullander, 2005). Tak jak během prvního roku vyžívají *vyšší centra*, dostávají se tato *nižší centra* pod jejich kontrolu. Primitivní pohyby jsou inhibovány anebo zahrnuty do volných pohybů. Zhruba v polovině 20. století se začal prosazovat *epigenetický* koncept, založený na komplexní sérii interakcí mezi genetickými programy a podněty z prostředí. Podle Forssberga (1999) jsou některé složky genetického programu závazné, druhově specifické a charakterizují důležité vlastnosti fenotypu, naopak jiné jsou méně závazné a poskytují možnost fenotypových variací. V naší odborné veřejnosti dodnes převažuje názor, že vývoj je dán „*uvolňováním (vyžíváním) vrozených (geneticky determinovaných) motorických vzorů*“ (Lesný, 1980; Vojta, 1993; Vojta & Peters, 1995; Kolář, 1996, 1997, 1998, 1999; Pavlů, Véle & Havlíčková, 2000; Beranová & Kováčiková, 1998; Kováčiková, 1998). Např. podle Koláře (2005) jsou svalové synergie, které se uplatňují během vývoje, uloženy v mozku jako matrice. Motorické vzory podle něj představují geneticky determinovanou, *stabilizující* složkou volní hybnosti, která zahrnuje i složité senzomotorické funkční vztahy uspořádané na vyšších stupních řízení a realizované v průběhu zrání CNS. Pouze *labilizující* hybné stereotypy považuje Kolář za naučené, zautomatizované pohyby. Tyto názory v podstatě zapadají do klasické neurofyziologické koncepce vývoje motoriky, tak jak ji popisuje např. Lesný (1980) či Trojan, Druga a Pfeiffer (1990). Alternativou k této klasické koncepci je výklad založený na základních biomechanických prin-

cipech a především učení v různých podobách a na různých úrovních. Vychází z Bernsteinovy koncepce „zmrazování“ a následného uvolňování *stupňů volnosti (degrees of freedom, DOF)* a teorie dynamického systému dle Thelenové (Vařeka, 2006a).

Pro **novorozenecké období** (prvních 4–5 dnů) je podle Lesného (1980) typická výrazná fyziologická hypertonie. Tuto flekční hypertonii lze v souladu s Bernsteinovým principem *zmražení DOF* považovat za projev silné posturální nejistoty při výrazné změně zevních podmínek. V motorice dítěte se krátce po narození uplatňují především nejjednodušší reflexy a synkinézy nutné pro bezprostřední přežití.

V **holokinetickém stadiu** (od konce 5. dne do konce 1. měsíce) se současně s „objevováním postury“ objevuje tzv. *novorozenecké kopání* a *novorozenecká chůze*. Jde o synkinézy, které bývají mylně pokládány za prekursor budoucí bipedální lokomoce, případně za důkaz existence vrozeného mechanismu chůze. Označení *novorozenecké(á)* v obou případech neodpovídá časovému vymezení pětidenního novorozeneckého období podle Lesného (1980). V odborné literatuře je však již tak zaužívané, že v současnosti nemá praktický smysl jej měnit. Střídavé pohyby dolních končetin pozoroval Perchtl i u fétů s lézí krční míchy a Peiper u anecefalických dětí (Forssberg, 1992).

Novorozenecká chůze (stepping reflex) je vyvolána postavením dítěte na plošky, lehkým vychýlením trupu vpřed a střídavým vychylováním do stran (Lesný, 1980). Její pozdější vymizení Lesný vysvětluje nedostatkem podnětů ze zevního prostředí, na kterém se podílí i nevyvinutá aferentace a nevyvinutý telencefalón. Podle Vojty (1993) mizí zhruba koncem 1. měsíce. Právě postupné vymizení během 1. trimenonu Lesný považuje za důsledek inhibice nižších spinálních center postupně vyžrávajícími vyššími centry. Podle názoru Thelenové je to ale jednoduše důsledek toho, že se dolní končetiny dětí stanou postupně příliš těžké díky subkutánnímu tuku (sic!) a dítě držené v závěsu v podpaží je nedokáže zvednout, protože ve vodě je možné *chůzový* mechanismus opět vyvolat (Thelen & Bates, 2003). Spíše se ale mění pákové poměry při růstu dítěte.

Podobně nápadnou synkinézou je *novorozenecké kopání* v poloze na zádech. I to bývá označováno za příklad manifestace vrozených programů spinálních motorických okruhů. Nicméně Thelenová upozorňuje, že nervové signály jsou velmi nespecifické vzhledem k vzorům kloubní koordinace a přesnému časování, takže přesné cykly flexe a extenze jsou *hnány* nediferencovanými vzory svalové aktivity. Podle ní jsou během flexe aktivovány nejen flexory, ale i extenzory, naopak extenze je pasivní, vyvolaná elastickými vlastnostmi svalů flektované dolní končetiny (Thelen & Bates, 2003). Jde tedy o mechanismus v principu podobný dechovému cyklu. Podle Thelenové (1992) nelze novorozenecké kopání

a novorozeneckou chůzi považovat za časné prekurzory pozdější lokomoce či dokonce zděděné spinální lokomoční programy, i když původně tyto názory také zastávala. Později ale došla k závěru, že jde o projev procesu *učení* systému během jeho interakcí s periferií. Popisované pohybové vzory dolních končetin totiž nejsou shodné s vzory při pozdější chůzi, liší se sfázováním pohybů v kloubech, aktivity svalů i souhrnu momentů aktivních a pasivních sil. Thelenová upozorňuje, že svalovou aktivitu během těchto pohybů lze modifikovat změnou zevních sil působících na končetinu, takže se nejedná o rigidní centrální vzory, naopak je možná rozsáhlá modulace prostřednictvím např. napínacího reflexu. Zajímavý pohled na podstatu novorozenecké chůze nabízejí práce z oblasti umělé inteligence a robotiky (např. Berthouze & Lungarella, 2004; Paul, 2003, 2004).

V **monokinetickém stadiu** (2.–5. měsíc) zvolna ustupují masivní synergie a dítě začíná pohybovat jednotlivými končetinami, zpočátku ale bez zřejmého směru a přesného ovládní. Fyziologická hypertonie je zhruba ve 4. měsíci nahrazena relativní fyziologickou hypotonií (Lesný, 1980). Z pohledu Bernsteinova modelu to dopovídá fázi *freeingu*. Podle Thelenové jsou opakované rytmické pohyby typické pro motorický systém s rodící se kontrolou. Díky objeveným možnostem svalové koordinace při zajištění postury je dítě ke konci 3. měsíce schopno zaujmout v poloze na zádech symetrickou polohu s napřímeným trupem a centrováním postavením v kořenových kloubech končetin. Přitom také zjišťuje, že když jednu končetinu využije pro oporu a lepší zajištění postury, má druhostranná homologní končetina lepší podmínky pro cílenou činnost. To je také jedno z možných vysvětlení lateralizace funkcí (Vařeka & Šiška, 2005).

Thelenová (1992) uvádí, že u čtyř až pětíměsíčních dětí se uvolňují tuhé synergie novorozeneckého období a dochází k pohybům v jednotlivých kloubech namísto synchronní flexe či extenze. Namísto střídavého kopání je dítě schopno zároveň kopat oběma nohama. Biomechanické vysvětlení lze vidět v tom, že současné přitažení obou končetin k trupu pomocí flexorů kyčle vyžaduje dostatečně zajištěné jejich *punctum fixum* na pánvi. Dokud nejsou břišní svaly schopny udržet pánev v retroverzi či neutrálním postavení, není synchronní kopání možné. V podstatě jde opět o problematiku postury. Zlepšující se schopnost zpevnit trup a vytvořit z něj relativně tuhý celek se společným těžištěm také umožňuje dítěti v poloze na zádech zvednout dolní končetiny tak, že postupně dosáhne na kolínka (zhruba 4,5 měsíce).

Během prvních měsíců vývoje dítě tedy postupně přechází od hůře zajištěné postury a pohybů končetin v otevřených kinetických řetězcích s reciproční aktivací antagonistů k lépe zajištěné postuře a uzavřeným

kinetickým řetězcům s koaktivací antagonistů a přiměřeným svalovým tonem. I poté, když dítě později uvolní horní končetinu z opory, se tato končetina obvykle pohybuje v určitém *uzavřeném řetězci*. Pokud má její koncový segment (např. poslední článek ukazováku) dosáhnout vytyčeného cíle, pak musí většinou dojít ke koordinovanému pohybu ve více jak jednom kloubu. Nejde tedy již o typický *biomechanický CKC* uzavřený rámem (či tíhovou silou), ale o *kineziologický CKC* uzavřený cílem (tzv. *teleologie*). Při zajištění posturální stability a řízení pohybu přechází dítě postupně od otevřených řídicích smyček (OL) s pohyby velkého rozsahu a hybnosti s další korekcí až po jejich dokončení k uzavřeným řídicím smyčkám (CL) s pohyby malého rozsahu a rychlosti korigované již ve svém průběhu.

V **dromokinetickém stadiu** (5.–12. měsíc) má již naprostá většina pohybů dítěte pro pozorovatele zcela jasný směr a účel, i když jejich koordinace je dosud zřetelně nedokonalá (Lesný, 1980). V 6. měsíci odeznívá reflexní úchop ruky, později i úchopový reflex nohy. V zásadě platí, že tyto reflexy musí vyhasnout před nástupem úchopové, resp. opěrné funkce (Vojta, 1993).

Významným pokrokem je v tomto období *lezení*. Podle Lesného (1980) dítě začíná lézt mezi 6. a 8. měsícem, ke konci dromokinetického stadia se objevuje *zkřížená koordinace* končetin. Forsberg (1999) považuje lezení za první cílenou lokomoci dítěte. Vojta (1993; viz také Vojta & Peters, 1995) upozorňuje na předcházející krátké dvou až tří týdenní období *plazení* či *tulenění*, při kterém se dítě pohybuje opřeno o lokty s volně nataženými dolními končetinami. Pro takto popisované *plazení* či *tulenění* je přesnější termín *plížení*. Plížení (resp. Vojtovo plazení či tulenění) klade relativně nejmenší nároky na posturu, protože trup je pouze tažen. Pro dítě s poruchou řízení motoriky jde o poměrně dostupný způsob lokomoce právě pro relativně malou náročnost na kvalitu postury a rozvinutí ruky a malé omezení případnou spasticitou dolních končetin. Naopak zdravé dítě využívá plížení jen krátkou dobu a rychle přechází k *nezralému lezení* s dorzální flexí nohy (Vojta, 1993).

Vojta (1993) charakterizuje *koordinované lezení* jako: a) střídavé zatěžování končetin, b) s nataženými prsty při opoře dlaní, c) bez náklonu ke straně, d) s nakročováním s lehkou plantární flexí v ose bérce, e) bez dorzální flexe nohy. Jako *nekoordinované (nezralé) lezení* označuje doprovodnou dorzální flexi v horním hlezenním (sic!) kloubu mizící obvykle kolem 10. měsíce. Vyloženě patologické lezení je podle Vojty (1993) charakterizováno oporou o pěst či kořen ruky s flexí prstů a vnitřní rotací kyčlí s divergencí stehů, případně ekvinozní držení nohy. Za patologické považuje i „*žabí hupkání*“. Nicméně různí autoři popisují u dětí v tomto období zhruba 20 různých způsobů lokomoce, přičemž ne

všechny odlišné od Vojtou popsaného koordinovaného lezení považují za patologické.

Jinou významnou lokomoční aktivitou je *podporovaná chůze*. Lesný (1980) popisuje už od konce 3. trimenonu tzv. *kroky s vedením v podpaží*, během kterých je dítě pasivně posunováno dopředu. Lze ji vyvolat jak ve směru dopředu, tak i dozadu či do boku (Cheron, Bouillot, Bernard, Bengoetxea, Draye & Lacquaniti, 2001). Thelenová využila k vyvolání podporované chůze u dětí ve věku 3–8 měsíců běžící pás. Děti byly schopny udržovat pravidelný rytmus, i když se pod každou nohou pohyboval pás jinou rychlostí (Thelen & Bates, 2003). Paradoxní je, že někteří autoři (např. Mulder & Hochstenbach, 2003) používají odkazy na starší práce Thelenové o spontánním novorozeneckém kopání a chůzovém automatizmu za jeden z důkazů *vrozenosti* pohybových vzorů. Přitom sama Thelenová je v recentních pracích interpretuje z pozic zastávce a propagátora modelu dynamického systému. (Thelen, 1992; Thelen & Bates, 2003; Thelen & Smith, 2006).

V **kratikinetickém stadiu** (12.–15. měsíc) dítě své pohyby velmi dobře ovládá. Přestože je postnatální motorický vývoj zvláště zřetelný především během prvních 12–18 měsíců, tedy do doby než dítě zvládne volnou chůzi, dochází k dalším méně dramatickým změnám i později. Např. mozečkové funkce *dozrávají* (podle klasického konceptu) až kolem 6.–8. roku (Lesný, 1980).

V tomto období začínají děti mezi 9.–18. měsícem postupně chodit samostatně bez potřeby zevní opory. Lesný (1980) uvádí, že se chůze objevuje někdy na konci 4. trimenonu, obvykle však až v 5. či 6. trimenonu. Interindividuální rozptyl nástupu chůze je tedy poměrně velký a je rozhodně chybou, pokud je dítě pasivně stavěno a do chůze nuceno nespokojenými matkami a babičkami. Těm je vhodné vysvětlit, že pro organizmus není vhodná plná vertikalizace, dokud si patřičně nezajistí vhodnou posturu včetně přiměřeného zpevnění osového orgánu, tedy trupu. Příčinou „*opožděné*“ vertikalizace může být např. pozdější vývoj osifikačních center kyčelních hlavic či jiných struktur kyčelních kloubů, což oddaluje možnost jejich zatížení při stoji a chůzi. Podle Forssberga (1992) není samostatná chůze umožněna sítěmi generujícími lokomotorickou aktivitu (*Central Patterns Generators – CPG*), ale vývojem posturálního řídicího systému. Zpočátku jde o kvadrupedální chůzi s přidržováním se stěn či nábytku nebo o chůzi s vedením za ruce. Pro dítě je zpočátku jednodušší chodit než volně stát. Postaví se u opory či s dopomocí a pak „běží za padajícím těžištěm“ k jiné opoře, protože není schopno samostatně zastavit ve volném stoji. O skutečné samostatné chůzi je ale možné začít mluvit tehdy, když je jí batole schopno zahájit z volného stoje, ve volném stoji zastavit a provést obrat. Pak již není možné přirovnávat chůzi

k *permanentnímu pádu* (Vařeka, 2002b). Vojta (1993) používá pojem *sociální bipedální chůze* pro úroveň, kdy je dítě schopno jít po nerovném terénu – asi v 15. měsíci.

Jak v období novorozenecké či podporované chůze, tak i na začátku samostatné chůze, dítě kontaktuje podložku nejdříve přední částí nohy (*digitigrádní chůze*). Během prvních měsíců samostatné chůze se její kvalita výrazně zlepšuje, zvyšuje se frekvence a délka kroků, snižují se oscilace hlavy a trupu (Forssberg, 1999).

Vývoj postury a chůze dále pokračuje v batolecím období i předškolním a mladším školním věku. Zhruba v 15.–16. měsíci přechází kojenecké období do *období batolecího*, kdy jsou pohyby plynulé, koordinované ačkoli ještě přetrvává určitá neobratnost (Lesný, 1980). Ve 3 letech vymizí bederní hyperlordóza a vyklenuté břicho, podle Gessela je dítě schopno symetricky vzpažit a provést plnou supinaci ruky (Vojta, 1993). Kolář (2001) uvádí, že k plnému dokončení posturálního vývoje tzv. fázičních svalů dochází ve 4 letech, kdy je dítě schopno zaujmout „*antagonistickou polohu oproti novorozeneckému držení*“. Touto antagonistickou polohou rozumí vzpřímený stoj s elevací paží k vertikále, zevní rotací a depresí v ramenních kloubech, extenzí v loktech, supinací předloktí, radiální dukcí zápěstí a extenzí a abdukci prstů. Právě test vzpažení je podle Koláře používán i u dětí s dětskou mozkovou obrnou jako jednoduchý ukazatel, zda bude dítě po případné korekční operaci schopno chůze. Vzpažení totiž vyžaduje dynamickou stabilizaci lopatky, která není možná bez přiměřeně kvalitní postury, resp. zpevnění trupu. A toto zpevnění trupu je jednou z podmínek bipedální chůze. Během vývoje dítě získává schopnost předvídat (*anticipovat*) důsledky svých vlastních pohybových aktivit a také předvídat dynamické změny okolí a využívat je pro své cíle. Řízení pohybu přechází od otevřené smyčky (OL), kdy až po dokončení pohybu jsou korigovány jeho *důsledky*, k uzavřené smyčce (CL), kdy je pohyb díky percepci korigován již během průběhu, tzv. *prospektivnímu řízení*. To již vyžaduje více cílenou *atitudu*, tedy posturu nastavenou tak, aby nejen umožnila pohyb, ale i antcipovala jeho důsledky.

Malé děti ve věku 1,5–3 roky dle EMG zapojují ve stoji stejné svaly DKK a trupu jako dospělí, ale jejich odpovědi mají větší amplitudu a trvání, takže *přestřelují* (Shumway-Cook & Woollacott, 1985). Osmileté děti používají méně svalů a mají menší amplitudu výchylek než děti čtyřleté (Shambes, 1976; Williams Fisher & Tritschler, 1983). Při plynulých sinusoidálních pohybech podložky tlumí děti ve věku 2–3 let oscilace kraniálních segmentů těla a hlavy hůře než děti ve věku 3–6 let a dospělí. U malých dětí jsou odpovědi končetin pozdní a výraznější, neuplatňují dostatečně anticipaci pohybu, řeší až akutně vzniklou situaci a nedokáží se přizpůsobit pravidelným opakovaným změnám (Berger

Trippel, Assaiante, Zijlstra & Dietz, 1995). V posturálně náročných situacích děti do 6 let blokují šíji i trup, což Assiante a Amblard (1992) vysvětlují omezením efektivitu zraku a vestibula a vyšším využitím propriocepce. Do 4 roků věku dítě nezvládne tandemový Rombergův stoj po dobu více jak 20 vteřin.

Při pokusech s prizmatickými brýlemi, které posunuly zrakové pole laterálně, používaly děti do 7 let více otevřené řídicí smyčky (OL), děti nad 7 let uzavřené smyčky (CL) a děti ve věku 9–11 let používaly OL i CL stejně jako dospělí (Hay, 1978, 1979). Riach a Starkes (1994) s použitím tenzometrických plošin zjistili, že s věkem dítěte se zmenšují výchylky jeho COP ve stoju. Od 4. do 15. roku se také postupně zmenšuje rychlost pohybu COP, největší pokles je mezi 6.–9. rokem. Ve věku 8 let byly zjištěny nejmenší variace rychlosti posunu COP, dokonce menší než u dospělých. Vysvětlením může být, že zatímco osmileté děti spoléhají především na CL, dospělí opět používají i OL. Již dříve Riach a Starkes (1993) zjistili, že při maximálních volných exkurzích COP dokážou sedmileté děti již využít 70–75 % plochy kontaktu jako opěrnou bázi, podobně jako dospělí. Hay (1978, 1979) pozoroval v období kolem 7. roku přechodné zhoršení přesnosti pohybů, což lze přisoudit destabilizaci systému v období změn strategií zajištění posturální stability. Je otázkou, nakolik se na tom také podílí *růstový spurt*, provázený výraznými změnami délkových a hmotnostních poměrů. Je zřejmé, že k zásadním změnám v řízení a mechanismech zajištění posturální stability dochází zhruba mezi 6.–8. rokem. Tomuto období je v klasické neurofyzilogii přisuzováno *vyzrávání* mozečkových funkcí (Lesný, 1980).

Dochází také k vývoji v oblasti chůze. Forssberg (1992) cituje Sutherlanda, že téměř všechny děti začínají v období 18.–24. měsíce kontaktovat podložku nejdříve patou, ale výrazná dorziflexe nohy před dopadem paty se neobjevuje před 2. rokem. Okolo 4. roku již koordinace chůze odpovídá dospělému, ale vyšší energetické nároky přetrvávají až do 12 let. K charakteristikám dospělé chůze patří také flexe kolene přetrvávající během oporové fáze, rotace a úklony pánve (Forssberg, 1999). Samostatně chodící děti ve věku 1–8 let vykazují při náhlém zrychlení běžícího pásu podstatně vyšší koaktivaci antagonistů než dospělí a to jak ve stoju tak i při chůzi.

Celý proces ranného vývoje (motoriky) lze v zásadě charakterizovat jako proces hledání a učení. Počet možných řešení jednotlivých *pohybových úloh* je vždy výrazně omezen anatomico-biomechanickými a fyziologickými vlastnostmi jeho těla a zevními podmínkami, za kterých pohyb probíhá. Vzhledem k této poměrně tuhé uniformitě podmínek dospělí nakonec všichni k velmi podobnému výsledku. Zásadní význam učení spočívá v tom, že poskytuje organizmu možnost okamžité či velmi

rychlé adaptace na aktuální podmínky. Změny chování při učení vyplývají z interakcí s prostředím, nikoliv z geneticky determinovaného *vzrávání*. CNS. Je zřejmé, že pokud jsou změny nepředpověditelné, nemohou být ani petrifikovány v řídicím systému. Naopak je žádoucí maximální flexibilita, např. při manipulaci s novými nástroji či chůzi ve členitém terénu. Extrémním případem obtížně předpověditelných podmínek jsou sociální interakce. Z evoluční biologie je známo, že čím přesněji je naprogramovaná ontogeneze, tím fatálnější následky má její narušení (Zrzavý, Storch & Mihulka, 2004). Obdobně jako v biologické evoluci tak i v ontogenezi platí, že s rostoucí specializací určité tkáně či orgánu roste výkonnost v daném směru, ale klesá schopnost adaptace při změně podmínek. To je ovšem možné kompenzovat právě díky schopnosti učení, které lze považovat za nejvýznamnější mechanismus přizpůsobení se jedince daným podmínkám. *Učební programy* řešení daných problémů se zřejmě během ontogeneze vyvíjí od primitivních a převážně stochastických k více výběrovým včetně řízeného učení. S nimi se mění i metody selekce vhodných řešení. Dítě se *učí jak se efektivně učit*. Na vývoj má od samého počátku postnatálního života významný vliv také kontakt s matkou, rodinou, později vrstevníky a celou společností. Motorický vývoj dítěte proto nelze oddělit od jeho celkového psychologického a sociálního vývoje (Forssberg, 1999). Především u člověka má význam mezigeneračního předávání informací negenetické povahy (tzv. *memů*) během ontogeneze stoupající význam pro její průběh a poznávání, zkoumání a učení obecně.

Organismu nejsou geneticky dány hotové motorické vzory ani jejich hrubé nárysy. Geneticky je zakódována struktura v hrubém plánu a především schopnost se učit, tedy schopnost vytvářet funkční spojení od prvních okamžiků vzniku vhodných struktur. Wolpert, Ghahramani a Flanagan (2001) to charakterizují tak, že se CNS adaptuje, aby byl schopen řídit tělo, které během vývoje mění své proporce i kvalitu funkce jednotlivých tkání, orgánů a systémů.