

2 Theorieën over motorische ontwikkeling

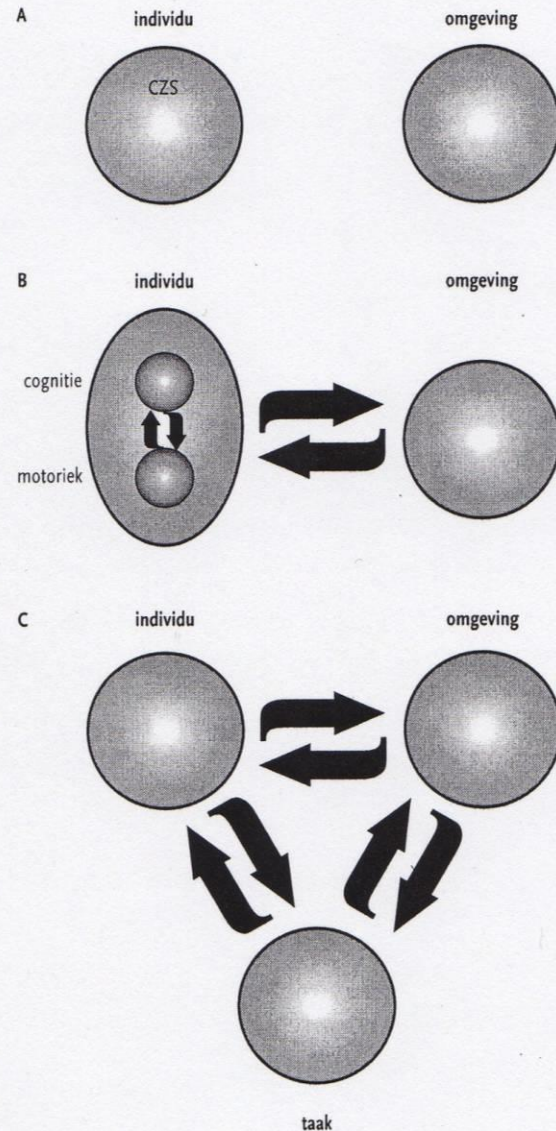
Chiel Volman en Raymond Wimmers

2.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt een aantal theorieën besproken met als onderwerp de motorische ontwikkeling. Het is geen uitputtend overzicht van bestaande theorieën, maar beperkt zich tot twee theoretische benaderingen die beide een belangrijke invloed hebben (gehad) binnen het werkveld van de kinderfysiotherapie alsmede twee meer recente ontwikkelingstheorieën. Achtereenvolgens zullen worden besproken: 1 de neurale rijpingstheorie van Gesell en McGraw; 2 de cognitieve ontwikkelingstheorie van Piaget; 3 de motorprogrammatheorie van Schmidt; en 4 de ecologisch-dynamische benadering, waarin in het bijzonder het affordance-begrip van Gibson en de dynamische ontwikkelingstheorie van Thelen aan de orde komen.

Globaal onderscheiden deze benaderingen zich van elkaar door de wijze waarop individu, omgeving en taakgebonden factoren invloed op elkaar uitoefenen gedurende het ontwikkelingsproces (zie fig. 2-1). In de rijpingstheorie van Gesell en McGraw is de invloed van omgeving en taak op de motorische ontwikkeling van het individu minimaal. Biologische rijping van het centrale zenuwstelsel is in feite de motor van het motorische ontwikkelingsproces, een proces dat in vaste en voorspelbare fases verloopt. In de cognitieve benaderingen van Piaget en van Schmidt is de motorische ontwikkeling afhankelijk van de ontwikkeling van cognitieve structuren (schema's of motorprogramma's).

In de ontwikkelingstheorie van Piaget is sprake van een wederkerige interactie tussen individu en omgeving. Een evenwichtsproces tussen accommodatie (aanpassing van motorische activiteit aan nieuwe taak- of omgevingseisen) en assimilatie (het interpreteren van informatie uit de omgeving) leidt tot de vorming van nieuwe cognitieve structuren. Deze structuren spelen een essentiële rol in de ontwikkeling van nieuwe motorische vaardigheden.



Figuur 2-1 Schematische weergave van de interactie tussen individu, omgeving en taak in: (A) de rijpingstheorie van Gesell en McGraw; (B) de cognitieve benadering van Piaget; en (C) de dynamische systeemtheorie.

De motorprogrammatheorie van Schmidt is eigenlijk geen specifieke ontwikkelingstheorie maar een leertheorie (zie ook hoofdstuk 3). Schmidt stelt dat ons bewegen gereguleerd wordt door gegeneraliseerde motorische programma's die algemene regels bevatten ten aanzien van het uitvoeren van bewegingen binnen een klasse van bewegingshandelingen. Motorische ontwikkeling staat in deze opvatting min of meer gelijk aan het leren van nieuwe regels alsmede het toepassen van bestaande regels in nieuwe situaties. De ontwikkeling van motorische programma's is puur afhankelijk van bewegingservaring: het kind leert – op basis van verschillende bronnen van feedback – van de consequenties van zijn handelen.

In de ecologisch-dynamische benadering worden het individu, de omgeving en de taak beschouwd als te onderscheiden entiteiten die elkaar gedurende een ontwikkelingsproces continu en wederzijds beïnvloeden. Het geheel wordt beschouwd als een complex systeem, waarbij (kleine) kwantitatieve veranderingen in de afzonderlijke subsystemen kwalitatieve veranderingen (transities) in het motorisch gedrag teweeg kunnen brengen. In deze laatste benadering wordt motorische ontwikkeling, in tegenstelling tot in de traditionele benaderingen, gezien als een niet-lineair dynamisch proces dat per definitie niet volledig voorspelbaar is en dat niet eenzijdig wordt gedetermineerd door neurale rijping of cognitieve factoren.

In de volgende paragrafen zullen we deze vier benaderingen uitvoeriger bespreken, waarbij we enerzijds de invloed van bepaalde benaderingen (Gesell en Piaget) op behandelprogramma's in de kinderfysiotherapie zullen bespreken en anderzijds de mogelijke implicaties van meer recente benaderingen (ecologisch-dynamische benadering) voor de fysiotherapie zullen aangeven.

2.2 RIJPINGSTHEORIE VAN GESELL EN MCGRAW

In de ontwikkelingstheorieën van Gesell¹⁻³ en McGraw^{4,5} wordt uitgegaan van de opvatting dat motorische ontwikkeling wordt gedetermineerd door endogene biologische factoren (nativistische of pre-deterministische benadering⁶). In beide theorieën veronderstelt men dat veranderingen in motorisch gedrag tijdens het ontwikkelingsproces worden ingezet en gereguleerd door rijping van het centrale zenuwstelsel (czs). Volgens McGraw is dat ontwikkelingsproces vrij rigide: neurale rijping en motorische functie zijn direct en lineair gerelateerd en omgevingsfactoren hebben daarop geen invloed. Ook in de

theorie van Gesell is de invloed van de omgeving minimaal, maar het ontwikkelingsproces is meer dynamisch van karakter omdat er fluctuaties in het ontwikkelingsverloop kunnen optreden, bijvoorbeeld op het moment dat het systeem zichzelf reorganiseert en kwalitatieve veranderingen in motorisch gedrag kunnen worden waargenomen.

Gesell stelde dat er een mechanisme van interne zelfregulatie bestaat dat dergelijke fluctuaties controleert en ervoor zorgt dat de ontwikkelingsfasen volgens een sequentieel patroon verlopen en dat eventuele vertragingen in de ontwikkeling weer worden ingelopen. Naast dit principe van interne zelfregulatie introduceerde Gesell nog twee andere belangrijke principes: 'reciproque verwevenheid' en 'ontwikkelingsrichting'. Reciproque verwevenheid houdt in dat er gelijktijdig twee verschillende maar nauw gerelateerde processen van differentiatie en integratie plaatsvinden die leiden tot een toename in de complexiteit van functioneel motorisch gedrag. Differentiatie heeft in het bijzonder betrekking op de ontwikkeling van grof- naar fijnmotorische vaardigheden, terwijl integratie betrekking heeft op de afstemming van het neuromusculaire en sensorische systeem tot een gecoördineerd geheel. Ten aanzien van de richting van het ontwikkelingsproces maakte Gesell onderscheid tussen een cefalocaudale ontwikkeling (van hoofd naar voeten) en een proximodistale ontwikkeling (van romp naar extremiteiten). Gesell veronderstelde dat de toename in bewegingscoördinatie en -controle zoals hij die in genoemde richtingen empirisch vaststelde een direct gevolg was van de rijping van het czs. Volgens Gesell is de houding de basis van waaruit alle vormen van beweging zich verder ontwikkelen.

Gesell en McGraw beschouwden motorische ontwikkeling als een kwalitatief proces, waarbij de opeenvolgende ontwikkelingsfasen volgens een vast en voorspelbaar patroon verlopen. Deze ontwikkelingsfasen zijn door beiden uitgebreid beschreven en hebben betrekking op vaste leeftijdsperiodes waarin het kind zich bepaalde rudimentaire motorische vaardigheden eigen maakt: beter bekendstaand als motorische mijlpalen. Mede vanwege hun normatieve karakter zijn deze beschrijvingen van grote waarde geweest voor diagnostische doeleinden en voor het verkrijgen van inzicht in de normale en pathologische motorische ontwikkeling.⁷ Wat betreft de theoretische rationale ervan moet echter een aantal kanttekeningen worden geplaatst.

In de eerste plaats is het idee dat het motorische ontwikkelingsproces volledig bepaald wordt door neurale rijping niet houdbaar. Zeker, het centrale zenuwstelsel speelt een belangrijke rol in de motorische ontwikkeling, maar bepaalde vragen blijven toch grotendeels onbeantwoord: hoe leidt neurale rijping nu precies tot het ontstaan van nieuwe motorische vaardigheden en hoe kunnen de grote individuele verschillen in het tijdstip waarop en de volgorde waarin motorische mijlpalen worden bereikt worden verklaard? Empirisch onderzoek in de groep van Esther Thelen heeft laten zien dat omgeving- en taakgebonden factoren mede een belangrijke rol spelen in het motorische ontwikkelingsproces (zie paragraaf 2.5).⁸ Het bekendste voorbeeld daarvan is het onderzoek naar de stapreflex.⁹ Bij een pasgeborene kan, wanneer het kind met beide voetjes op de grond wordt gezet, tot op een leeftijd van ongeveer tien weken een stapbeweging (infantiele loopreactie) worden uitgelokt. Na deze leeftijd verdwijnen de stapbewegingen om aan het eind van het eerste jaar in de vorm van loopbewegingen weer terug te keren. Deze veranderingen werden voorheen altijd toegeschreven aan neurale rijping. Maar als een oudere baby – die geen stapbewegingen meer laat zien – tot aan zijn middel in het water wordt geplaatst, kunnen de stapbewegingen opnieuw worden uitgelokt. Ook het omgekeerde is het geval: de stapbewegingen verdwijnen wanneer de benen met gewichtjes verzwaard worden. Hieruit volgt dat het verschijnen en verdwijnen van de stapbewegingen afhankelijk is van de verhouding tussen beengewicht en spierkracht en dus niet alleen van neurale rijping. Verdere ondersteuning voor deze stelling komt uit een onderzoek van Zelazo, waarin baby's werden getraind in het maken van stapbewegingen.^{10,11} Gevonden werd dat na training de stapbeweging niet verdween. De verklaring van Thelen e.a. voor deze bevinding is dat training een toename in spierkracht tot gevolg had waardoor de verhouding spierkracht-beengewicht gunstig werd beïnvloed, met als resultaat dat de stapbeweging uitgevoerd kon blijven worden.^{12,13} Het feit dat niet alle pasgeborenen een identiek beengewicht en dezelfde spierkracht hebben, maakt duidelijk dat er variatie is in de precieze leeftijd waarop de stapbeweging verdwijnt of waarop een kind voor het eerst gaat lopen.

In de tweede plaats kan men zich afvragen in hoeverre Gesells principe van cefalocaudale en proximodistale ontwikkeling enkel en alleen een functie van neurale rijping is. Het is meer waarschijnlijk dat

ontwikkelingsrichting ook afhankelijk is van taakspecifieke invloeden.¹⁴ Bovendien zijn er aanwijzingen dat de ontwikkeling niet altijd van proximaal naar distaal verloopt. Uit een recent onderzoek waarin – prenataal – veranderingen in armhouding bij gezonde foetussen werden bestudeerd, bleek dat de arm gefaseerd een voorkeur ontwikkelde voor een flexiehouding.¹⁵ Op grond van de rijpingstheorie zou men verwachten dat de sequentievulgorde de volgende zou zijn: 1 flexie van de elleboog, 2 flexie van de pols en 3 flexie van de vingers. Vingerflexie bleek echter eerder dominant te zijn dan polsflexie.

In de derde plaats wordt er binnen de neurale rijpingstheorie wel onderscheid gemaakt tussen kwalitatief verschillende en opeenvolgende fases, maar er wordt geen afdoende verklaring gegeven voor het mechanisme dat ten grondslag ligt aan de transitie van de ene naar de andere ontwikkelingsfase. Het feit dat deze fases volgens een vast sequentieel patroon verlopen doet ook weinig recht aan de grote inter- en intra-individuele variabiliteit die eerder regel dan uitzondering is en aan het feit dat ook vaak fases worden overgeslagen.¹⁶ Uit een longitudinaal onderzoek van Largo e.a.¹⁷ naar de ontwikkeling van voortbeweging bij kinderen bleek bijvoorbeeld dat weliswaar 87% van de kinderen hetzelfde ontwikkelingstraject (rollen, tijgeren, kruipen, staan en lopen) volgde, maar dat 13% een hiervan afwijkend traject liet zien. Zij vonden ook een enorme diversiteit in de uitvoering van de specifieke mijlpalen. De auteurs van dit onderzoek stellen dan ook dat variaties kennelijk onderdeel vormen van een normaal ontwikkelingsverloop en gerelateerd zijn aan omgevingspecifieke kenmerken, en derhalve niet zonder meer indicatief zijn voor een pathologische ontwikkeling.

Naast bovenstaande bezwaren kan ook nog worden opgemerkt dat de rijpingshypothese impliceert dat bewegingservaring en dus ook bewegingsbeïnvloeding in het kader van interventie nauwelijks effect kan sorteren.¹⁸

De neurale rijpingstheorie is lange tijd het dominante paradigma op het terrein van de motorische ontwikkeling geweest. Dit was mede het gevolg van de gehanteerde onderzoeksmethode, die cross-sectioneel en beschrijvend van aard was. Dat wil zeggen dat bij verschillende leeftijdsgroepen de gemiddelde leeftijd werd vastgesteld waarop bepaalde motorische mijlpalen zich manifesteerden. Er werd echter niet geverifieerd of een waargenomen ontwikkelingsvolgorde zich ook voordeed bij individuele kinderen door

middel van een longitudinale onderzoeksmethode, waarbij de motorische ontwikkeling van een kind gedurende een langere tijd op meerdere momenten in kaart wordt gebracht.¹⁹ Longitudinale studies zijn echter tijdrovend dus kostbaar en zijn daarom schaars.

De neurale rijpingstheorie van Gesell heeft een grote invloed gehad op de rationale van verschillende behandelprogramma's binnen de kinderfysiotherapie. Zo vinden we bijvoorbeeld in de Bobath-methode,²⁰ of in een latere variant ervan ('Neuro Developmental Treatment'), het idee terug dat de ontwikkeling in gepredetermineerde en opeenvolgende fases verloopt van op reflexen gebaseerde bewegingen naar willekeurige gecontroleerde bewegingen, waarbij door middel van een proces van hiërarchische integratie de motorische controle toeneemt doordat 'lagere' delen van het czs (fylogenetisch oudere structuren zoals de hersenstam en subcorticale gebieden) worden geïnhibeerd door 'hogere' gebieden (cortex). De afwezigheid van deze remming bij pathologie van het czs, bijvoorbeeld bij kinderen met een cerebrale parese, staat volgens Bobath een normale ontwikkeling in de weg. De Bobath-methode heeft als uitgangspunt dat het herstelproces zoveel mogelijk de normale ontwikkeling (lees: het 'normale' neurale rijpingsproces) dient te volgen. De behandeling richt zich dan ook op de inhibitie van abnormale 'primitieve' bewegingspatronen en de facilitatie van normale bewegingspatronen, al dan niet op actieve of passieve wijze. De therapie dient aan te grijpen op die ontwikkelingsfase waarin het kind is blijven steken. Tevens dient rekening te worden gehouden met het proximodistale en cefalocaudale ontwikkelingsverloop.

De ideeën van McGraw en Gesell hebben ook hun sporen achtergelaten in het behandelprogramma van Vojta,²¹ dat specifiek gericht is op zuigelingen, en het sensorische integratieprogramma van Ayres.²² In beide programma's wordt bij kinderen met een afwijkende ontwikkeling getracht door middel van motorische oefeningen (Vojta) en sensorische stimulatie (Ayres) de neurale rijping gunstig te beïnvloeden en de 'normale' ontwikkelingsgang opnieuw te doorlopen vanaf de fase waarin de ontwikkeling is gestagneerd.

2.3 COGNITIEVE ONTWIKKELINGSTHEORIE VAN PIAGET

De ontwikkelingstheorie van Piaget^{23,24} is eigenlijk

meer een theorie over cognitieve dan over motorische ontwikkeling. Een belangrijke veronderstelling in deze theorie is dat het opdoen van bewegingservaring een conditionele voorwaarde vormt voor de latere cognitieve ontwikkeling. In tegenstelling tot de ontwikkelingstheorie van Gesell is hierbij sprake van een wederkerige interactie tussen individu en omgeving. Piaget beschouwt ontwikkeling als een zelfregulerend aanpassingsproces (adaptatie) aan veranderingen in de omgeving. Centraal in dat proces staan de begrippen accommodatie en assimilatie.

Accommodatie heeft betrekking op het proces waarbij bestaande cognitieve structuren of schema's en de daaruit voortvloeiende motorische responsen worden aangepast aan nieuwe taak- of omgevingseisen.

Wanneer een kind bijvoorbeeld al in staat is een bal te gooien of te vangen, vereist dezelfde taak met een ballon een andere motorische respons, omdat de fysische kwaliteiten van een ballon nu eenmaal anders zijn dan die van een bal. Assimilatie heeft betrekking op het interpreteren en vastleggen van nieuwe informatie in bestaande schema's. Het leren kennen van de fysische kwaliteiten van allerlei verschillende objecten en substanties vormt daarvan onderdeel. Een kind moet bijvoorbeeld leren ervaren dat een ballon veel lichter is en minder traagheid heeft dan een bal.

Accommodatie en assimilatie resulteren uiteindelijk in de vorming van hogere cognitieve structuren. Essentieel bij dit proces is dat er een bepaalde mate van bewegingsexploratie en -activiteit nodig is om kwalitatieve veranderingen in de cognitieve ontwikkeling te bewerkstelligen. Een voorbeeld: voor de motorische vaardigheid 'reiken naar een object' moet een goede oog-handcoördinatie tot stand worden gebracht. Daarvoor dient volgens Piaget een cognitieve representatie (sensomotoriekschema) te worden geconstrueerd die visus en hand koppelt. Dit kan volgens Piaget plaatsvinden door visuele en proprioceptieve informatie van de hand te matchen met de visuele informatie van het object en deze te integreren in één enkel visueel-motorisch schema. Dit vergt een proces van 'trial' en 'error' totdat de integratie van verschillende informatiebronnen heeft geleid tot de vorming van een nieuw visueel-motorisch schema.

Het equilibriummodel van Piaget stelt dat er tijdens de ontwikkeling een continu proces gaande is waarin accommodatie en assimilatie afwisselend in- en uit-evenwicht zijn. Dit equilibriumproces resulteert in vier discontinue en sequentiële ontwikke-

lingsfases (sensomotorisch, 0-2 jaar; preoperationeel, 2-7 jaar; concreet-operationeel, 7-11 jaar; formeel-operationeel, vanaf 11 jaar) die elk zijn onderverdeeld in subfases. Elke fase begint met een uit-evenwicht-toestand. Na een periode van stabilisatie van evenwicht op een bepaald cognitief niveau wordt de cognitieve organisatie opnieuw uit-evenwicht gebracht (het kind exploreert en kan net niet voldoen aan nieuwe omgevingsisen), hetgeen uiteindelijk leidt tot een nieuwe cognitieve aanpassing op een hoger niveau. Het opdoen van bewegingservaring is vooral in de sensomotorische fase van belang in verband met de vorming van sensomotoriekschema's.

Een belangrijk kritiekpunt op de theorie van Piaget betreft de veronderstelling dat motorische activiteit ten grondslag ligt aan de latere cognitieve ontwikkeling. Voor deze veronderstelling blijkt onvoldoende empirische ondersteuning te bestaan.²⁵ Ook kan op basis van deze veronderstelling niet worden verklaard waarom bijvoorbeeld kinderen met een ernstige motorische handicap toch over een normale intelligentie kunnen beschikken. Een ander kritiekpunt is dat Piaget geen afdoende verklaring biedt voor het mechanisme dat ten grondslag ligt aan de overgang van de ene naar de andere fase. Ten slotte kan men kritiek hebben op het gedetermineerde karakter van de ontwikkelingsfases. Weliswaar wordt bij Piaget het ontwikkelingstempo door omgevingsfactoren beïnvloed, maar de vaste opeenvolging van de fases en het uiteindelijk te bereiken eindniveau is volgens Piaget erfelijk bepaald.

De rationale achter een aantal motorische behandelprogramma's is duidelijk door de ontwikkelings-theorie van Piaget beïnvloed. In het sensorische integratieprogramma van Ayres,²² dat is bedoeld voor kinderen met leerproblemen die ook motorische stoornissen (apraxie, hyperkinesie, coördinatie-ontwikkelingsstoornis) vertonen, gaat men uit van de veronderstelling dat leerproblemen het gevolg zijn van een stoornis in de sensorische integratie, bijvoorbeeld doordat de afstemming van proprioceptieve, vestibulaire en tactiele informatie in het czs niet goed verloopt. In het programma worden doelgerichte motorische activiteiten gecombineerd met specifieke sensorische prikkels (in het bijzonder tactiele en vestibulaire) met als doel de sensorische integratie te bevorderen en de leerproblemen positief te beïnvloeden. Het programma is sterk gebaseerd op de Piagetiaanse gedachte dat motorische activiteiten ten grondslag liggen aan de ontwikkeling van het cogni-

tieve functioneren. Ook het behandelprogramma van Kephart is gebaseerd op deze gedachte.²⁶ Kephart onderscheidt een aantal Piagetiaanse fases (motorisch, motorisch-zintuiglijk, perceptueel-motorisch, perceptueel, perceptueel-conceptueel, conceptueel) waarin de ontwikkeling van een kind met leerproblemen mogelijk is blijven steken. De behandeling (motorische activiteiten) gaat terug naar de desbetreffende fase en richt zich op het opnieuw aanbieden en doorlopen van die fase en de daaropvolgende ontwikkelingsfases.

2.4 MOTORPROGRAMMATHEORIE VAN SCHMIDT

De motorprogrammatheorie van Schmidt^{27,28} is eigenlijk meer een theorie over motorisch leren dan over motorische ontwikkeling. De theorie is echter ook toegepast op de motorische ontwikkeling van kinderen. Als ontwikkelingstheorie valt de motorprogrammatheorie in de categorie 'empirische ontwikkelingsbenadering', die – in tegenstelling tot de nativistische benadering (bijvoorbeeld Gesell) – ervan uitgaat dat ervaring en leren de basis vormen voor de ontwikkeling. Schmidt stelt dat tijdens het leren van motorische vaardigheden schema's of gegeneraliseerde motorische programma's worden gevormd, waarin de abstracte kenmerken of regels van een bepaalde klasse van bewegingshandelingen (bijv. schrijven of het bovenhands gooien van een bal) zijn opgeslagen. Hetzelfde motorisch programma vertoont onder verschillende omstandigheden een consistent bewegingspatroon. Het schrijven van de letter 'a' op papier (horizontaal) of op een schoolbord (verticaal) laat dezelfde invariante kenmerken zien. Variatie in beweging komt tot stand doordat binnen een gegeneraliseerd programma de instellingen van bewegingsparameters zoals de sequentie, timing en kracht worden veranderd. In zekere zin is het leerproces dat leidt tot consistente en variabele bewegingshandelingen vergelijkbaar met het proces van assimilatie en accommodatie in de theorie van Piaget.

Motorische ontwikkeling betekent in de programmabepaling dat voor het leren van een motorische vaardigheid programmaregels moeten worden gevormd. Wanneer een vaardigheid al min of meer wordt beheerst moet een kind leren bestaande regels in nieuwe situaties toe te passen. De ontwikkeling van een motorisch programma is puur afhankelijk van bewegingservaring; het kind leert – op basis van verschillende bronnen van interne (bijv. visueel en

proprioceptief) en externe feedback (bijv. instructie, aanwijzingen van therapeut) – van de consequenties van zijn handelen. In navolging van Fitts en Posner²⁹ kan men drie fases in het motorisch leerproces onderscheiden: 1 de cognitieve fase, waarin nog naar de juiste uitvoering van een taak wordt gezocht (cognitieve strategie) en de uitvoering ervan veel aandacht vereist; 2 de associatieve fase, waarin de bewegingen op basis van ‘trial’ en ‘error’ consistent worden en feedback een belangrijke rol speelt; en 3 de autonome fase, waarin bewegingen snel, consistent en zonder veel aandacht en feedback kunnen worden uitgevoerd.

Met betrekking tot het thema motorische ontwikkeling en leren is de variabiliteitshypothese die binnen de motorprogrammatheorie ter sprake komt van belang. Deze hypothese houdt in dat variatie in bewegingservaring de vorming van abstracte regels in het motorisch programma vergemakkelijkt in vergelijking tot eenzijdige ervaring. Dit zou bij het aanleren van een bepaalde vaardigheid resulteren in een grotere transfer naar andere vaardigheden binnen dezelfde klasse van bewegingshandelingen. Er bestaat onduidelijkheid of de variabiliteitshypothese ook opgaat voor kinderen. In een studie waarin kinderen tot taak hadden zandzakjes in een bakje te gooien werd wel evidentie voor deze hypothese gevonden.³⁰ Kinderen die oefenden met zakjes van verschillend gewicht scoorden beter dan kinderen die oefenden met zakjes van gelijk gewicht op een transfertaak waarbij een zakje met een ander – niet geoefend – gewicht werd gebruikt. In twee overzicht-artikelen^{31,32} werd aan de hand van een meta-analyse van een groot aantal studies de empirische houdbaarheid van de variabiliteitshypothese bij kinderen nader onderzocht. In het ene overzicht³¹ werd wel ondersteuning voor de hypothese bij kinderen gevonden, in het andere³² echter in het geheel niet.

Behalve de empirische onduidelijkheid omtrent de variabiliteitshypothese is er bij de motorprogrammatheorie ook sprake van een theoretisch ‘nieuwheid’- en ‘homunculus’-probleem. De theorie geeft namelijk geen antwoord op de vraag hoe tijdens de motorische ontwikkeling nieuwe motorische vaardigheden kunnen ontstaan. Is bijvoorbeeld in de kruipfase al een programma voor lopen aanwezig, of worden de programmaregels daarvoor pas later gevormd en hoe? Het homunculusprobleem betreft de vraag wie of wat in het brein bepaalt wanneer welk motorisch programma geselecteerd moet worden, bijvoor-

beeld of in een bepaalde situatie het programma om te lopen of om te kruipen wordt geselecteerd.

De motorprogrammabenedering heeft binnen de fysiotherapie enige navolging gekend, zowel met betrekking tot de behandeling van kinderen, bijvoorbeeld kinderen met een ‘developmental coordination disorder’^{33,34} en de behandeling van volwassenen, bijvoorbeeld patiënten met een cerebrovasculair accident (cva).³⁵ Zulke behandelprogramma’s richten zich op het (her)leren van motorische vaardigheden, waarbij leerprincipes zoals het geven van verschillende vormen van feedback en variatie in motorische oefening worden toegepast.

2.5 ECOLOGISCH-DYNAMISCHE BENADERING

Na een lange periode van stilte is motorische ontwikkeling in de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw weer in de belangstelling gekomen. De reden voor deze belangstelling was het ontstaan van nieuwe theorieën over ontwikkeling, waaronder de ecologische psychologie³⁶ en de dynamische systeemtheorie.³⁷ Deze theorieën genereerden nieuwe onderzoeksvragen en maakte gebruik van nieuwe onderzoeksstrategieën en instrumenten. Het resultaat van deze ervaring was duidelijk waarneembaar in de toename van tijdschriftartikelen en het verschijnen van diverse specials en boekhoofdstukken die motorische ontwikkeling, zoals reiken, grijpen, voortbewegen en houding als onderwerp hadden.^{8,19,38-40}

De ecologische psychologie en dynamische systeemtheorie zijn twee benaderingen die los van elkaar zijn ontstaan, die beide oplossingen aangaven voor het bewegingscoördinatieprobleem. Beide benaderingen zijn heden ten dage onlosmakelijk met elkaar verbonden bij de beschrijving en verklaring van motorische ontwikkeling in het algemeen en bewegingscoördinatie in het bijzonder. Het doel van de onderhavige paragraaf is beide benaderingen de revue te laten passeren om zo te komen tot een synthese van beide. Vanuit deze synthese worden aanknopingspunten geboden voor een fysiotherapeutische behandeling.

2.5.1 Ecologische benadering

De hoeksteen van de ecologische psychologie is dat waarneming en handelingen onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn. Deze relatie werd door Gibson³⁶ weergegeven in de ‘perceptie-actie cyclus’. Perceptuele informatie begeleidt handelingen en handelingen genereren perceptuele informatie. Het

is deze continue cyclus die relevant is voor het beschrijven van ontwikkeling waarbij onder andere wordt gezocht naar relevante informatie die het kind gebruikt om zijn handeling te sturen. Voor het beschrijven van deze informatie maken we gebruik van het begrip *affordance*, dat als volgt door Gibson wordt gedefinieerd:³⁶

'The affordances of the environment are what it offers the animal, what it provides or furnishes, either for good or ill. The verb to afford is found in the dictionary, but the noun affordance is not. I have made it up. I mean by it something that refers to both the environment and the animal in a way that no existing term does. It implies the complementarity of the animal and the environment' (p. 127).

Een *affordance* geeft de directe relatie tussen waarnemen en (de mogelijkheid tot) handelen weer. Niet iedere persoon heeft dezelfde *affordances*. Zo is bijvoorbeeld voor een kind een stoel iets om op te klimmen terwijl dat voor een kind met een motorische handicap niet het geval hoeft te zijn. Een ander voorbeeld is de grijpbaarheid van een object. Het kunnen grijpen van een bal met één hand is afhankelijk van de vaardigheden van een persoon, maar is ook gerelateerd aan zoiets als 'lichaamsmaten'. Voor iemand met grote handen is het gemakkelijker om een redelijk grote bal met één hand te pakken dan voor iemand met kleine handen. Als we echter kijken bij welke ratio van balgrootte en handgrootte het niet meer mogelijk is om een bal met één hand te pakken, blijkt dit bij ongeveer dezelfde waarde te liggen. In het algemeen beschrijft een ratio hoe de eigenschappen van de omgeving zich verhouden tot eigenschappen van het handelingssysteem.⁴¹ Een kleine verandering in de ratio handgrootte/balgrootte kan tot gevolg hebben dat het object met twee handen in plaats van met een hand opgepakt wordt. Een geheel ander handelingspatroon ontstaat.

Omdat ratio's betrekking hebben op zowel omgevingsvariabelen en variabelen van het handelingssysteem zijn ze in principe niet direct afhankelijk van de leeftijd. De fysieke groei van het kind heeft dus geen directe gevolgen voor het waarnemen van een handelingsmogelijkheid. Wel spelen de handelingsmogelijkheden van het individu zelf een rol. Een kind van drie jaar en een volwassene tonen bij

dezelfde ratio dezelfde wijze van grijpen.⁴² Een baby zal echter de verschillende manieren van grijpen bij verschillende ratio's nog niet vertonen om de eenvoudige reden dat het nog niet in zijn of haar gedragsrepertoire voorkomt. Het blijkt dat dit ook voor kinderen met het syndroom van Down geldt.⁴³ Kinderen met het syndroom van Down (DS) hebben vaak kleinere handen waardoor ze eerder voorwerpen met twee handen zullen pakken, echter de overgang van één naar tweehandig pakken van voorwerpen vindt plaats bij dezelfde ratio handgrootte/objectgrootte als gezonde kinderen van dezelfde leeftijd. Een foutieve conclusie zou in dit geval kunnen zijn dat kinderen met DS problemen hebben met hun fijne motoriek omdat ze kleinere voorwerpen eerder met twee handen pakken.

Uit een onderzoek waarbij kinderen moesten beoordelen of zij door een opening konden lopen blijkt dat jonge kinderen met een cerebrale parese (CP) deze opdracht slechter uitvoeren dan gezonde leeftijdgenootjes. Bij het daadwerkelijk uitvoeren van de taak bleek echter dat alle kinderen evengoed scoorden wanneer voor lichaamsbreedte werd gecorrigeerd.⁴⁴ Dit gegeven ondersteunt de perceptie-actiecyclus-hypothese die stelt dat de uitvoering van een handeling betekenis heeft voor de perceptuele beoordeling.

Samenvattend: kinderen kunnen tamelijk goed de (on)mogelijkheden tot handelen waarnemen. Het kunnen waarnemen van handelingsmogelijkheden is echter niet aangeboren, hetgeen de vraag opwerpt hoe kinderen *affordances* leren ontdekken. Exploratie schijnt hierbij een belangrijk element te zijn.

Het ontdekken van *affordances*

Door exploratie kunnen kinderen handelingsmogelijkheden ontdekken die zij daarvoor nog niet tot hun beschikking hadden. Exploratie is een actief proces waarin *affordances* zich openbaren. Gedurende de ontwikkeling verandert het organisme waardoor factoren van beperkende aard (bijv. spierkracht, diepte zien enz.) worden opgeheven. Kinderen die eerst op hun rug lagen kunnen zich omrollen, of kinderen beginnen te kruipen. Deze nieuwe handelingsmogelijkheden leiden tot het ontdekken van weer nieuwe *affordances*. Bovendien worden kinderen door exploratie sensitiever met betrekking tot het kunnen bepalen welke informatie voor hun handelingen relevant is.

De relatie tussen exploratie en affordance kunnen we illustreren aan de hand van een onderzoek van Gibson e.a.⁴⁵ waarin kinderen die los kunnen lopen werden vergeleken met kinderen die alleen kunnen kruipen. De kinderen werd gevraagd over een waterbed heen te lopen. Het bleek dat 'lopers' meer tijd nodig hadden om over het waterbed te komen dan 'kruipers' doordat zij veel tijd kwijt waren met de exploratie van het waterbed (bijv. indrukken van het bed met een voet), waardoor het langer duurde voordat zij begonnen met lopen. Kennelijk zagen de lopers, in tegenstelling tot de kruipers, het waterbed in eerste instantie niet als een object om overheen te lopen.

In een serie experimenten van Karen Adolph werd de relatie tussen handelingsmogelijkheden (kruipen versus lopen), het waarnemen van affordances en exploratie ook aangetoond.^{38,46} Zo liet zij kruipers en lopers een helling met verschillende hellingshoek op en af gaan. Uit de resultaten van dit cross-sectionele onderzoek kwam naar voren dat bijvoorbeeld lopers bij het naar beneden gaan bij een grote hellingshoek wisselen van lopen naar glijden. Bij minder steile hellingen namen de lopers veel tijd voor het ontdekken van de mogelijkheden om lopend naar beneden te komen. Kruipers daarentegen weigerden veelal om een steile helling af te gaan en exploreerden ook geen alternatieve handelingsmogelijkheden om af te dalen. In dit longitudinale onderzoek werden kruipers gevolgd vanaf hun eerste week van kruipen tot aan enkele weken nadat zij los konden lopen. Het bleek dat kruipers na verloop van tijd steeds nauwkeuriger de (on)mogelijkheid een helling op en af te gaan konden beoordelen ten teken dat zij efficiënter werden bij het exploreren van hun handelingsmogelijkheden. In deze studie werd echter geen transfer van deze bekwaamheid gevonden als een kruiper ging lopen. De loper moest opnieuw leren hoe hij moest handelen bij het op- en afgaan van hellingen. Deze bevindingen laten zien dat hetgeen geleerd is gerelateerd is aan de handelingsmogelijkheden van het kind en taakspecifiek is. De algemene conclusie die uit het onderzoek van Adolph kan worden getrokken is dat veranderingen in de keuze van wijze van voortbeweging en veranderingen in de mate van exploratie voortkomen uit een proces van differentiatie en selectie dat onder andere wordt aangezet door veranderingen in de dagelijkse ervaring van het kind, lichaamsdimensies en het vaardigheidsniveau met betrekking tot het voortbewegen op een vlakke ondergrond.

2.5.2 Dynamische systeemtheorie

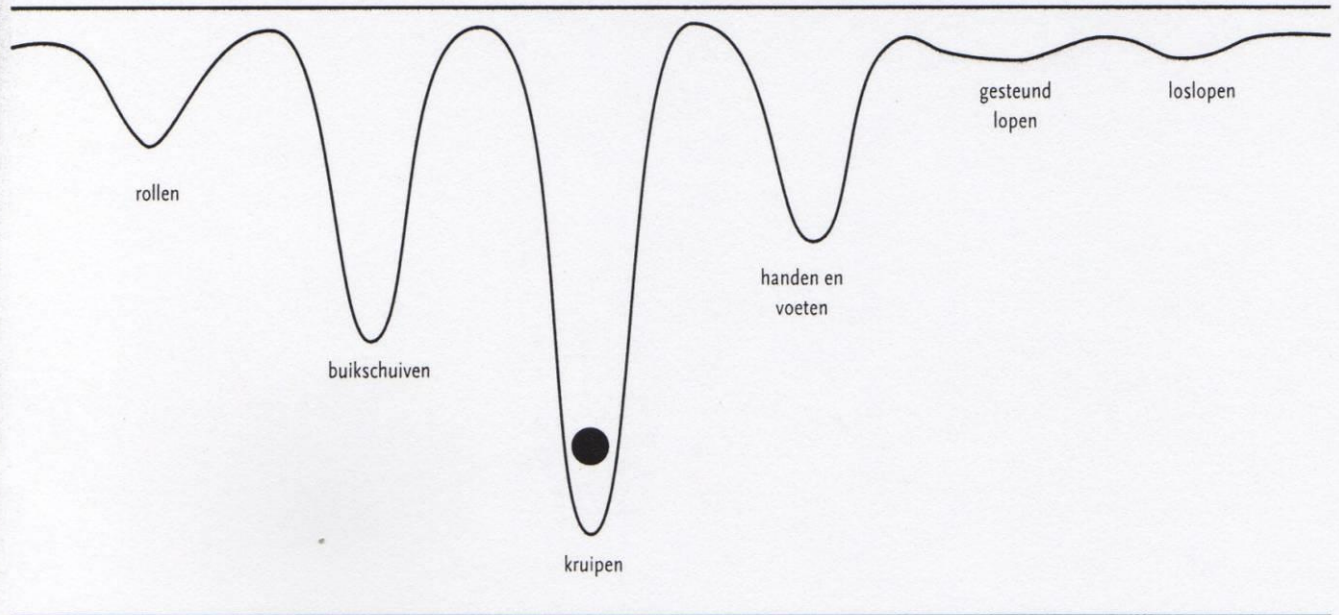
Recentelijk is de dynamische systeemtheorie (DST), een theorie uit de natuurwetenschappen, van steeds grotere betekenis geworden in de studie naar de ontwikkeling van motorische vaardigheden.^{8,47-52} Vanuit deze benadering staat, net als bij de ecologische benadering, de relatie tussen baby en zijn omgeving centraal. Ontwikkeling kan alleen worden begrepen als dit hele systeem – de baby in zijn omgeving dus – bestudeerd wordt. Hierin onderscheidt de dynamische systeembenadering zich duidelijk van de rijpingsbenadering waarin motorische ontwikkeling wordt beschouwd als een neurale proces dat losstaat van omgevingsinvloeden.

Volgens de DST ontstaan in een complex evoluerend systeem zoals dat van het menselijk bewegen nieuwe motorische vaardigheden of coördinatiepatronen (bijv. rollen, kruipen, lopen) uit de vele interacties tussen de samenstellende componenten van het bewegingsapparaat (bijv. spieren, gewrichten, neuronen). Voorwaarde is wel dat de juiste omgeving- en taakomstandigheden aanwezig zijn (bijv. stevigheid van de ondergrond of de grootte van een voorwerp). Nieuwe motorische vaardigheden ontstaan spontaan uit de interactie van dit complexe systeem met de omgeving en zijn dus niet van tevoren in het systeem aanwezig; het systeem organiseert zich vanzelf.

Voor een baby zijn in een bepaalde situatie maar een beperkt aantal coördinatiepatronen mogelijk. Deze verschillende motorische vaardigheden hebben een zekere mate van 'stabieleit'. Hoe stabiel zo'n motorische vaardigheid is, hoe groter de kans dat ze optreedt. Als een minder stabiele vaardigheid verstoord wordt keert het systeem terug naar een van de meer stabiele voorkeurshandelingen. Het systeem wordt bij verstoringen als het ware aangetrokken door deze meest stabiele motorische handeling. Men spreekt daarom wel van 'aantrekkers': een geprefereerd stabiel coördinatiepatroon dat is ontstaan door zelforganisatie en dat bestand is tegen kleine verstoringen.

Handelingslandschap

In de DST worden de verschillende 'aantrekkers' vaak in een landschap gevisualiseerd. Als wij alle mogelijke motorische handelingen ('aantrekkers') van een systeem in een figuur plaatsen, noemen wij dit een 'handelingslandschap'. In figuur 2-2 is een voorbeeld gegeven van een specifiek 'handelingslandschap' in een specifiek context op een specifieke tijd met



Figuur 2-2 Een handelingslandschap van voortbewegen waarbij de afzonderlijke dalen een handelingsmogelijkheid ('aantrekker') representeren. De diepte van ieder dal geeft de mate van aantrekking (stabiliteit) van de 'aantrekker' aan. Het balletje geeft aan welke handeling op dit moment wordt uitgevoerd.

betrekking tot het voortbewegen. De verschillende manieren van voortbewegen: rollen, buikschuiven, kruipen, handen en voeten lopen, gesteund lopen en loslopen, worden door de verschillende dalen gerepresenteerd. De diepte van het dal geeft de mate van stabiliteit van de desbetreffende handeling weer. Hoe dieper het dal hoe groter de voorkeur voor die handeling en hoe stabiel de handeling kan worden uitgevoerd. Het balletje in het landschap geeft aan welke handeling op dat moment wordt uitgevoerd. De (meta)theoretische assumpties die ten grondslag liggen aan het handelingslandschap zijn niet volledig nieuw in de ontwikkelingspsychologie. Waddingtons epigenetische landschap bijvoorbeeld heeft duidelijke overeenkomsten met de in figuur 2-2 weergegeven handelingslandschap en berust dan ook op dezelfde intuïtie.⁵³

Een handelingslandschap is dynamisch van aard, het verandert voortdurend in de tijd. Bewegingshandelingen ontstaan of verdwijnen en worden meer of minder stabiel. We hebben gezien dat affordances en exploratie een belangrijke rol spelen bij het ontstaan van nieuwe bewegingshandelingen. Er zijn echter ook factoren die een beperking opleggen aan wat wel en niet kan. Deze factoren kunnen worden onderverdeeld in: 1 individu gebonden factoren (bijv. integri-

teit van het zenuwstelsel, biomechanische factoren, psychosociale factoren), 2 omgevingsgebonden factoren (bijv. zwaartekracht), en 3 taakgebonden factoren (bijv. de grootte/gewicht van een object).⁵⁴ Zo mag duidelijk zijn dat bijvoorbeeld een kind met een cerebrale parese (CP) in zijn ontwikkeling wordt belemmerd doordat de integriteit van het zenuwstelsel is aangetast en dat als gevolg daarvan ook sprake is van biomechanische beperkingen. Enkele voorbeelden illustreren de rol van omgevingsgebonden factoren.

Voor een kind dat al een aantal maanden kan lopen (een stabiele handeling dus) maakt het niet uit over welke ondergrond (zeil, tapijt of een grasveld) het loopt. Een moeilijke ondergrond veroorzaakt slechts kleine verstoringen. Maar een paar maanden eerder, toen het kind net zijn eerste stapjes zette, was de ondergrond wel degelijk van belang. Op een ongelijkmatig grasveld verkoos het toen nog een stabielere manier van voortbewegen: kruipen. In het 'handelingslandschap' van voortbewegen zou dat gevisualiseerd worden door een dieper dal van kruipen ten opzichte van lopen. Een onderzoek bij kinderen met het syndroom van Down laat zien dat omgevingsmanipulaties (diverse ondergronden), die worden gegeven op het moment dat het kind nog geen stapvoorkeur heeft, een effect hebben op het stappatroon en op de hoeveelheid stappen van deze kinderen.⁵⁵ Een onderzoek naar het reik- en grijpgedrag van baby's laat zien dat een vier maanden oude baby die rechtop in een stoel zit vaker en op een betere manier reikt dan wanneer hij op zijn rug ligt.⁵⁶ In zit lijkt het reik- en grijpgedrag zelfs op dat van een zes maan-

den oude baby. Deze omgevingsmanipulatie (het gaat hierbij om de richting van het reiken ten opzichte van de zwaartekracht) leidt bij dezelfde baby dus tot een veranderde bewegingshandeling.

Vanuit de DST kan men de motorische mijlpalen in de ontwikkeling dus opvatten als periodes die zich kenmerken door de aanwezigheid van een of meer stabiele motorische vaardigheden. De overgang van bijvoorbeeld kruipen naar lopen gaat dan gepaard met een relatieve afname van de stabiliteit van het kruipen en tegelijkertijd met een toename in de stabiliteit van het lopen. Anders gesteld: ontwikkeling is het op basis van zelforganisatie ontstaan van nieuwe coördinatiepatronen en/of de overgang van het ene stabiele coördinatiepatroon naar het andere. Deze verandering kan gepaard gaan met verlies van stabiliteit van het huidige coördinatiepatroon en een toename in stabiliteit van het nieuwe patroon.

Transities

Bij een kwalitatieve overgang van de ene naar de andere motorische vaardigheid, bijvoorbeeld van reiken naar grijpen, spreekt men van een 'fasetransitie'. Fasetransities kunnen onder andere worden bewerkstelligd door veranderingen in een of meer interne (bijv. spierkracht of aantal verbindingen tussen zenuwcellen) of externe (bijv. de afmetingen van een voorwerp) 'controleparameters'. Een controleparameter is, in tegenstelling tot leren, op specifieke wijze gerelateerd aan de verandering in de handelingsconfiguratie. Een controleparameter schrijft niet voor welke toestand het systeem moet aannemen, maar leidt het systeem wel door verschillende stabiele toestanden heen. Typerend hierbij is dat een kleine (kwantitatieve) verandering van de controleparameter kan resulteren in een grote (kwalitatieve) verandering of transitie in bewegingsgedrag. Twee binnen de bewegingswetenschappen veelgebruikte controleparameters zijn snelheid en bewegingsfrequentie. Uit onderzoek blijkt bijvoorbeeld dat de stabiliteit van lopen sterk beïnvloed wordt door de loopsnelheid⁵⁷ en de stabiliteit van tweehandige coördinatiepatronen door de bewegingsfrequentie.^{58,59} Een andere controleparameter, die al eerder werd genoemd in verband met de overgang tussen lopen en niet-lopen, is de verhouding tussen beenmassa en spierkracht.^{13,60}

Transities kunnen continu of discontinu verlopen. Juist het identificeren van een discontinu transitie, ook wel een 'catastrofe' genoemd, geeft inzicht

in de aard van het ontwikkelingsproces en het dynamische karakter van de veranderingen die daarin optreden. In het bijzonder het aantonen van een catastrofe in de motorische ontwikkeling is indicatief voor zelforganisatie.^{61,62} Hoe weten we nu of een overgang in de ontwikkeling een catastrofe is? Een idee hiervan verkrijgt men door onderzoeksdata te beoordelen op de aanwezigheid van zogenaamde catastrofekarakteristieken zoals bijvoorbeeld het plotseling optreden van nieuw bewegingsgedrag en een toename van de instabiliteit (hogere variabiliteit) van het oude gedrag. Een tweede manier is het direct beoordelen of een catastrofemodel een betere beschrijving geeft van de onderzoeksdata dan een continu veranderingsmodel zoals bijvoorbeeld een lineair model (denk maar aan een rechte lijn) of een S-vormig model.⁵⁰

Het onderscheid tussen continue en discontinu transities moet niet worden verward met het gegeven dat ontwikkeling ontologisch gezien continu of discontinu verloopt. De DST beschouwt ontwikkeling ontologisch gezien als een continu proces, dat wil zeggen dat er een relatie bestaat tussen vroeger en later gedrag.

2.5.3 Ontwikkelingsstoornissen vanuit een ecologisch-dynamisch perspectief

Tot nu toe is vooral besproken hoe de 'normale' ontwikkeling eruit ziet. Wat gebeurt er nu bij pathologie? Allereerst lijkt het zinvol om in navolging van Latash en Anson⁶³ een handeling die verricht wordt door een kind met een of andere pathologie niet op te vatten als pathologisch maar als geadapteerd aan het gestoorde systeem. Zo kan een ontwikkelingsstoornis een reorganisatie van het handelingslandschap bewerkstelligen. Bepaalde handelingen kunnen stabiel (het dal waarin het balletje ligt wordt dieper) of minder stabiel worden (het dal wordt ondieper) of zelfs verdwijnen. Overigens kan in het bijzonder bij pathologie een toename in stabiliteit gepaard gaan met een afname in de flexibiliteit van het systeem. Bepaalde handelingen zijn dan niet meer mogelijk of het snel wisselen tussen handelingen wordt moeilijker. Het handelingslandschap is slechts een verzameling van toestanden die het systeem preferereert en is tot stand gekomen op basis van zelforganisatie en exploratie. Gezien dit gegeven is het ook duidelijk dat het handelingslandschap bij kinderen met CP er anders uitziet in vergelijking met kinderen zonder handicap. Een kind met CP preferereert waarschijnlijk

niet de 'normale' handelingswijzen, maar die handelingswijzen die voor hem het meest efficiënt zijn. Zo bleek bijvoorbeeld in een onderzoek naar het lopen van kinderen met CP dat zij een voorkeur vertoonden voor een asymmetrisch looppatroon omdat de uitvoering ervan energetisch gezien minder moeite kostte in vergelijking met een symmetrisch looppatroon.⁶⁴ Ook blijken kinderen met CP het grijpen van een object dat in verschillende standen wordt aangeboden zo te plannen dat er een minimum aan bewegingsenergie mee gepaard gaat.⁶⁵

Delen van het landschap kunnen ontoegankelijk worden doordat bepaalde controleparameters bepaalde waarden niet meer kunnen innemen (bijv. een bepaalde snelheid van lopen wordt niet bereikt). Dit kan ertoe leiden dat posities in het landschap waar flexibel kon worden gewisseld van de ene handeling naar de andere niet meer ingenomen kunnen worden. Men is daardoor niet meer in staat flexibel en snel te reageren op plotselinge veranderingen in de omgeving. Bepaalde 'passen' in het landschap zijn afgesloten.

Algemeen gesteld: verandering in het aantal handelingsmogelijkheden en in de afzonderlijke componenten van het handelingssysteem, alsmede een verandering in het aantal mogelijke biomechanische vrijheidsgraden (bijv. wel of geen flexie in een gewricht of verminderde bewegingsuitslag) kunnen direct leiden tot veranderingen in het handelingslandschap en dus tot een veranderd handelingsrepertoire. Het landschap is dus in meerdere opzichten dynamisch. Het mag derhalve duidelijk zijn dat kinderen met verschillende aandoeningen geheel andere ontwikkelingstrajecten volgen en een ander bewegingsrepertoire laten zien.

2.5.4 Implicaties voor fysiotherapie

Een belangrijk onderscheid is of een fysiotherapeutische behandeling gericht is op het structureel veranderen van het handelingslandschap, dat wil zeggen op het creëren van nieuwe handelingen, of zich richt op verandering binnen een bestaande handeling, bijvoorbeeld op het verbeteren van de stabiliteit van een bepaalde handeling of op het bewerkstelligen van een overgang tussen handelingen. Wanneer de fysiotherapeut zich richt op nieuwe handelingen is leren de aangewezen behandelingsmethode. Het creëren van een nieuwe handeling in het landschap kan men alleen realiseren wanneer de totale gewenste handeling als uitgangspunt genomen wordt. Het leren van

afzonderlijke deelbewegingen biedt geen enkele garantie dat dit leidt tot de gewenste handeling. Een verandering komt tot stand onder specifieke invloed van exploratie, motivatie en de beschikbare informatie over wat geleerd moet worden. Een handeling die al aanwezig is kan ook bijdragen aan het tot stand komen van de nieuwe handeling. Bedenk wel dat competitie tussen een nieuw te vormen handeling en een aanwezige handeling echter ook mogelijk is.

Wanneer de fysiotherapeut zich tot doel stelt de stabiliteit van een handeling te verbeteren of het wisselen tussen handelingen te beïnvloeden, zou men zich qua behandeling dienen te richten op het manipuleren van relevante controleparameters en het oefenen van bepaalde handelingen bij bepaalde waarden van de controleparameter. Een vraag die momenteel nog grotendeels onbeantwoord blijft is echter wat nu precies de relevante controleparameters zijn. Deze kan men zoals eerder gesteld zoeken in veranderingen van het bewegingsapparaat, zoals bijvoorbeeld spierkracht en mobiliteit, maar ook ratio's tussen lichaamsvariabelen en omgevingsvariabelen kunnen als controleparameter dienen.

Bij manipulatie van controleparameters is het relevant om de stabiliteit van een ongewenste handeling te kennen. Een zeer stabiele ongewenste handeling bemoeilijkt het optreden van transities naar een meer gewenste handeling. Ook de mogelijkheid tot exploratie wordt bemoeilijkt als de ongewenste handeling zeer stabiel is: alles wordt daarbij namelijk naar dezelfde uitvoeringswijze getrokken. Door de stabiliteit van een bewegingshandeling te beïnvloeden, bijvoorbeeld door het geven van instructie of verbale stimulatie, of door manipulatie van taak- of omgevingsfactoren, bevordert men de mogelijkheden tot exploratie en het optreden van transities.

LITERATUUR

- 1 Gesell A. *Infancy and human growth*. New York: MacMillan, 1928.
- 2 Gesell A. *The embryology of behavior*. New York: Harper, 1945.
- 3 Gesell A. *The ontogenesis of infant behavior*. In: L. Carmichael, editor. *Manual of child psychology*. New York: Wiley, 1954.
- 4 McGraw MB. *Growth: A study of Johnny and Jimmy*. New York: Appleton-Century, 1935.
- 5 McGraw MB. *The neuromuscular maturation of the human infant*. New York: Columbia University Press, 1945.
- 6 Netelenbos JB. *Motorische ontwikkeling van kinderen: Theorie*. Amsterdam: Boom, 2000.

- 7 Gesell A, Amatruda CS. Developmental diagnosis: Normal and abnormal child development. New York: Hoeber, 1956².
- 8 Thelen E, Smith, LB. A dynamic systems approach to the development of cognition and action. Cambridge: MIT Press, 1994.
- 9 Thelen E, Fisher DM. Newborn stepping: An explanation for a 'disappearing reflex'. *Dev Psychol* 1982; 18: 760-775.
- 10 Zelazo, PR. The development of walking: New findings and old assumptions. *J Mot Behav* 1983; 15: 99-137.
- 11 Zelazo PR, Zelazo N, Kolb S. 'Walking' in the newborn. *Science* 1972; 177: 1058-1059.
- 12 Thelen E. Learning to walk is still an 'old' problem: a reply to Zelazo. *J Mot Behav* 1983; 15: 139-161.
- 13 Thelen E, Fisher DM, Ridley-Johnson R, et al. Effects of body build and arousal on newborn infant stepping. *Dev Psychobiol* 1982; 15: 447-453.
- 14 Gallahue DL, Ozmun JC. Understanding motor development: Infants, children, adolescents, adults. Indianapolis: Benchmark Press, 1989³.
- 15 Ververs IAP, Gelder-Hasker MR van, Vries JIP de, et al. Prenatal development of arm posture. *Early Hum Dev* 1998; 51: 61-70.
- 16 Touwen BCL. Motorische ontwikkeling van de zuigeling en peuter. In: Hopkins B, Vermeer A, redactie. *Kinderen in beweging: 17-23*. Amsterdam: VU Uitgeverij, 1992.
- 17 Largo RH, Kundu S, Thun-Hohenstein L. Early development in term and preterm children. In: Kalverboer AF, Hopkins B, Geuze RH, editors. *Motor development in early and later childhood: Longitudinal approaches*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. p. 247-265.
- 18 Kamm K, Jensen J, Thelen E. A dynamical systems approach to motor development. *Phys Ther* 1990; 70: 763-774.
- 19 Kalverboer AF, Hopkins B, Geuze RH. Motor development in early and later childhood: Longitudinal approaches. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- 20 Bobath B, Bobath K. Motor development in the different types of cerebral palsy. London: Heinemann, 1981.
- 21 Vojta V. *Cerebrale bewegingsstoringen op de zuigelingsleeftijd*. Lochem: De Tijdstroom, 1980.
- 22 Ayres AJ. *Sensory integration and learning disorders*. Los Angeles: Western Psychological Services, 1970.
- 23 Piaget J. *The origins of intelligence in children*. New York: International University Press, 1952.
- 24 Piaget J. *The psychology of the child*. New York: Basic Books, 1969.
- 25 Netelenbos JB. *Cognitie en motoriek bij jonge kinderen: Een ontwikkelingspsychologische benadering*. Dissertatie. Amsterdam: VU Uitgeverij, 1988.
- 26 Kephart NC. The perceptual-motor match. In: Cruikshank WM, Hallahan DP, editors. *Perceptual and learning disabilities in children*. Syracuse: Syracuse University Press, 1975. p. 63-69.
- 27 Schmidt RA. Schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol Bull* 1975; 82: 225-260.
- 28 Schmidt RA. *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Champaign: Human Kinetics Publishers, 1988².
- 29 Fitts PM, Posner MI. *Human performance*. Belmont: Brooks/Cole, 1967.
- 30 Carson LM, Wiegand RL. Motor schema formation and retention in young children: A test of Schmidt's schema theory. *J Mot Behav* 1979; 11: 247-251.
- 31 Shapiro E, Schmidt RA. The schema theory: Recent evidence and developmental implications. In: Kelso JAS, Clark JE, editors. *The development of movement control and coordination*. New York: Wiley, 1982. p. 113-150.
- 32 Rossum JHA van. Schmidt's schema theory: The empirical base of the variability of practice hypothesis. *Hum Movement Sci* 1990; 9: 116-123.
- 33 Henderson SE, Sugden DA. *Movement assessment battery for children: Manual*. London: Psychological Corporation, 1992.
- 34 Smits-Engelsman BCM, Tuijl ALT. Toepassing van cognitieve motorische controle theorieën in de kinderfysiotherapie: het controleren van vrijheidsgraden en beperkingen. In: Smits-Engelsman BCM, et al., redactie. *Jaarboek Fysiotherapie/Kinesitherapie*. Houten/Diegem: Bohn Stafleu Van Loghem, 1998. p. 202-229.
- 35 Carr JH, Shepherd RB. A motor learning model for stroke rehabilitation. *Physiotherapy* 1989; 75: 372-380.
- 36 Gibson JJ. *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton-Mifflin, 1979.
- 37 Kelso JAS, Clark JE. *The development of movement control and coordination*. New York: Wiley, 1982.
- 38 Adolph KE. Learning in the development of infant locomotion. *Monogr Soc Res Child Dev* 1997; 251: 62-63.
- 39 Maas H van der, Hopkins B. Developmental transitions: so what's new? *Br J Devel Psychol* 1998; 16: 1-13.
- 40 Lockman JJ, Thelen E. *Developmental biodynamics: Brain, body, behavior connections*. *Child Devel* 1993; 64: 953-959.
- 41 Warren WH. Perceiving affordances: Visual guidance of stair climbing. *J Exp Psychol: Hum Percept* 1984; 10: 683-703.
- 42 Newell KM, Scully DM, Tenenbaum F, et al. Body scale and the development of prehension. *Dev Psychobiol* 1989; 22: 1-13.
- 43 Savelsbergh GJP, Kamp J van der, Ledebt A, et al. Information-movement coupling in children with Down syndrome. In: Weeks DJ, Chua R, Elliott D, editors. *Perceptual-motor behavior in Down syndrome*. Champaign: Human Kinetics Publishers, 2000.
- 44 Savelsbergh GJP, Dekker LD, Vermeer A, et al. Locomotion through apertures of different width: a study of children with cerebral palsy. *Pediatr Rehabil* 1998; 2: 5-13.
- 45 Gibson EJ, Riccio G, Schmuckler M, et al. Detection of traversability of surfaces by crawling and walking infants. *J Exp Psychol: Hum Percept* 1987; 13: 533-545.
- 46 Adolph KE, Eppler MA, Gibson EJ. Crawling versus walking infants' perception of affordances for locomotion over sloping surfaces. *Child Devel* 1993; 64: 1158-1174.
- 47 Beek PJ, Hopkins B, Molenaar PCM. Complex systems approach to the development of action. In: Savelsbergh GJP, editor. *The development of coordination in infancy*. Amsterdam: North-Holland, 1993. p. 497-515.
- 48 Hopkins B, Beek PJ, Kalverboer AF. Theoretical issues in the longitudinal study of motor development. In: Kalverboer AF, Hopkins B, Geuze RH, editors. *Motor*