5 신체 및 운동발달

CHAPTER>>

Karen E. Adolph
New York University
Sarah E. Berger
The College of Staten Island, The City University of New York

1. 서론

왜 운동을 연구하는가?

부모는 친구나 가족들에게 자녀의 자랑을 하거나 중요한 날에 비디오 촬영을 하거나 육아일기를 쓸 때 주로 아기의 신체 및 운동 기능 발달에 초점을 맞춘다. 부모는 아기의 신체 성장과 운동 능력을 중요한 이정표로 생각한다. 왜냐하면 아기가 커지고, 튼튼해지고, 뒤집기를 하고, 앉는 일들은 정상적으로 발달하고 있다는 것을 쉽게 눈으로 관찰할 수 있는 지표이기 때문이다. 심리학자에게도 아이를 둔 부모처럼 신체운동발달을 영아의 정상발달을 확인하는 지표로 사용하는 것이 이미 오랜 전통이 되었다.

하지만 발달과학 교과서에 왜 신체운동발달에 대한 내용이 들어가는가? 신체운동의 심리학적인 측면은 무엇인가? 이에 대해서 두 가지 대답을 할 수 있다. 첫째, 운동발달은 발육 차트나 판별 척도(screening inventory)의 발달규준 이상의 의미가 있다. 운동은 심리학에서 빠질 수 없는 중요한 부분이다. 심리학이 행동을 연구하는 학문이라고 생각하는 학자에게 운동은 과학적 연구 영역이다. 행동이 곧 운동이기 때문이다. 영아는 사건을 시각적으로 관찰하고, 웃고, 옹알거리고, 사물을 조작하고, 주변 환경을 탐색하면서 눈,

입, 팔, 다리를 움직인다. 심리학이 마음(mind)을 연구하는 학문이라고 생각하는 학자에게 영아의 행동은 눈으로 볼 수 없는 사고, 지각, 의도에 대한 추론을 도와주는 매개체다. 연구자들은 말을 알아듣고 대답을 할 수 없는 영아를 연구하는 데 운동을 이용한다. 눈의 움직임, 웃기, 울기, 내밀기, 발차기, 걷기가 영아의 지각, 인지, 정서, 사회적 상호작용을 연구하는 데 중요한 도구다.

둘째, 운동을 적응적으로 통제(adaptive control of movement)하는 것 자체가 심리학적 관심사다(Bertenthal & Clifton, 198). 그리고 아마도 이 두 번째 대답이 더 중요한 의미를 가질 것이다. 운동은 지각과 밀접한 관련이 있고, 운동발달은 인지 및 정서발달과 밀접하게 연관되어 있다. 운동 능력이 향상되면 영아의 학습 기회도 늘어난다. Piaget(1954)가 강조했듯이, 감각운동은 인지 능력을 촉진시킨다. 인지적 문제해결 능력이 있는 영아는 상황에 따라 운동 전략을 수립할 수 있다. 모든 운동동작을 통해 지각정보를 얻고, 지각은 상황에 적절한 행동을 이끌어 낸다(J. J. Gibson, 1979; von Hofsten, 1993). 지각정보를 통해 영아는 신체발육, 능력발달 수준, 주변 환경변화에 따라 움직임을 조정할 수 있다(E. J. Gibson, 1988). 지각 능력 덕분에 영아는 할 수 있는 행동이 많아진다. 또한 영아의 신체발달과 운동 능력 향상은 정서적, 사회적 발달상의 변화와 연관이 있다(Campos et al., 2000). 모든 부모는 사회적 압력이 아동의 새로운 능력 발달을 고무시키고 아동도 스스로의 운동 능력 향상에 대해 기뻐한다는 것을 알고 있다.

개 관

이 장은 태내기와 영아기의 운동발달에 초점을 맞출 것이다. 여기에는 다음과 같은 여러 가지 이유가 있다. 첫째, 태내기와 영아기에 운동 능력의 기반이 마련되기 때문이다. 둘째, 운동발달의 중요한 이정표들이 생후 2년 안에 가장 많이 나타나기 때문이다. 셋째, 심리학 연구 논문 대부분이 영아기에 초점을 맞추기 때문이다. 넷째, 태아의 성장과 운동연구가 흥미로운 연구 개척 분야이며, 이 연구는 기술과 절차상의 혁신 덕분에 최근에 와서야 가능하게 되었기 때문이다.

이 장은 시간 순서에 따라 구성되었다. 첫째, 태아의 최초의 움직임인 무의식적 태아 운동, 자궁 내 태아에게까지 미치는 외부자극에 대한 운동반응에 대해 설명하고자 한다. 태아 운동은 정상적 신체발달에 필수적인 요소이고, 태아의 성장은 운동 가능성(possibilities for movement)에 놀라운 영향을 미친다. 둘째, 신생아의 기초운동 능력을 설명하고자 한다. 부력이 있는 자궁 내에서 태아의 운동이 촉진되었던 것과는 달리, 신생아의 운동 능력은 중력

에 의해 방해를 받지만, 신생아의 운동이 자궁 내 운동과 발달 측면에서 어떻게 연관성이 있는지를 보여 준다. 또한 신생아가 근력과 균형 능력이 생겨 고개를 들고 도움 없이 앉게 되는 중력 극복에 대해 설명한다. 균형 잡기에서 중요한 지각정보의 역할이 무엇인지도 소개한다. 다음으로는 사물과 상호작용하는 행동, 즉 내밀기, 잡기, 물체 탐색, 도구 활용 등과 관련된 생체역학적(biomechanical), 지각적(perceptual) 과정을 설명한다. 최근의 연구에서는 목표를 향한 팔동작(goal-directed arm movements)에 대한 몇몇 상식적 가정에 이의를 제기한다.

독립적 운동 능력 부분에서는 영아가 최초로 신체 전체를 움직이는 것에 대해 설명하고자 한다. 대부분의 사람들이 영아는 손과 무릎을 이용하여 처음으로 움직이기 시작한다고 생각하지만, 사실은 엉덩이나 배로 움직이는 등 영아들은 나름대로 다양한 이동 전략을 세운다. 이 부분에서는 운동학습의 특성에 대해서도 다룬다. 영아는 각 운동 이정표를 넘어갈 때마다 새로 학습을 해야 한다. 앉은 자세에서 능숙하게 균형을 잡는다고 해서 기기 시작한 후에도 균형을 잡을 수 있는 것은 아니다. 마찬가지로 앉기와 기기 연습이 직립자세에서 균형을 잡는 데 도움이 되는 것도 아니다.

직립자세 부분에서는 영아가 어떻게 일어서서, 가구를 붙잡고 걷다가, 결국 혼자 힘으로 걷게 되는지를 설명할 것이다. 특히, 영아가 걷게 되는 요인 및 걷기 능력을 향상시키는 요인에 초점을 맞출 것이다. 영아의 신체비례가 변화하고 위험 지면에 노출됨에 따라 지각적으로 이동을 통제하는 데 새로운 어려움이 생긴다. 마지막으로, 계단을 내려가고 좁은 다리를 건널 때 운동 책략을 세우고 실행하기 위한 인지 능력이 요구되는 복잡한 형태의 이동에 대해 설명할 것이다.

이 장의 전반에 걸쳐 운동발달과 관련된 여러 가지 잘못된 견해에 대해 반박하고자 한다. 최근 연구를 통해 운동발달에서 성숙과 경험의 역할, 신생아 반사의 중요성, 주요 운동발달 이정표의 보편성, 두미 방향(the head-to-toe direction)의 성장에 대한 새로운 시각이 나왔다.

2. 태아의 운동

태아 관찰

태아가 눈에 보이지 않는 난자에서 자라나 신생아가 된다는 것은 누구나 알고 있다. 하

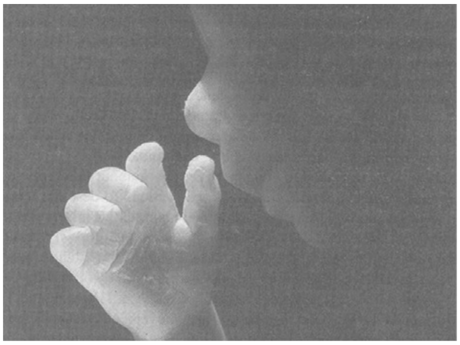
지만 대부분이 평균 임신 기간 40주에 걸쳐 태아의 모양과 크기가 엄청난 변화를 겪는다고 대략적으로만 알고 있을 뿐이다. 이렇게 정확하게 알 수 없는 이유는 태아발달은 산모의 뱃속에서 일어나므로 시각적으로 관찰하는 것이 어렵기 때문이다.

초기 연구자들은 기술적 한계 때문에 태아의 성장과 행동에 대해서 이론에 근거한 추측을 할 수밖에 없었다. 초기에는 유산되거나 낙태된 태아를 대상으로 임신 첫 몇 주간의 태아발달을 연구했다. 특정 조건 하에서 낙태된 태아를 따뜻한 욕조에 넣으면 몇 분간 생명을 유지할 수 있는데, 이 태아를 상대로 빠르게 단순한 실험을 실시할 수 있었다(Prechtl, 1986). 따라서 초기 연구자들은 특정 신체 부위를 핀으로 찌르거나 뻣뻣한 털로 살짝 건드린 후 관찰함으로써 자극에 대한 태아의 민감도와 반응도를 설명했다. 예를 들어, Hooker(1952)는 8～9주 사이의 태아의 입 주변에 빛을 쬐어 목굴곡운동(neck flexion)과 팔운동 등의 운동반응을 유도했다. 하지만 유산된 태아는 정상적으로 발달하지 않았고, 낙태된 태아는 시술 과정에서 손상될 가능성이 높으며, 태아는 일단 태반에서 제거되면 질식하기 때문에(Munn, 1965) 이 방법을 통해 얻은 실험 결과는 신뢰성이 떨어진다.

초기 태아발달 연구자들은 조산한 아기를 관찰하거나 산모의 배를 촉진(palpating)하고 산모로부터 태아발달에 대한 보고를 받음으로써 태아의 성장과 행동을 추정하는 것 외에는 다른 방법이 없었기 때문에, 임신 후기에 대한 지식은 아주 제한적이었다. 안타깝게도 조산한 태아는 정상적 발육 상태를 보여 주지 못할 가능성이 높다. 게다가 연구자들은 촉진과 산모의 보고 분석 등 해석 면에서도 어려운 점이 많았다.

1950년대에 초음파의 등장으로 태아 연구의 새로운 장이 열렸다(역사적 개관은 Prechtl, 1985 참조). 초음파를 쏘이면, 고주파 전파가 태아로부터 반사되어 흑백 영상(초음파영상, sonogram)을 만들어 낸다. 초음파 기구를 산모의 하복부에 대거나 질을 통해 초음파 기구를 넣으면 소리도 들을 수 있다. 반사되는 전자파가 영상으로 변환되어 침대 옆에 있는 모니터에 나타난다. 현대 입체 초음파 기술을 이용하면 고화질 영상도 볼 수 있다. 이를 통해 연구자(부모와 산부인과 의사)는 태아의 얼굴 일부, 생식기(부모는 임신 18주에 초음파 검사를 통해 성별을 알 수 있다), 뇌와 내장기관 일부, 손가락, 발가락을 관찰할 수 있다. 발 차기부터 딸꾹질, 눈꺼풀 깜박임까지 미세한 태아 운동을 볼 수 있어서 일반인도 초음파 모니터를 통해 움직임을 구별할 수 있을 정도다.

컬러로 태아를 관찰할 수 있는 기술이 1950년대 말에 개발이 되었다. 1965년에는 현미경 사진 기술이 발전하여 과학사진작가 Lennert Nilsson이 임신의 여러 단계에서 촬영한 태아 사진([그림 5-1])을 저명한 잡지 「*Life*」에 게재할 정도가 되었다. 배아(embryo)의 얼굴, 손, 발, 생식기 사진이 정기 양수 검사를 할 때 내시경으로 혹은 배에 침습을 통해 내시경



[그림 5-1] 광섬유 기술의 발전으로 「*Life*」의 현미경 사진작가 Nilsson이 태아의 행동을 촬영할 수 있게 되었다. 17주 된 태아가 얼굴로 손을 가져가고 있다.
출처: *A Child is Born*, L. Nilsson & L. Hamberger. Copyright © 1990 by Delacorte Press. Reprinted with permission.

을 삽입하여 촬영이 되었다(Nilsson & Hamberger, 1990). 직경 0.5mm의 최소형 렌즈와 스트로보(역자 주: 급속히 움직이는 물체를 정지한 것처럼 관측, 촬영하는 장치)는 뒤엉킨 광섬유 수천 가닥을 넣은 직경 0.8mm의 아주 가는 금속 막대로 통제된다.

그 외에도 기술 발전을 통해 현대 연구자들은 태아의 행동과 심리적 반응을 관찰할 수 있게 되었다. 보통 자궁수축 관찰에 사용되는 변환기(transducer)를 산모의 배에 대면 태아운동을 관찰할 수 있다(Robertson, 1990). 간단한 도플러 초음파(Doppler ultrasound)는 태아 심박률을 증폭시켜 자극에 대한 태아의 반응을 측정하고(DeCasper, Lecanuet, Busnel, & Granier-Deferre, 1994), 태아의 뇌혈류 속도를 측정하여 뇌의 초기 기능 분화를 밝힐 수 있다(Feng, Raynor, Fiano, & Emory, 1997).

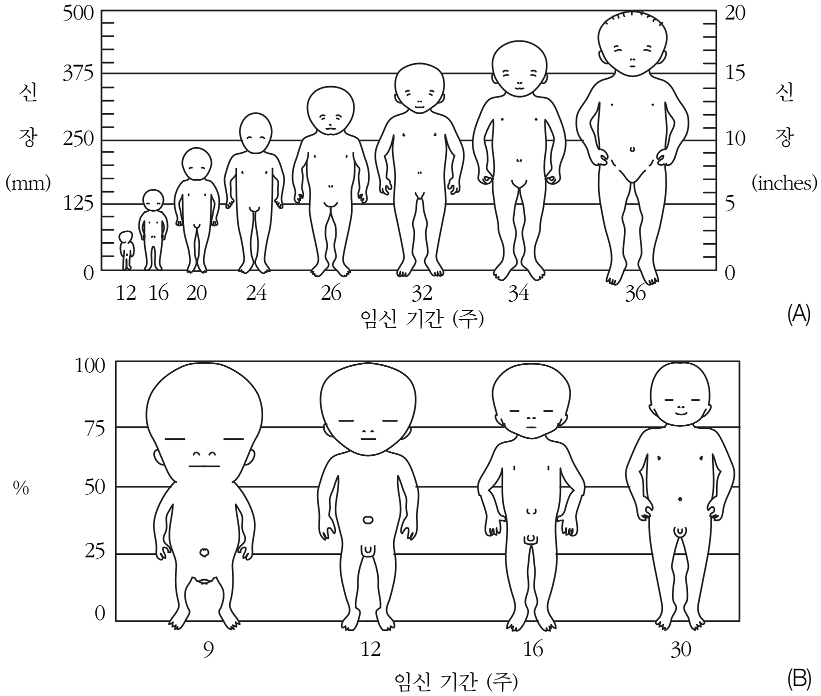
동물 실험도 태아발달에 관한 흥미로운 연구의 장이다. 예를 들어, 쥐의 태아는 복벽이라는 장벽을 극복하는 여러 가지 외부장치를 통해 총 천연색으로 직접 관찰할 수 있다(Smotherman & Robinson, 1991). 예를 들어, 연구자들은 마취한 어미 쥐에서 자궁을 제거하여 온도 조절된 욕조에 넣어 태내환경을 유지해 준다. 임신 말기가 되면 자궁이 확장되어 투명해지기 때문에 자궁벽을 통해서 직접 태아 운동을 관찰할 수 있다. 다른 방법으로는, 어미 쥐의 자궁에서(때로는 양막에서) 쥐 태아를 제거하고 탯줄과 태반은 어미 쥐와 연결된 채로 온도를 조절한 욕조에 넣어 생명을 유지시킨다. 생명유지장치를 보존함으로써 연구자들은 건강하게 살아 있는 태아 쥐를 몇 시간가량 관찰하고 실험을 실시할 수 있다(Smotherman & Robinson, 1996). 어미 쥐는 한 배에 여러 마리의 새끼를 배기 때문에 이 모델은 태아를 여러 가지 다른 조건에 두는 실험 연구에 특히 유용하다.

태아 성장

여러 가지 유용한 기술을 조합함으로써 연구자들은 태아 성장과 신체발달의 상세한 과정을 알아낼 수 있었다. 신체 형태의 구조적 변화는 태내기에 가장 급격하게 일어난다. 수정 후 4주가 되어도 배아는 머리는 크고 팔다리는 흔적만 보이고, 뾰족한 꼬리가 얼굴 쪽으로 말려 올라가 있는 올챙이 같은 모습을 하고 있다(Nilsson & Hamberger, 1999). 얼굴은 아직 분화가 이루어지지 않는다. 여러 층의 분화된 두꺼운 조직이 귀, 눈, 코, 입이 형성될 얼굴 부분을 덮고 있다.

수정 후 9주째에는 배아기가 끝나고 이때부터 태아기라고 부른다. 태아의 몸은 더욱 인간의 모습에 가까워진다. 꼬리는 없어지고 얼굴의 특징이 희미하게 드러난다. 몸통과 팔다리는 근육과 뼈의 흔적으로 덮여 있다. 팔과 다리 끝에서 손가락과 발가락이 생기려고 한다. 팔꿈치는 작은 혹처럼 보인다. 12주가 되면 목이 생긴다. 팔다리가 길고 가늘어지고, 손가락과 발가락이 분명하게 드러난다. 생식기도 분화된다. 16주가 되면 태아의 피부가 투명해진다. 피부가 얇고 지방이 거의 없기 때문에 모세혈관이 그대로 드러난다. 폐가 발달하고 뼈가 더 튼튼해지며 근육조직이 더 생겨나 뼈를 덮는다(Moore & Persaud, 1993; Ratner, 2002). 20주가 되면, 손톱·발톱이 보이고, 산모의 배에 청진기를 대면 태아의 심장박동을 들을 수 있다. 24～28주에는 눈꺼풀을 깜박거리고, 손발에 지문이 생기며, 폐 안에 폐포(air sac)가 생기고, 대뇌 피질이 발달한다. 28～38주에는 피부 아래에 체지방층이 생긴다. 폐는 공기 호흡을 할 수 있고, 거의 완전하게 발달한다. 중추신경계의 신체 기능 통제력이 점차 향상된다.

태아 성장은 급속도로 이루어진다. [그림 5-2]에서 볼 수 있듯이, 태아 신체 크기와 비율 변화가 신체 형태의 구조적 변화만큼 급속히 이루어진다. 태아 성장은 산모의 배가 불러 겉으로 드러나는 것보다 훨씬 빠른 속도로 이루어진다. 임신 4주 후면 배아의 길이는 머리부터 엉덩이까지 평균 4mm로, 완두콩 정도의 크기다(Moore & Persaud, 1993). 머리가 몸 전체 길이의 1/2을 차지한다. 8주가 되면 태아의 머리부터 엉덩이까지 길이는 3.18cm로, 여전히 머리가 전체 길이의 절반을 차지한다. 12주가 되면 태아는 8.5cm가 된다. 임신 16주 후에는 머리부터 발가락까지 키가 15.24cm가 되고 무게는 200g이다. 임신 16～24주에는 태아의 크기가 거의 2배가 된다. 키는 28.45cm, 무게는 820g이다. 머리의 성장 속도는 느려져서 이제 키의 1/3을 차지한다. 32주에는 키는 38.1cm, 무게는 2,100g이 된다. 36주에는 키는 44.45cm, 몸무게는 2,900g이 된다(Moore & Persaud, 1993; Ratner, 2002). 머리는 몸 전체에 비해 상대적으로 성장이 느려서 길이가 전체 신장



[그림 5-2] 임신 9주부터 출생까지 태아의 신체 크기(A)와 신체 비율(B)의 급격한 변화

출처: *The Developing Human*, K. L. Moore & T. V. N. Persaud. Copyright © 1993 by Elsevier. Reprinted with permission.

의 1/4로 줄어든다. 종합하면, 완두콩 크기의 배아에서 신생아가 될 때까지 태아의 키는 약 8,000%, 몸무게는 42,500% 증가한다. 38~40주의 임신 말기가 되면 태아는 자궁 안을 꽉 채울 정도로 성장한다.

외부 자극

엄마 뱃속이 평화롭고 조용하다는 일반적인 생각은 잘못된 것이다. 자궁은 발달하는 태아를 위한 무균 인큐베이터가 아니다. 임신 기간 동안 태아를 '담고' 있는 것은 완충 포장된 유리 알을 운반하는 것이 아니다. 산모가 마지막으로 먹은 식사의 맛과 냄새, 반쯤 소화된 위장 내용물이 들어가는 인큐베이터를 누가 만들겠는가? 혹은 산모가 한걸음 움직일 때마다 흔들리고, 산모가 앞으로 숙일 때마다 기울고, 산모가 벨트를 조일 때마다 모양이 변하는 인큐베이터를 누가 만들겠는가?

실제로 자궁은 자극 가능성이 아주 높은 환경이라는 연구 결과가 있다(Alberts & Ronca, 1993; Smotherman & Robinson, 1996). 소리, 냄새, 맛, 압력, 운동, 심지어 빛까지

복벽을 뚫고 자궁 안으로 들어간다. 임신 말기로 갈수록 태아와 외부 세상 사이에서 완충 작용을 할 양수가 줄어들면서 자극이 더 강렬하게 느껴진다.

더욱이 태아는 태내의 풍부한 자극을 경험할 준비가 되어 있다. 인간의 모든 감각기관은 출생 전에 정비가 된다(Robinson & Kleven, 인쇄 중). 9주경에 형성되는 귀는 임신 26주가 되면 산모의 심장박동 등의 소리를 감지한다(Smith, Gerhardt, Griffiths, Huang, & Abrams, 2003). 임신 6주에 구조가 형성되는 눈은 20주경에 빛을 감지한다. 26~28주가 되면 후각과 미각기관은 냄새와 맛을 감지한다. 근육, 관절, 피부의 수용기(mechanoreceptors)는 임신 10주가 되면 약간의 압력에도 민감해진다. 전정신경계는 13주 후면 움직임을 감지한다(Moore & Persaud, 1993; Robinson & Kleven, 인쇄 중).

동물 실험을 통해 태내의 다양한 종류와 빈도의 자극과 태아가 자극을 감지하고 이에 대응하는 놀라운 능력을 가장 분명하게 볼 수 있다. 예를 들어, 새끼를 밴 어미 쥐는 임신 기간 내내 활동량이 아주 많다. 비디오 촬영 필름을 보면 새끼를 밴 어미 쥐가 우리 안을 뛰어다니고, 뒷다리로 서고, 눕기 전에 좁은 원을 그리면서 돌고, 배를 핥으며, 새끼를 배지 않은 암컷 쥐만큼 자주 뒷다리로 배를 긁는 모습을 볼 수 있다. 연구자들은 쥐 태아를 압력 변환기에 연결된 소금을 채운 풍선으로 대체하여 산모의 활동이 자궁 안으로 그대로 전달된다는 것을 증명했다. 임신 말기에 '평화롭고 조용한' 자궁은 어미 쥐가 이동할 때 직선가속(linear accelerations) 150차례, 방향전환가속(angular acceleration) 600차례, 몸을 핥을 때 10분간 압력, 뒷다리로 긁을 때 125차례의 진동이 느껴졌다(Ronca & Alberts, 1995). 태아를 자궁에서 꺼내 온도 조절된 욕조에 넣고 태내환경을 조성해 주면(연구자들이 욕조를 실제 가속의 평균 횟수 정도로 흔들고, 고무풍선으로 눌러서 어미 쥐가 뒷다리로 긁을 때의 압력과 비슷하게 환경을 조성해 주는 등) 태아 쥐는 심박수가 변화하고 운동행동을 보이는 등의 반응을 보낸다(Ronca & Alberts, 1994).

태아 운동

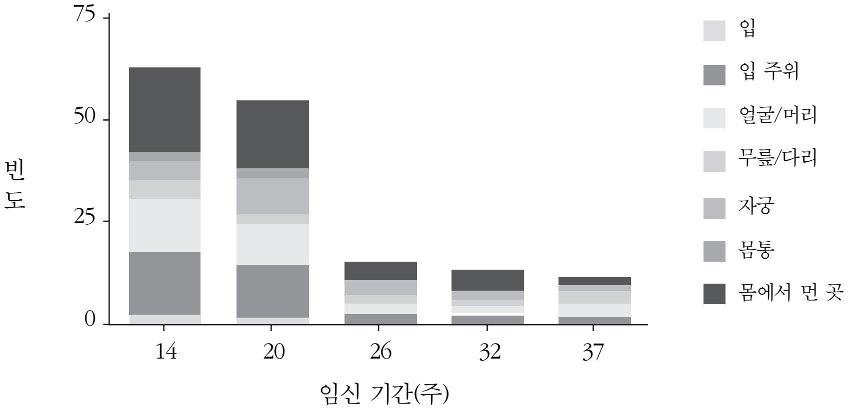
태아는 신체 부위를 움직일 수 있을 만한 흔적 근육(rudimentary muscle)이 생기고 근육을 움직일 수 있을 만큼의 초기 신경회로가 생기는 순간 움직이기 시작한다(Humphrey, 1944). 임신 8, 9주에 태아는 팔다리부터 몸통과 목까지 움찔하는 모습을 보인다(Prechtl & Hopkins, 1986). 팔, 다리, 목, 몸통까지 희미하게 천천히 비틀기도 한다. 딸꾹질은 양수 안에서 몸 전체가 위아래로 흔들릴 정도로 강하다. 임신 10주에는 팔다리를 다양하게 움직이는데, 때로 한쪽 팔씩, 한쪽 발씩 바꿔 가면서 움직이기도 하고, 몸 전체의 움직임

에 맞춰 팔다리를 동시에 움직이기도 한다. 또한 몸 전체는 움직이지 않으면서 팔다리와 손가락, 발가락을 독립적으로 움직여 팔이나 다리를 두드리거나, 손가락을 흔들거나 주먹을 쥔다(Prechtl, 1985, 1986).

많은 경우, 손 운동은 아무렇게나 이루어지는 게 아니다([그림 5-3]). 임신 14주부터 손을 움직일 때 2/3 정도는 얼굴, 몸, 자궁 벽, 탯줄 등 자궁 내 물체를 향한다. 예를 들어, 「*Life*」에 게재된 사진([그림 5-1])을 보면 17주된 태아가 엄지손가락을 빨고 있다. 몸에 손을 대거나 자궁 내 물체를 향하는 움직임은 많은 경우 짧게 일어난다(Sparling et al., 1999). 이는 마치 Piaget의 1, 2차 순환반응(primary and secondary circular reactions)을 태아에 적용시킨 것과 같다(Birney et al., in this work).

10~11주 사이에 태아는 고개를 측면으로 돌리고 위아래로 끄덕인다. 입을 벌리고 횡경막을 축소시켜 호흡운동도 하기 시작한다. 11~12주에는 하품하고, 빨고, 양수를 삼키는 등 입을 더 많이 움직이기 시작한다. 임신 20주가 되면 얼굴이 부분별로 움직인다. 이마에 인상을 쓰고, 입과 혀를 움직이고, 눈썹을 올린다(Nilsson & Hamberger, 1990). 25주 후에는 눈을 감고 있지만 않고, 떴다 감았다 한다.

역설적이게도 '태동(자궁 안 태아의 움직임을 느끼는 것)'은 임신 16~20주에 일어난다(Kuno et al., 2001). 거의 이때쯤 양막 내 공간이 줄어들어 태아 움직임이 감소하기 시작한다. 자궁벽에 팔다리가 붙어 있기 때문에 관절 움직임과 빈도수가 줄어들었음에도 불구하고, 산모는 태아의 움직임을 더 자주 느낀다. 이때 산모가 '발차기'라고 부르는 것은



[그림 5-3] 임신 14주 후, 태아의 손 움직임

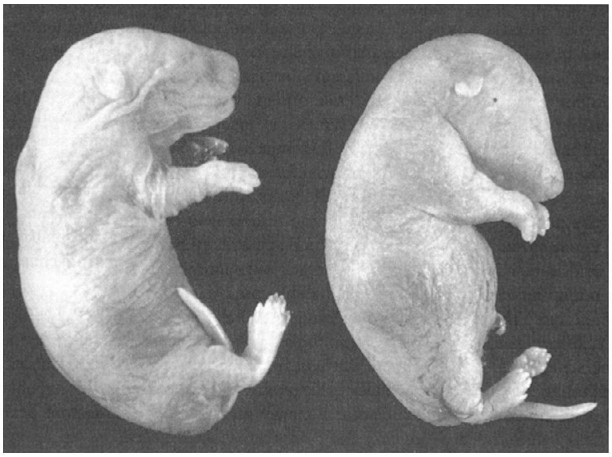
대부분이 태아 몸, 탯줄, 자궁 벽 등 자궁 내 물체를 향한다는 것에 주목하자.
출처: J. W. Sparling, J. van Tol, & N. C. Chescheir (1999). Fetal and neonatal hand movement. *Physical Therapy, 79*, 24-39.

거의 다리를 뻗고 팔을 뻗는 행동이다(Sparling et al., 1999). 임신 15~16주에 태아 운동 시간은 태아가 깨어 있거나 활동성 수면(active sleep)에 빠져 있는 시간의 약 60%로 줄어든다. 팔의 움직임이 가장 많고 입의 움직임이 가장 적다. [그림 5-3]에서 볼 수 있듯이 임신 14주부터 입, 얼굴, 머리로 손을 내미는 동작은 계속 감소하는 반면, 자궁벽으로 손을 내미는 동작은 증가한다(Sparling et al., 1999). 자궁 내 빈 공간이 계속 줄어들면서 태아 운동은 계속 제약이 커져, 태아는 머리와 얼굴로만 손을 가져갈 수 있고, 호흡하기 위한 움직임, 손발의 부분적으로 뻗기 정도로만 움직임이 제한된다. 임신 38주가 되면 태아의 움직임은 깨어 있을 때나 활동성 수면 시간의 약 10% 정도로 감소한다(de Vries, Visser, & Prechtl, 1988; Roodenburg, Wladimiroff, van Es, & Prechtl, 1991; Ten Hof et al., 2002).

태아 운동의 의미와 기능

태아 운동은 중요한 발달 기능을 한다는 근거들이 있다. 예를 들어, 양수를 삼키는 등의 일상적인 태아 행동은 구강인후, 폐, 소화기의 정상적인 발달에 도움이 된다(Moore & Persaud, 1993). 신체 움직임은 근육, 뼈, 관절, 피부의 정상적 발달을 촉진시키는 기능을 한다. 임신 마지막 3일 동안 큐라레(역자 주: 생리학 실험, 의약용으로 사용되는 강한 독)를 사용하여 움직이지 못하게 된 태아 쥐는 신체 형태 전체에 영향을 받았다([그림 5-4]). 관절이 굳거나 녹고, 뼈 성장이 더뎌지고, 뒷다리의 발육이 충분이 이루어지지 않고, 입이 작고, 피부는 얇고 뻣뻣하고, 폐가 제대로 발달하지 못하고, 탯줄이 지나치게 짧다(Moessinger, 1983). 정상적으로 움직이지 못하는 것은 장기적으로 지속되어, 출생 후에도 그러한 현상이 이어진다. 이와 비슷하게 세포에 미치는 영향 때문에 알코올은 보통 기형을 유발한다고 간주된다. 하지만 알코올이 몇 시간 동안 태아의 움직임을 제약하기 때문에, 태아가 지속적으로 알코올에 노출되어야 정상적 움직임이 감소하여 영아의 신체운동발달을 저해할 것이다(Moessinger, 1983).

태아는 왜 움직일까? 태아가 스스로 움직이는 것이 장기적으로 중요한 기능을 할 것인지 알 수는 없다. 분명히 일부 움직임은 외부 자극에 대한 반응이다. 예를 들어, 「*Life*」지 소속 사진작가 Nilsson이 작은 스트로브를 터뜨리자, 태아는 손을 움직여 눈을 가렸다. 시끄러운 소리에 대한 반응으로 전체 움직임이 증가하고 눈을 깜박거린다. 일부는 스스로의 자극에 대한 반응이다. 예를 들어, 한 손으로 얼굴을 만진 것에 대한 반응은 Hooker(1952)가 뻣뻣한 털로 살짝 건드렸을 때 태아가 머리를 움직였던 것처럼 머리 움직임을 유도할



[그림 5-4] 정상적인 임신 기간을 보낸 쥐 태아(왼쪽)과 임신 마지막 3일 동안 큐라레로 마비시킨 쥐 태아(오른쪽)
큐라레 처리를 한 쥐 태아는 관절이 굳고, 뒷다리 발육이 적절하지 않으며, 입이 작고, 피부가 얇으며, 탯줄이 짧았다.
출처: Reproduced with permission from ***Pediatrics, 72***, 858-859. Copyright © 1983.

것이다. 하지만 일부 운동은 어떤 근접한 유도체나 목표 없이 일어나는 자발적이며 갑작스러운 행동이다. 태아가 움직이는 첫 번째 이유는 움직일 수 있기 때문이다.

전통적인 설명에 따르면, 태아의 움직임은 중추신경계에 의해 통제되는 반사적이고 내재된 프로그램에 따른 것이다(McGraw, 945). 하지만 이 설명에는 문제가 있다. 엄격한 프로그램이라면 중추신경계가 태아의 근육 축소 시기와 폭을 결정함으로써 움직임을 통제할 것이다. 예를 들어, 몇몇 연구자들은 척수에 중앙 패턴 산출기(central pattern generator) 같은 것이 있어서 태아의 걷기 등의 다리 운동을 관장하는 것이 아닐까 하는 주장을 내놓았다(개관은 Selverston, 1980 참조). 걷기 중앙 패턴 산출기처럼 엄격한 프로그램은 신체 성장에 따라 변화하는 생체역학에 반응하지 않는다. 마찬가지로 엄격한 비틀기, 내밀기, 잡기, 끄덕이기 움직임을 프로그래밍하는 엄격한 '몸, 팔, 손, 머리, 얼굴 패턴 산출기'는 태아의 변화하는 신체 구조에 민감하게 반응해서는 안 된다.

이러한 전통적 견해와 달리, 태아 신체의 형태와 크기의 급격한 변화는 중추신경계가 동일한 외적 움직임을 하기 위해서 근육 활성화의 시기와 크기가 바뀌어야 함을 의미한다. 대표적 사례가 태아가 손을 입에 대는 동작이다(Robinson & Kleven, 인쇄 중). 수정 후 얼마 지나지 않은 태아의 팔은 아주 짧아서 팔을 뻗어야만 손이 얼굴에 닿는다. 그렇게 하기 위해 중추신경계는 팔 위쪽의 뒷부분에 있는 삼두박근을 활성화시켜야만 한다. 시간이 지나면 태아의 팔길이는 훨씬 길어진다. 임신 말기로 가면 손을 입에 가져가기 위

해 태아는 팔꿈치를 구부려야 한다. 이때는 전혀 다른 근육이 사용된다. 중추신경계는 팔 위쪽의 앞부분에 있는 이두박근을 활성화시켜야 한다. 따라서 태아 신체의 발달 진행을 보면 엄격하게 프로그래밍된 움직임이라는 전통적 견해가 옳지 않음을 알 수 있다.

3. 신생아의 운동

신생아의 신체

신생아는 부모 눈에는 한없이 예쁘지만, 객관적인 시각을 가진 제3자에게는 빨갛고, 머리는 울퉁불퉁하고, 작고 짧은 팔다리를 가진 외계인처럼 보인다. 태어날 때 압력을 받아서 두개골 봉합선이 눌리기 때문에 신생아의 두개골은 모양이 이상한 경우가 많다. 머리카락뿐 아니라 태어났을 때 몸 전체에 솜털이 있는 경우, 어깨와 등에 털이 있는 경우, 귓바퀴에 가는 검은 털이 있는 신생아도 있다. 신생아의 피부를 덮은 태지(vernix)는 임신 중반기까지 땀샘을 통해 분비된다. 태지는 유수분크림 같은 역할을 한다. 즉, 태아가 염분이 있는 물속에 오래 있는 동안 피부가 트는 것을 방지해 주는 것이다.

평균적으로 신생아의 무게는 3.3kg 정도로 일반적인 노트북 무게 정도다. 키는 정수리부터 발뒤꿈치까지 57cm 정도다(Ounsted & Moar, 1986). 머리와 다리를 제외하면 신생아의 몸은 축구공 정도의 크기 혹은 성인의 팔뚝 정도 길이다. 사실 대부분의 어머니들이 팔에 아기를 끼고 다리는 늘어뜨린 채로 아기에게 젖을 먹인다.

태아와 마찬가지로 신생아도 머리가 무겁다. 머리가 몸통이나 팔다리에 비해 상대적으로 굉장히 크다. 머리둘레는 35cm 정도로 가슴둘레보다 더 길다(106%)(Ounsted & Moar, 1986). 머리 길이는 전체 신장의 1/4을 차지한다. 성인의 경우, 머리둘레가 가슴둘레의 72%(여자는 가슴둘레 제외)이고 머리 길이는 신장의 1/8을 차지한다(C. E. Palmer, 1944).

신생아의 팔다리는 태아자세로 웅크리고 있다(Amiel-Tison & Grenier, 1986; Bly, 1994). 태아는 임신 마지막 몇 주간은 태내를 가득 채우기 때문에 팔꿈치는 구부러져 있고 무릎도 가슴 쪽으로 올라가 있다. 팔다리를 구부리는 굴근(flexor muscle)은 점차 강해지는 반면, 팔다리를 펴주는 신근(extensor muscle)은 점차 약해진다. 신생아가 몸을 아주 강하게 웅크리고 있기 때문에, 신생아의 팔다리를 쭉 펴려면 강한 압력을 가해야 하고, 팔다리를 놓으면 바로 구부린 자세로 돌아간다.

신생아의 능력

환경적 조건은 행동의 가능성을 제약한다(Bernstein, 1967; J. J. Gibson, 1979). 태아처럼 신생아도 다양한 동작을 보일 수 있다. 하지만 그 다양한 동작을 보이려면 적절한 생체역학적 환경이 필요하다. 태아와 신생아의 환경상의 급격한 변화에 의해 동작에 대한 제약이 달라지고, 그에 따라 동작의 질과 양도 달라진다. 자궁 내에서는 양수 때문에 부력이 생겨 태아의 팔다리 동작을 도와주고, 관성을 약화시키기 때문에 임신 14~20주의 태아는 발레 동작 같은 움직임을 보여 준다.

신생아의 경우에는 중력에 저항해서 팔다리를 움직이고 관성을 통제하는 새로운 어려움을 극복해야 한다. 팔을 들거나 머리를 드는 것은 전적으로 근육의 힘에 의존해야 한다. 마찬가지로 팔이나 머리를 드는 데 따르는 관성을 양수가 아니라 근육을 활성화시킴으로써 이겨내야 한다. 임신 말기 태아의 제한적인 움직임은 자궁의 제약된 공간 때문이지, 기본적으로 움직일 수 없어서가 아니다. 반면에 신생아는 움직일 수 있는 충분한 공간이 있다.

자발적 움직임　부모는 신생아의 운동 능력이 몇 가지 생리적 반응, 자세 변경, 머리, 얼굴, 팔다리의 통제되지 않은 움직임 정도가 전부라고 생각한다. 하지만 대부분의 부모가 신생아의 능력을 상당히 과소평가하고 있다는 것을 보여 주는 연구 결과가 있었다. 태아와 마찬가지로 신생아도 몸의 모든 부분을 이용하여 여러 가지 조합으로 다양한 움직임을 보인다(Cioni, Ferrari, & Prechtl, 1989; Hadders-Algra & Prechtl, 1992; Prechtl & Hopkins, 1986). 눈을 깜박이고, 소리가 나는 곳이나 움직이는 물체 방향으로 눈을 돌린다. 이쪽저쪽으로 머리를 돌리고, 혀를 내밀고, 입을 벌리고 다물고, 입술을 오므린다. 등을 구부리고, 몸통을 돌리고, 팔을 휘두르고, 발차기를 하고, 손을 오므렸다폈다하고, 손가락, 발가락을 꿈틀거린다. 태아처럼 신생아도 팔다리를 웅크리고 있고, 근육과 관절이 유연하기 때문에 손가락, 발가락을 빨기 위해서 손과 발을 입에 가져갈 수 있다(Brazelton, 1956).

신생아의 자발적인 동작은 주기적으로 나타나는 경우가 많다. 신체 일부분을 반복적으로 똑같이 움직인다(Thelen, 1979, 1981a, 1981b). 예를 들어, 신생아는 발을 바꿔 가면서 발차기를 하거나, 한쪽 발로 바닥을 세게 치거나, 양다리를 동시에 구부렸다가 펴는 등의 동작을 한다. 팔과 손으로 바닥을 치고, 팔을 위아래로 흔들고, 팔꿈치를 구부렸다 펴고, 양손으로 원을 그리며 회전시킨다. 연구자들은 이러한 주기적 움직임을 동작의 형태와

시간이 일정하게 유지되는 규칙적인 행동을 의미하는 '상동증(stereotypy)' 이라고 부른다. 이러한 상동증은 패턴이 아주 일정할 뿐 아니라 특정한 원인이나 목적 없이 나타난다. 동물행동학자, 정신분석학자, 의사들 사이에서는 상동증이 영장류에서 아주 드물게 나타나고, 상동증이 있다는 것은 질병의 신호로 간주되어야 한다는 것이 일반적인 견해다(Spitz, 1965). 자폐증 환자처럼 몸을 왔다갔다하거나 머리를 흔드는 등의 행동은 비정상적인 사람이나 가난한 환경에서 자란 아동들에게서만 나타난다고 여겨졌다(예, Harlow & Harlow, 1961).

하지만 발달과학의 선구자들은 건강하고 정상적으로 발육하고 있는 영아에게서도 자발적이며 주기적인 동작을 관찰했다. 예를 들어, McGraw(1945)와 Gesell(1946)은 주기적으로 손과 무릎을 떠는 것은 신생아가 기기 전에 보이는 일반적 발달단계에 해당한다고 말했다. Piaget(1954)는 발차기나 팔을 흔드는 것과 같은 '순환반응(circular reactions)' 을 인지발달에서 정상적이고 필수적인 부분으로 강조했다.

사실 자발적이고 반복적인 동작은 건강한 신생아가 깨어 있는 시간에 보이는 활동에서 아주 큰 부분을 차지한다. Thelen(1979)은 생후 4～52주의 아기 20명을 2주에 한 번씩 1회 방문 시 1시간씩 관찰하는 종단연구를 수행했다. 이 연구에서는 다리, 팔, 몸통, 머리, 얼굴과 관련된 자발적이고 주기적 동작 47가지를 기록했다. 이러한 동작은 신생아기에 시작되어 생후 1년이 지날 때까지 지속되었다. 관찰대상 아기들은 평균적으로 1시간에 33차례의 주기적 동작을 보였고, 관찰 시간의 5～40%의 시간 동안 자발적이고 규칙적인 동작을 보였다.

신생아 반사 뚜렷한 원인이나 목표 없이 나타나는 자발적인 동작과 달리, 특정 자극에 반응하여 나타나는 반사적 반응인 것으로 보이는 동작도 있다(Bly, 1994; Capute, Accardo, Vining, Rubenstein, & Harryman, 1978; McGraw, 1932). 예를 들어, 입에 젖꼭지나 손가락이 들어오면 신생아는 빨기 반사(sucking reflex)를 보인다. 입술을 오므리고 빠는 시늉을 하는 것이다. 신생아는 머리가 측면을 향하고 있다는 느낌을 받으면 이에 대한 반응으로 비대칭 긴장성 목반사(asymmetric tonic neck reflex)를 보인다. 얼굴이 향하는 쪽의 팔과 다리는 뻗고, 뒤통수 쪽의 팔을 펜싱 자세와 비슷하게 구부린다. 신생아는 떨어지고 있다고 느끼거나, 머리 부근에서 탁자를 내려칠 때처럼의 큰 소음이나 충격이 있을 때 그에 대한 반응으로 모로 반사(Moro reflex)를 보인다. 이는 팔을 바깥쪽으로 갑자기 뻗고 다시 몸쪽으로 구부리는 동작이다. 잡기 반사(grasping reflex)는 물체나 성인의 손가락을 손바닥에 갖다 댈 때 보이는 반응이다. 실험대 위로 들어올려도 몸무게를 지탱

할 정도로 손을 꽉 잡는다. 아기 허벅지를 잡고 안쪽으로 압박을 가하면 앉기 반사(sitting reflex)를 보인다(Katona, 1989; N. A. Zelazo, Zelazo, Cohen, & Zelazo, 1993). 마치 앉아 있는 것처럼 등을 똑바로 펴고 머리는 앞을 향한다. 신생아가 맨발로 딱딱한 바닥을 짚은 상태에서 팔 밑에 손을 넣어 아기를 들면 걷기 반사(stepping reflex)를 보인다. 즉, 행진을 할 때 과장되게 걷는 것처럼 다리를 바꿔 가면서 움직인다.

바람을 훅 불었을 때 눈을 깜박이거나 슬개골(patellar tendon)을 망치로 두드렸을 때 다리를 들어올리는 등의 사람이 평생 보이는 반사동작과 달리, 신생아 반사(newborn reflex)는 몇 개월이 지나면 사라진다. 하지만 신생아기가 지난 후 더 의식적인 형태로 다시 나타나는 반사가 많다. 일부 연구자의 설명에 따르면(예, McGraw, 1945; Peiper, 1963; P. R. Zelazo, 1976), 신생아 반사의 기능이 이후 의도적 행동과 연관된다는 생각은 Kipling(1952)의 'Just So Stories' 처럼 단지 그럴 것이라고 예상하는 것이다. 빨기 반사는 수유를 원활하게 하는 역할을 하고, 이 반사는 나중에 모유나 분유를 먹을 때 의식적으로 마시는 동작이 된다. 비대칭 긴장성 목반사는 아기가 손에 시각적으로 주목하도록 하는 기능을 한다. 이는 후에 의식적 물체 탐구에 도움이 된다. 모로 반사와 잡기 반사는 비인간 영장류가 나무를 넘어다닐 때 어미의 흉골에 매달려 있던 경험에서 남아 있는 행동이다. 잡기 반사는 후에 의식적으로 손을 잡는 기능을 한다. 앉기 반사는 의도적으로 앉게 될 때 여기에 통합된다. 걷기 반사는 자궁 속에서 태아의 머리가 아래쪽으로 가게 하는 역할을 했다. 후에는 의도적 걷기 기능을 한다. 하지만 이러한 예상이 실제로 반사의 원인일까?

반사의 원인

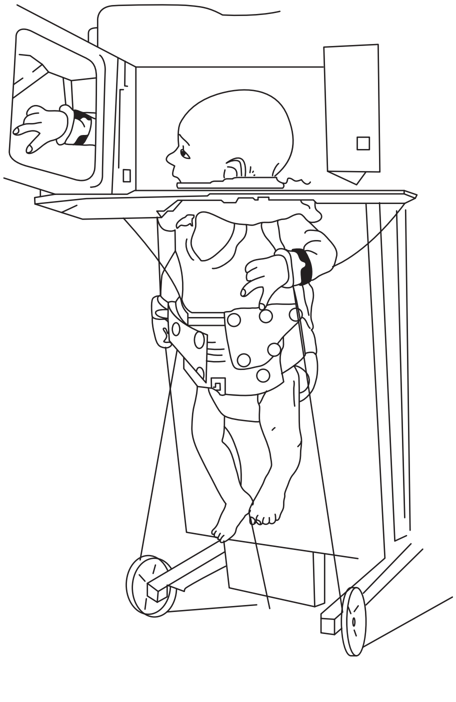
1930년 운동발달 연구의 선구자인 Myrtle McGraw와 Arnold Gesell은 신생아의 빨기, 고개 돌리기, 움찔하기(startle), 잡기, 걷기 등의 동작이 반사적인 것이라고 생각했다. 즉, 신생아가 전혀 통제할 수 없는 의도적이지 않은 동작이라고 간주했다. 신생아 반사는 고등학교 생물시간에 배운 불길에서 손을 빼는 척수 반사와 같은 것이라 보았다. 즉, 수정할 수 없고, 뿌리 깊게 박혀 있고, 자동적이며, 특정 자극에 의한 하위 수준의 반응이라 여겼다.

하지만 현대 연구자들은 그렇지 않다고 주장한다. 예를 들어, 출생 후 첫 몇 시간, 며칠 동안 신생아는 빨기 횟수를 의도적으로 수정하여 원하는 결과를 이끌어 낸다(DeCasper & Fifer, 1980; Kalnins & Bruner, 1973). 압력에 민감한 변환기에 특별 제작된 젖꼭지를 연결

하고 빨기 횟수를 컴퓨터로 관찰한다. 빨기 횟수를 올리거나 내림으로써 신생아는 선호하는 소리(어머니 목소리, 부모가 사용하는 언어, 친숙한 이야기)를 듣거나 원하는 장면(예, 영화에 주목하는 등)을 볼 수 있다.

비대칭 긴장성 목반사는 신생아의 동작이 반사적인 것이라는 주장이 옳지 않음을 보여 주는 두 번째 사례가 된다. 고개를 측면으로 돌림으로써 생후 10~24일 된 신생아에게서 비대칭 긴장성 목반사가 발생한다. '펜싱 자세' 에서 신생아는 자발적으로 머리 뒤쪽에 있는 팔과 손보다 눈앞에 보이는 팔과 손을 더 자주 움직인다. Van der Meer, van der Weel 및 Lee(1995)가 신생아들이 뻗은 쪽 팔을 더 자주 움직이는 것은 그 팔이 눈앞에 보이기 때문이라는 점을 보여 주었다. 심지어 작은 추를 신생아의 손목에 묶어도 신생아는 볼 수 있을 때 손을 움직였다. 가장 중요한 것은 어떻게 손을 봤느냐에 상관없이 손을 움직였다는 점이다. [그림 5-5]처럼 몇몇 아기들은 평소처럼 고개가 향한 쪽 손(ipsilateral hand)을 봤지만, 비디오 모니터로 반대편 손을 본 아기들은 보이지 않는 손보다 보이는 반대편 손(contralateral)을 더 자주 움직였다. 따라서 신생아는 의도적으로 손목을 움직이는 데 들어가는 힘을 조정해서 보이는 곳에 손을 두고자 하는 것이지, 고개가 향한 쪽 손만 움직이는 것은 아니었다.

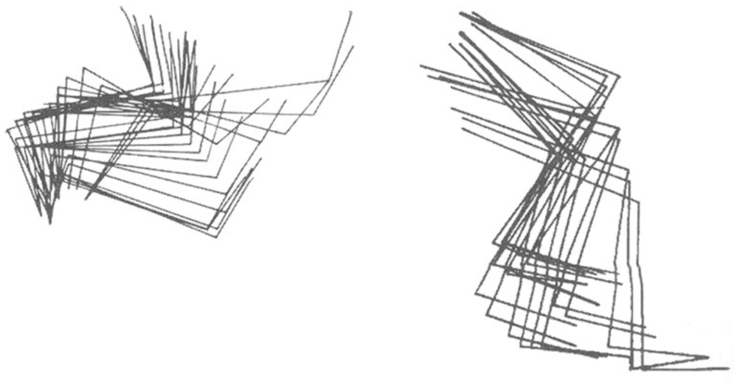
신생아의 걷기는 신생아의 행동이 반사적이라는 기존의 견해를 반박하는 세 번째 사례



[그림 5-5] 신생아의 고개를 오른쪽으로 돌려 모니터에 보여지는 왼쪽 손을 볼 수 있도록 했다. 손목에 추가 달려 있음에도 불구하고 손이 계속 들려 있다는 것을 주목하자. 신생아는 눈에 보이지 않으면 추가 달려 있지 않은 손은 들지 않았다.
출처: *Science 267*, A. L. H. Van der Meer, F .R. van der Weel, & D. N. Lee. The functional significance of arm movements in neonates, p. 694. Copyright © 1995 with permission from AAAS.

다. 기존에는 반사가 유발자극(eliciting stimulus)에 대한 반응이라고 주장했다. 하지만 신생아는 유발자극이 없어도 걷기 행동을 보인다. 신생아를 일으켜 세워 발이 공중에 떠 있게 되면 마치 걷는 것처럼 공중에서 발을 움직인다(Peiper, 1963; Thelen & Fisher, 1982). 일어서 있다는 느낌이 동작을 유도하는 것일까? 아니다. 왜냐하면 신생아는 벽, 비탈면, 천장에서도 걷는 것처럼 발을 움직인다(Peiper, 1963). 또한 등을 바닥에 대고 누워 있을 때에도 발을 바꿔 가면서 차는 움직임을 보인다. 이것을 Thelen(1979)은 '자발적인 상동운동(spontaneous movement stereotypies)' 이라고 부른다. 직립자세로 걷기(upright stepping)와 마찬가지로 누운 자세에서의 발차기도 자세하게 관찰하여 기록하였다. 영아의 발차기 동작은 직립자세로 걸을 때 다리가 움직일 것과 같은 근육 활성화와 시-공간 궤적을 그린다(Thelen & Fisher, 1982). 사실 현대 운동분석 기술에 힘입어 연구자들은 다리 움직임 기록을 선의 형태로 구성할 수 있다. [그림 5-6]처럼 발차기 동작을 90° 회전시키면 걷기동작처럼 보인다.

다리 움직임이 반사적 동작이라는 주장에 대한 반박의 마지막 근거는 그 동작이 변화 가능하고 신생아가 의식적으로 통제하는 행동이라는 것이다. Piaget(1954), Rovee-Collier와 그의 동료들(예, Hitchcock & Rovee-Collier, 1996; C. Rovee-Collier, 1999; C. K. Rovee-Collier & Gekoski, 1979) 등 많은 연구자가 생후 2~6개월 영아의 발차기동작의 조작적 조건화(operant conditioning)를 증명해 보였다. 일상적인 실험에서처럼 연구자들



[그림 5-6] 생후 2주 된 신생아의 발차기동작(A)과 걷기동작(B)
위의 선은 33ms마다 신생아 한쪽 다리의 발가락, 발목, 무릎, 엉덩이의 움직임을 연결해 놓은 것이다.
출처: ***Developmental Psychology, 18,*** E. Thelen & D. M. Fisher, Newborn stepping: An explanation for a disappearing reflex, pp. 765-766. Copyright © 1982 with the permission from the American Psychological Association.

은 끈의 한쪽을 영아의 발목에 묶고 다른 한쪽 끝은 머리 위의 모빌에 연결했다. 몇 분이 지나자, 영아가 자발적인 발차기를 하면서 발동작과 모빌이 흔들리는 것 사이의 연관성을 탐색했다. 영아는 몇 분간 탐색을 한 후 의도적으로 발차기를 하기 시작했다. 연구의 시작 시점에 얻은 기본 자료(끈을 움직여 모빌이 움직이기 전)와 비교할 때 발차기의 빈도수는 높아지고 모빌과 연결된 발로 다른 발보다 더 빠르게 발차기를 했다(Thelen & Fisher, 1983).

또한 신생아는 모빌이 움직이도록 다리의 움직임에 변화를 줄 수 있다. 양쪽 발목에 탄력 있는 끈이 연결되어 있을 때 아기들은 다리를 바꿔 가면서 움직이지 않고 양발을 동시에 움직인다(Thelen, 1994). 무릎의 각도 등 모빌을 움직이기에 어떤 미묘한 제약이 있다는 것을 파악하는 아기도 많다. 각도계와 정밀한 컴퓨터 프로그램을 이용해서 발목과 모빌을 연결하면 85°로 무릎을 구부리는 것이 모빌을 움직이게 한다는 것을 아는 아기가 많다는 것을 알 수 있다(Angulo-Kinzler, Ulrich, & Thelen, 2002).

반사는 사라지는 것인가?

신생아의 행동이 반사적이라는 기존 주장의 핵심 근거는 많은 행동이 U자형의 궤도를 보인다는 점에 있다(예, McGraw, 1935; P. R. Zelazo, 198; P. R. Zelazo, Zelazo, & Kolb, 1972). 생후 몇 달간은 빈도수가 높지만, 그 후 몇 달간은 빈도수가 낮거나 0이다가, 의도적인 목표행동과 관련해서 그 동작이 다시 나타난다. '사라지는 반사' 중 신생아의 걷기 동작에 대해 가장 많은 연구가 이루어져 있다. 걷기 반사는 보통 생후 8주 정도면 사라지고, 다리를 바꿔 가면서 걷는 동작이 다른 사람의 손에 의지해서 진짜 걸음마를 시작할 때쯤인 8개월 정도에 다시 나타난다. 전통적인 설명에 따르면, 걷기 반사의 U자 모양 궤도는 신경계의 성숙(neural maturation)에 따른 것이다. 이 설명에 따르면, 피질(cortex) 성숙으로 생후 8주에 반사동작이 줄어들고 신생아가 '마치 바닥에 붙여놓은 것 같은' 자세를 취한다(McGraw, 1940, p. 751). 피질척수로(Cortical-spinal tract)의 수초화(myelinization)로, 걷기동작이 생후 8개월에 피질의 통제(cortical control) 하에 다시 나타난다. 마지막으로, 신경 구조와 회로의 성숙으로 정보처리 속도와 효율성이 증가하여 신생아가 생후 약 12개월쯤에는 혼자서 걷게 된다(P. R. Zelazo, 1998; P. R. Zelazo, Weiss, & Leonard, 1989).

하지만 Thelen과 동료들의 실험조작은 걷기 반사가 사라진다는 기존의 견해를 반박하며 걷기동작이 사라지는 것이 아니라 단지 잠시 억제되는 것뿐임을 보여 준다(예, Thelen,

Fisher, & Ridley-Johnson, 1984; Thelen, Fisher, Ridley-Jophnson, & Griffin, 1982). 걷기동작과 누운 자세에서의 발차기가 비슷하다는 것을 감안할 때, Thelen은 걷기동작은 사라지는데 왜 누운 자세에서 발차기동작은 사라지지 않는 것인가에 대해 고민했다. 발차기는 생후 1년 동안 가장 많이 나타나는 동작이다. 성숙 과정에서 어떤 뇌의 변화가 있었기에, 같은 동작이 한 자세에서는 나타나고 다른 자세에서는 나타나지 않는 것일까?

Thelen 등(1982)은 다리가 더 가는 작은 아동이 같은 월령이지만 다리가 더 튼튼하고 큰 아동보다 더 늦게까지 걷기동작을 보이는 것을 발견했다. 연구를 통해 다리의 지방과 걷기동작 사이의 상관관계가 밝혀졌다(Thelen et al., 1984). 정상적으로 걷기동작을 보이는 생후 4주 된 신생아에게 생후 몇 개월 된 아기처럼 다리의 지방이 늘어난 것 같은 효과를 내기 위해서 다리에 추를 달았더니, 걷기동작을 보이지 않았다. 걷기동작을 보이지 않는 생후 4주 된 신생아를 가슴까지 욕조에 넣어 다리의 무게를 덜어 주었더니 여러 차례 걷기동작을 보였다. 걷기동작을 보이지 않는 생후 7개월 된 아기를 작동하고 있는 러닝머신에 발이 닿게 해 보았더니, 감춰져 있던 걷기동작이 살아났다(Thelen & Ulrich, 1991; Thelen, Ulrich, & Niles, 1987); Vereijken & Thelen, 1997). 러닝머신 벨트가 다리를 뒤로 잡아당겨 필요한 다리의 근력을 주고, 연구자가 아기 옆구리를 잡고 있음으로써 균형을 잡아 준다. 다리는 엉덩이와 무릎관절이 탄력성이 좋기 때문에 스스로 다시 돌아간다. 원칙적으로는 양쪽 다리가 동시에 뒤로 움직이고, 다시 앞으로 돌아오는 방식으로 움직인다. 실제로는 양발을 바꿔 가면서 움직이는 동작을 보여서, 러닝머신 위에서는 마치 걷는 것처럼 보이는 것이다.

Thelen(1984; Thelen & Smith, 1994)은 신생아의 움직임이 중추신경계 변화와의 관련성은 불가하다는 입장의 대안적인 설명을 제시했다. 태아 운동이 중추신경계 영역 바깥의 요인(양수의 부력, 자궁 내 공간 제약)에 의해 촉진되고 제약을 받았던 것처럼, 신생아의 움직임도 비신경성인 생체역학적(biomechanical) 요인의 변화에 의해 촉진되고 제약을 받는 것일 수 있다는 것이다. Thelen은 생후 몇 개월에 걸쳐 정상적으로 신생아의 다리에 지방이 증가하지만 근력은 이에 맞춰 향상되지 못하기 때문에 걷기동작을 보이지 않게 되는 것일 수 있다고 주장했다. 아기는 근력은 줄었으나 더 무거워진 팔다리를 들어올려야 하는 것이다. 신생아는 직립자세에서, 중력에 거슬러서 순전히 근육의 동작을 이용해서 다리를 구부려야 한다(마치 제자리에서 걷기를 할 때처럼). 누운 자세에서는 중력이 구부린 허벅지를 가슴 쪽으로 당겨 줌으로써 다리를 움직이기가 더 쉬워진다. 중력, 관성, 근육과 힘줄의 탄력성 덕분에 엉덩이를 이완시키고 다리가 다시 제자리로 돌아가는 게 더 쉬워진다. 생후 8개월이 되면 곧추선 자세에서 다리를 들어올리기에 충분한 근력이 생

긴다.

Thelen의 설명과 같은 맥락에서 직립자세에서 다리를 움직이는 운동을 시키면 생후 8주가 지나서도 계속 걷기동작을 보인다. 부모가 아동에게 생후 1~8주까지 매일 하루에 12분가량 직립자세에서 걷기 운동을 시킨 경우, 보통의 경우와는 달리 걷기동작이 쇠퇴하지 않았다(P. R. Zelazo et al., 1972). 무게를 실은 운동(overload training)만이 근력을 키워주는 것으로 보인다. 누운 자세에서 수동적으로 다리를 뻗었다가 내리는 운동을 시키면(pumping them up and down) 걷기동작이 보통의 경우처럼 사라졌다.

4. 중력의 극복: 머리와 몸 통제하기

머리부터

심리학자들은 수십 년간 신체운동발달은 두미(cepahalocaudal, 머리에서 아래로) 방향으로, 중심말단(proximodistal, 중심에서 바깥으로) 방향으로 진행된다는 원칙을 믿어 왔다(Gesell, 1946; Shirley, 1931; Woollacott, Debu, & Mowatt, 1987). 앞서 설명했듯이, 태아는 머리부터 성장한다. 예를 들어, 팔과 다리가 손가락과 발가락보다 먼저 형성되고, 몸통을 꼬고, 구부리게 된 후에야 팔다리를 수축, 이완시킨다. 또 먼저 팔로 치고, 발차기를 한 후에야 손가락, 발가락을 움직인다.

이와 마찬가지로 신생아의 성장과 운동발달도 일반적인 두미 방향 및 중심말단 방향 원칙을 따른다. 처음에는 신생아의 머리와 몸통이 가는 팔, 다리에 비해 상대적으로 크다. 팔다리는 머리와 몸통보다 빠른 속도로 성장하기 때문에 아기들은 자라면서 균형 있는 몸을 갖게 된다. 신생아는 머리가 크기 때문에 중력에 저항하는 데 어려움을 겪는다. 소아과 의사들은 부모에게 아기는 목근육이 발달하지 않아 목을 가눌 힘이 없기 때문에 아기를 들거나 안을 때 머리를 잘 받치라고 조언한다. 예를 들어, 신생아를 끌어당겨서 앉기자세로 만들 때, 고개가 뒤로 떨어져 얼굴이 위를 향하게 된다. 앉기자세로 계속 두면 고개가 앞으로 내려와서 가슴 쪽으로 떨어진다(Bly, 1994).

신생아 발달 과정에서 머리와 몸통이 먼저 중력을 극복한다. 바닥에서 스스로 몸을 들기 위해서는 우선 고개를 들어올려야 한다. 신생아는 엎드려서 호흡을 원활히 하기 위해 빠른 속도로 고개를 이쪽저쪽으로 돌릴 수는 있다. 하지만 장시간 동안 고개를 들고 있지는 못한다. 생후 2~3주 정도가 되면 뺨을 바닥에서 잠시 뗄 수 있게 된다. 5주에서 10주

가 되면 엎드려서 머리와 가슴을 들어올릴 수 있다(Bly, 1994; Shirley, 1931). 생후 3개월에는 고개를 똑바로 들 수 있고 이마를 대고 엎드려서 몸을 가눌 수 있다. 하지만 아직까지는 균형을 제대로 잡지 못한다. 그래서 무게중심을 한쪽 팔에서 다른 쪽 팔로 이동하거나 손을 사용하지는 못한다. McGraw(1945, p. 67)는 엎드려서 이마를 대고 있는 자세를 '인어자세(mermaid posture)' 라고 부를 수도 있다고 말했다(실험대상 신생아 몇몇이 남자 아기였다는 것만 제외하면). 다리가 인어 꼬리처럼 몸 뒤쪽에서 느리게 움직이기 때문이다. 생후 5개월에는 무게중심을 한쪽 팔에 실을 수 있게 되고, 따라서 손을 자유롭게 뻗쳐서 장난감을 잡아 만질 수 있게 된다.

몸

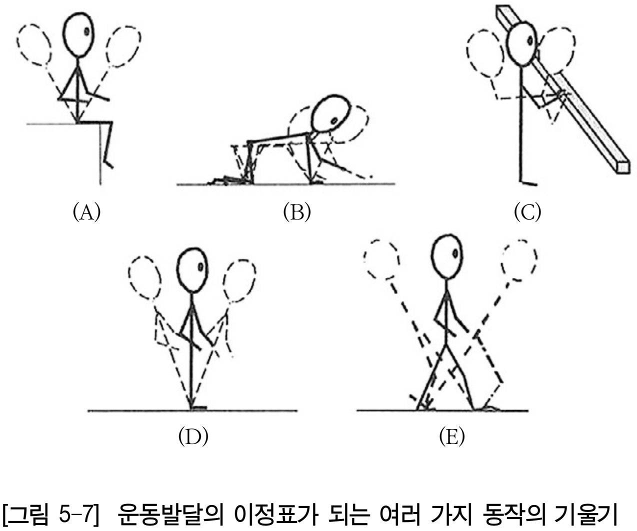
앉 기　성인처럼 의자에 기대어 다리를 늘어뜨리고 있는 것은 앉기자세 발달의 마지막 과정이다. 그렇게 되기까지는 수개월의 준비 과정이 필요하다. 신생아가 똑바로 앉아 있기 위해서는 외부의 지지(부모의 팔이나 소파쿠션)가 필요하다. 신생아는 목, 몸통, 엉덩이 근육이 약하고, 이들 근육 간 협응이 잘 이루어지지 않으며, 슬와부근(hamstring muscle)이 아직 굳어지지 않아서 앞으로 엎어질 수 있다.

두미발달은 특히 앉기능력발달에서 두드러지게 나타나는 듯하다. 마치 신생아가 앉기자세에서 한 번에 척추골 하나씩을 통제할 수 있게 되는 것처럼 보인다. 처음에는 어깨를 받쳐서 앉히면 고개가 떨어진다. 그러다가 엉덩이를 받쳐 주면 스스로 고개를 가눌 수 있게 되는데, 등은 구부러진다. 등을 곧추세울 수 있게 되도 엉덩이를 받쳐 주지 않으면 아직까지는 가슴부터 무릎까지 비틀거린다. 혼자 힘으로 앉게 되려면 몸통 전체의 근육을 통제할 수 있어야 한다.

대략 생후 5개월에는 엉덩이를 대고 앉아서 스스로 균형을 잡지는 못하지만, 다리를 뻗고 앉아서 그 사이로 바닥에 손을 짚고 스스로를 지지하는 '삼각대자세(tripod position)' 로 앉아 있을 수 있다. 생후 6개월에는 손을 바닥에 대지 않고 좀 더 오래 앉아 있을 수 있다. 하지만 아직까지는 균형을 잡고 몸을 측면으로 돌릴 수는 없다. 이제 갓 앉을 수 있게 된 영아 대부분이 '원자세(ring position)' (다리를 뻗고, 무릎을 벌리고, 발바닥을 맞댄 자세)로 앉아서 골반에 좀 더 안정감을 준다. 생후 7개월에는 마침내 몸통과 엉덩이를 통제할 수 있게 되어 앉은 채로 측면으로 돌거나 손을 뻗을 수 있다. 또한 7~9개월에 손과 무릎을 대고 앉을 수 있게 되고(Adolph, Vereijken, & Denny, 1998), 앞으로 넘어지지 않고 앉기자세에서 무릎을 꿇거나 기는 자세로 바로 자세를 바꿀 수 있다.

생후 9개월이 되면 몸통이 잘 발달되어 있고, 신생아의 슬와부근(hamstring muscle)이 아직 굳어지지 않았기 때문에 'v자세' 와 '원자세' 외에도 요가 강사처럼 다리를 자유자재로 움직일 수 있다. 예를 들어, 무릎은 앞을 향하고 발은 엉덩이 뒤로 하고 양다리를 'w' 자로 만들 수 있다. 또 두 다리를 굽혀 한쪽 측면으로 향하게 하는 '측면자세' 를 취할 수 있다.

균형의 지각적 통제 앉은 채로 균형을 잡는 법을 배우려면 근육과 생체역학(biomechanics) 이상의 것이 필요하다. 다른 모든 자세와 마찬가지로, 앉기자세는 주요 운동발달의 이정표이기도 하지만 인지능력발달의 한 지표이기도 하다. 균형을 잡으려면 지각적 정보를 파악하고 이에 적합한 운동반응을 해야 한다(E. J. Gibson & Pick, 2000; J. J. Gibson, 1979). 고정자세(stationary posture)로 있으면 마치 가만히 있는 것같아 보인다. 하지만 앉기자세에서(혹은 중력을 거스르는 모든 자세에서) 몸은 항상 움직이고 있다. [그림 5-7]에 나와 있듯이, 원뿔형 공간의 범위 안에서 몸은 항상 앞뒤로, 좌우로 흔들리고 있다(McCollum & Leen, 1989; Riccio & Stoffregen, 1988). 균형을 잡기 위해서는 특정 방향으로 몸이 흔들리면 반드시 그에 상응하여 반대 방향으로 몸을 움직여 줘야 한다. 흔들림의 허용범위의 반경은 동요된 토크(destabilizing torque)(역자 주: 축둘레 회전력)의 상대적 크기(몸을 끌어당기는 중력과 관성)에 대비한, 근육 토크(muscle torque)의 크기(신생아가 중



[그림 5-7] 운동발달의 이정표가 되는 여러 가지 동작의 기울기

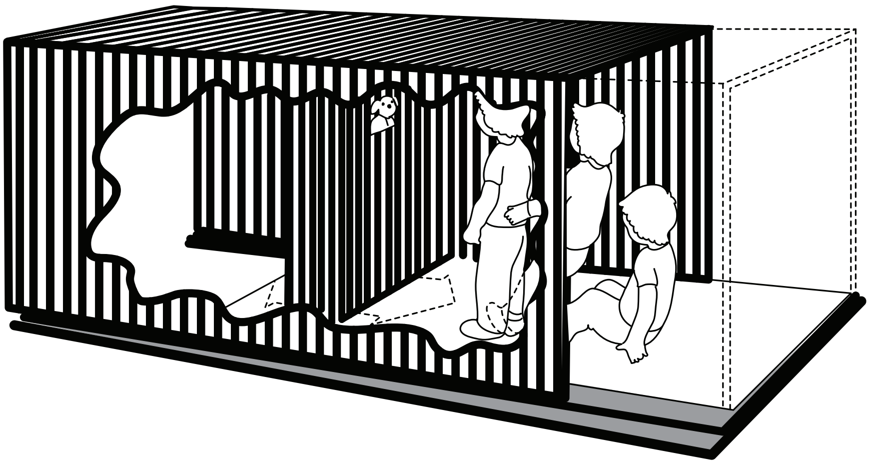
(A) 앉기, (B) 기기, (C) 붙잡고 걷기, (D) 서기, (E) 걷기. 점선은 중심축을 기점으로 최대 흔들림의 허용 범위를 보여 준다. 자세마다 각기 다른 근육, 시각, 움직임의 각도가 다르다는 것에 주목하라.

출처: ***Advances in Child Development and Behavior***, Vol. 30, K. E. Adolph, Learning to Keep Balance, pp. 18-19. Copyright © 2002 with permission from Elsevier.

력에 저항할 수 있는 힘의 정도)에 달려 있다.

이제 막 앉을 수 있게 된 아기들은 자세를 바로잡을 충분한 근력과 협응 능력이 없는 채로 서기 때문에 몸이 흔들림의 허용범위 밖으로 나가기 때문에 넘어지는 것이다([그림 5-7A]). 앉기 경험이 충분치 않은 아기들은 몸이 흔들렸을 때 흔들림의 허용범위 안에서 반대 방향으로 몸을 재조정할 능력이 없기 때문에 자세를 가만히 유지하고 있어야만 한다. 아기들은 고개를 돌리거나 몸통을 꼬거나 팔을 뻗어 물체를 잡을 수 없다. 왜냐하면 이런 모든 동작은 흔들림의 허용범위를 줄어들게 하고 더 큰 보상동요반응(compensatory sway responses)을 요구하기 때문이다.

'움직이는 방(moving room)' 실험을 통해 영아가 스스로 몸이 흔들리는 것을 느낄 뿐만 아니라 몸이 한쪽으로 기운다는 것을 볼 수 있음을 알 수 있다(예, Bertenthal, Boker, & Xu, 2000; Bertenthal, Rose, & Bai, 1997; Butterworth & Hicks, 1977; Stoffregen, Schmuckler, & Gibson, 1987). 실제로 시각정보가 균형을 잡는 데 매우 중요하므로 영아는 근육과 관절이 보내는 자기수용정보(proprioeptive information)보다 시각정보를 더 중요하게 생각한다. 움직이는 방은 몸이 흔들리는 것 같은 착시 효과를 준다. 이는 마치 기차 안에 있는 승객이 자신이 탄 기차는 움직이지 않는데도 옆의 기차가 움직일 때 느끼는



[그림 5-8] '움직이는 방(moving room)' 안에 서 있는 영아

벽이 움직이면서 가만히 서 있을 때도 영아의 몸이 기우는 것 같은 착시 현상이 생긴다. 영아는 방의 움직임에 따라 몸이 흔들리거나 비틀거리거나 넘어진다. 이는 영아가 시각정보를 활용해 균형을 잡는다는 것을 보여 준다.

출처: Reprinted with permission from ***Developmental Psychology, 25***, B. I. Bertenthal & D. L. Bai, Infant's sensitivity to optical flow for controlling posture, p. 939. Copyright © 1989 by the American Psychological Association.

것과 같다. [그림 5-8]에서 볼 수 있듯이, 영아는 슬링(sling)에 앉아 있거나 정지해 있는 바닥에 앉아 있다. 하지만 주변의 벽이 앞뒤로 움직인다(임시 벽을 천장에 트랙을 달아서 움직이거나, 바닥에 자전거 바퀴를 달아서 임시벽을 움직였다). 벽이 앞으로 움직이면 몸이 뒤쪽으로 움직일 때의 시각적 효과가 발생하고, 벽이 뒤로 움직이면 몸이 앞으로 움직일 때와 같은 시각적 효과가 발생한다. 시각정보와 근육, 관절정보가 충돌한다 해도(영아는 스스로 움직이고 있는 것을 알지만 가만히 있다고 느낀다), 유도된 흔들림의 느낌은 상당하다. 앉아 있는 성인 중에는 의자에서 떨어지는 경우도 있다(Poore, Campos, Anderson, Anderson, & Uchiyama, 2004). 서 있는 성인 중 일부는 비틀거리고 일부는 구토감을 느끼기도 한다(Smart, James, Stoffregen, & Bardy, 2002).

영아는 균형을 잡기 위해 혼자 힘으로 앉는 능력이 생기기 전부터 시각유입(optic flow) 정보에 민감하다. 신생아(Jouen, Lepecq, Gapenne, & Bertenthal, 2000)와 생후 2개월 된 영아(Butterworth & Pope, 1983)는 가장된(simulated) 시각적 흐름의 속도와 방향에 맞춰 머리를 움직인다(Woollacott, Shumway-Cook, & Williams, 1989). 슬링이나 좌석에 앉아 있는 영아는 벽이 앞으로 움직였을 때 뒤쪽으로 몸이 움직이는 것처럼 느끼기 때문에 그에 상응하여 몸을 앞으로 움직인다. 벽이 뒤로 움직일 때는 몸이 앞으로 움직이는 것처럼 느끼기 때문에 몸을 뒤쪽으로 움직인다. 앉기자세에서 균형을 잡는 데 익숙해지면 영아는 움직이는 방안의 광학적 흐름에 대응해 반응 움직임의 크기와 시기를 더 정확하게 파악한다.

5. 사물을 향해 손 뻗기

손 뻗기(reaching)를 학습하는 데는 팔을 들어올리는 것과 같은 생체역학적인 측면과 손을 목표 물체나 표면에 가져가는 궤도를 안내(guiding) 하는 지각적인 측면의 어려움이 있다. 팔을 드는 것은 주로 균형의 문제다. 영아가 팔을 움직일 때 몸의 균형을 유지할 수 있으려면 몸통에 충분한 근력이 있어야 한다. 하지만 단순히 팔을 흔드는 것과 목표를 가지고 손을 내미는 과정에서 손을 제대로 가누지 못하는 것의 차이는 대상물체에 접촉을 하느냐에 있다. 목표를 가지고 손을 내미는 것은 손의 위치와 비교한 물체의 위치에 대한 인지적 정보가 있어야 한다. 따라서 손 내밀기에 관한 많은 연구가 영아가 손을 움직이는 데 시각정보를 이용하는 능력의 발달적 변화에 초점을 맞추었다.

뻗기의 준비 단계로서의 신체 안정감

손 뻗기에서 영향　손자세의 뻗기를 방해하는 요소는 팔의 근력이 아니다. 신생아도 중력에 저항해 팔을 들어올릴 만큼의 근력은 있다. 문제는 나머지 몸을 안정시키는 데 필요한 근력이다. 팔동작에 따라 신체의 무게중심의 위치가 변하면서 균형이 깨진다. 예를 들어, 앉아 있는 영아는 팔을 내밂으로써 발생하는 무게중심의 변화에 대비하여 손을 내밀기 위해 팔을 뻗기 전에 몸통의 근육을 먼저 활성화시켜야 한다(von Hofsten & Woolacott, von Hofsten, 1993에서 인용). 신생아는 머리와 몸통을 제대로 가누지 못할 때는 팔을 들어올려 물체를 잡지 못한다(Amiel-Tison & Grenier, 1986; von Hofsten, 1993; Spencer, Vereijken, Diedrich, & Thelen, 2000).

물체를 향해 손을 뻗는 것은 전신의 균형을 잡아야 하는 일이기 때문에(Rochat & Goubet, 1995, p. 65) 손 뻗기의 발달에는 시간이 걸린다. 또 누운 자세, 엎드린 자세, 앉기자세에서 각기 다른 경로로 손을 뻗게 된다(Bly, 1994). 생후 4개월이 되면 어딘가에 기대어 앉혀 놓으면 인형을 만질 수 있고, 등을 대고 누워 있을 때 눈앞에 있는 인형을 향해 팔을 들어올릴 수 있다. 하지만 아직 잡지는 못한다. 팔을 위로 움직이다가 대상 물체를 지나치고는 한다. 생후 4개월의 영아가 엎드려 있을 때는 손을 전혀 뻗지 못한다. 5개월에는 기대어 앉아 있거나 누워 있을 경우 손이 닿는 곳에 있는 물체를 접촉하는 데는 훨씬 나아지지만 두 팔을 동시에 뻗어서 양손으로 물체를 친다. 5개월이 된 영아는 배를 바닥에 대고 엎드려 있거나 기대어 있을 때 한 팔로 몸을 지지하면서 다른 한쪽 팔로 장난감을 향해 손을 뻗는다(Bly, 1994; Rochat, 1992). 생후 6개월이 되면 누워 있는 상태에서 한쪽 팔만 앞으로 뻗기 시작한다. 7개월에는 엎드려 있을 때나 앉아 있을 때 모든 방향으로 한 팔을 뻗을 수 있다. 8개월에는 누워 있거나 엎드린 자세에 고정되어 있는 것을 좋아하지 않아서, 손 뻗기 동작의 대부분이 앉기자세에서 보인다.

앉기와 손 뻗기　앉기자세에서 균형을 잡는 것은 손 뻗기 발달에서 아주 중요한 부분이다(Rochat & Goubet, 1995). 아직 앉아 있을 수 없다면 다른 한 손으로는 스스로를 지지해야 하기 때문에 한쪽 손만 뻗을 수 있다. 따라서 한 손을 짚고 앉아 있을 수 있는 생후 5~6개월의 영아가 앉은 자세에서 양손 뻗기를 시도하면 앞으로 넘어져서 표적 물체를 완전히 놓친다(Rochat, 1992). 만약 할 수 있다면 양손을 사용하여 표적물체에 손을 뻗을 가능성이 높다. 엎드린 자세, 누운 자세, 고정시켜서 앉은 자세에 있는 영아는 양손을 동시에 뻗는다. 하지만 양손 뻗기는 뻗기 정확도가 떨어지는 신생아가 표적 물체에 접촉

할 가능성이 높아지는 효과를 낸다(Corbetta, Thelen, & Johnson, 2000).

생후 5~7개월의 영아는 양안 깊이 단서(binocular depth cue), 그림 깊이 단서(pictorial depth cue), 운동역학적 정보(kinetic information) 등 다양한 시각 깊이 단서(visual depth cue)를 이용하여 두 물체 간 거리와 물체가 팔이 닿는 거리 안에 있는가를 파악한다(Yonas & Granrud, 1985). 생후 5개월의 영아들 중 많은 경우가 팔길이 및 앞으로 몸을 내밀어서 추가로 확보할 수 있는 거리를 포함하여 도달거리(reaching distance)를 판단하는 능력도 보여 주었다(Yonas & Hartman, 1993). 하지만 일부는 보통 표적에 손을 뻗을 때 몸을 너무 앞으로 내밀어서 안전벨트가 없었으면 의자에서 떨어질 뻔했다(McKenzie, Skouteris, Day, Hartman, & Yonas, 1993). 앉기자세에서 자세의 안정감이 증가하면서 손을 독립적으로 사용할 만큼의 유연성을 확보한다. 생후 8개월에는 자세에 관계없이 한 손으로 작은 물체를 향해 손을 내민다.

일반적으로 근력이 증가해야 앉아서 자세를 통제하는 것이 가능해지지만, 영아가 결국 스스로 보이게 될 지지력(support)을 가상으로 만들어 내는 실험을 통해 더 높은 수준의 자세통제력(postural control)을 촉진할 수 있다. 앉지 못하는 영아의 자세통제실험이 특히 극명한 효과를 보인다. 예를 들어, Rochat과 Goubet(1995)는 쿠션을 받쳐서 엉덩이를 지지해 줌으로써 생후 5~6개월 된 아직 앉지 못하는 영아들에게 자세통제 능력을 높여 줬다. Hopkins와 Ronnqvist(2001)는 구멍을 뚫어 허벅지를 의지할 수 있게 만든 특별 제작된 영아용 의자를 이용해 앉지 못하는 영아를 받쳐 주었다. 이렇게 도움을 받자 앉지 못하는 영아들의 손 뻗기 동작이 앉을 수 있는 영아들처럼 협응이 잘 이루어졌다. 보통 이제 막 앉을 수 있게 된 영아들은 앞으로 몸을 기울이는 동작과 물체를 향해 손을 내미는 동작을 별개의 동작으로 보인다. 그리고 이 영아들이 손 뻗기 동작을 하면 팔과 몸통이 몇 차례 흔들리는 정도다(Hopkins & Ronnqvist, 2001; McKenzie et al., 1993; Rochat & Goubet, 1995). 하지만 몸통의 안정감을 더 높여 주고, 엉덩이를 받쳐 주고, 앉아 있는 바닥이 지지를 해 줄 경우, 아직 앉지 못하는 영아들도 손 뻗기와 몸을 앞으로 내밀기 동작에서 협응 능력이 향상됐다. 그에 따라 손과 머리의 움직임 횟수가 줄어들어 더 부드럽고 더 성숙한 손 뻗기 동작이 가능해졌다(Hopkins & Ronnqvist, 2001; Rochat & Goubet, 1995). 요약하면, 자연스럽게 균형 능력이 향상되든지, 연구자의 도움을 받아 향상되든지에 관계없이 자세발달을 통해 손 뻗기 동작이 촉진된다.

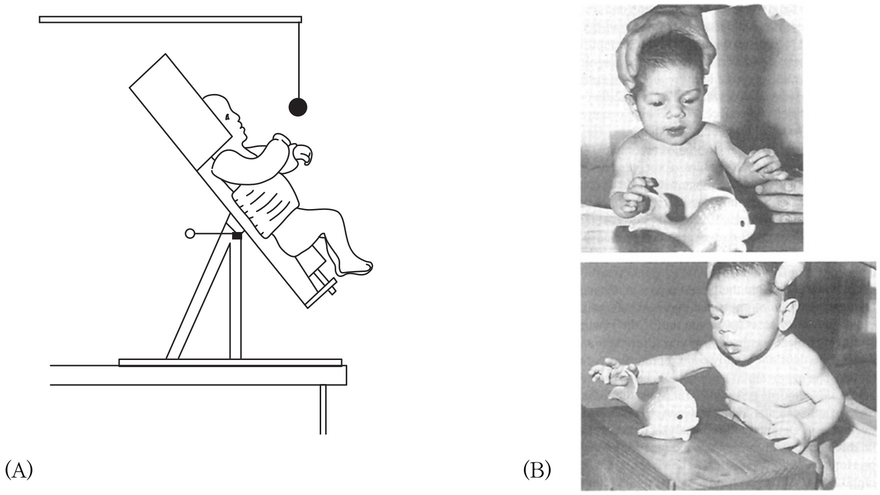
접촉! 시각적 지침이 있는 손 뻗기의 발달

신생아의 손 뻗기 원형 연구자들은 기발한 방법을 동원해 신생아의 균형감각을 향상시킴으로써 신생아의 자발적 팔동작에서 시각적 지침이 있는 손 뻗기(visually guided reaching) 발달의 기원을 발견했다. 신생아를 대상으로 한 연구에서 흉부상부와 엉덩이를 약간 비스듬한 판에 안전하게 고정시키고 머리는 쿠션 사이에 받쳐 놓았다(예, von Hofsten, 1982). 또한 연구자가 손으로 신생아의 머리를 부드럽게 잡아 신생아의 팔과 어깨를 자유롭게 움직일 수 있게 하는 방법도 이용했다(Amiel-Tison & Grenier, 1986). 두 실험 방법이 [그림 5-9]에 나와 있다. 머리와 몸통이 균형통제제약(balance constraints)에서 자유로워지자, 신생아들은 표적물체가 눈에 보일 때나 보이지 않을 때나 양팔을 측면에서와 몸 앞에서 흔들었다(von Hofsten, 1982). 하지만 이렇게 팔을 퍼덕거리는 움직임은 물체가 있는 것과 관련이 있을 수 있다는 것을 보여 주는 증거가 있다. 생후 5~9일 된 신생아는 표적물체가 눈앞에 있을 때(색깔 화려한 털 달린 공이 매달려 있는 경우)에 없을 때보다 더 자주 팔을 앞으로 내미는 움직임을 보여 준다(von Hofsten, 1982).

연구자들이 생후 일주일 된 신생아가 장난감을 잡으려고 의도하는 것이라고 생각하지 않는다. 오히려 신생아가 팔을 내미는 것이 표적물체에 대한 주의를 불러일으키는 기능을 한다. 이와 마찬가지로 신생아의 팔 내밀기에 관한 자료를 보면 팔-손동작과 보기행동(looking behavior)은 서로 밀접한 관계가 있으며, 물체를 시각과 손으로 탐색(visual-manual exploration)하거나 시각적 지침이 있는 손 뻗기에서 지각적 기초를 제공함을 알 수 있다.

도움을 받아 손 뻗기와 잡기 신생아와 마찬가지로, 생후 3~5개월 된 영아들도 균형제약에서 자유로워지면 혼자 힘으로 앉을 수 있기 전에 시각적 지침이 있는 손 뻗기(잡기도 가능)를 할 수 있다. 연구자들은 영아를 기울어진 나무 판에 고정시키거나 기울어진 의자에 앉히고 받쳐 줌으로써 자세잡기를 도와준다. 혹은 부모가 영아들의 허벅지를 받쳐 주고 옆구리를 잡아서 머리와 몸통이 안정되도록 해 준다.

도움을 받아 손 뻗기를 하면, 대부분의 영아들이 처음으로 고정된 물체를 접촉하는 것에 성공하는 시기가 생후 12~18주다(Clifton, Muir, Ashmead, & Clarkson, 1993). 하지만 균형을 잡아 준다고 해도 영아들마다 손 뻗기의 어려움을 다른 방식으로 해결한다. 몇몇은 할퀴듯 하는 행동에서부터 점차적으로 손 뻗기 행동을 형성하고, 다른 영아들은 자발적으로 팔을 퍼덕거리는 동작에서 목표지향적 손 뻗기 동작을 이끌어 낸다. Thelen과 동



(A) (B)

[그림 5-9] 영아에게 물체를 향해 팔과 손을 내미는 동작을 촉진하기 위해 자세 통제를 도와주는 두 가지 방법

(A) 기운 의자에 아기를 고정시키기. 출처: Reprinted with permission from *Developmental Psychology, 18*, C. von Hofsten, Eye hand coordination in the newborn, p. 452. Copyright © 1982 by the American Psychological Association.

(B) 영아의 머리를 부드럽게 잡아 들기. 출처: Reprinted with permission with *Neurological assessment during the first year of life*, C. Amiel-Tilson & G. Albert, pp. 139-140. Copyright © 1986 by Masson, SA.

료들(Thelen et al., 1993; Thelen, Corbetta, & Spencer, 1996)은 도움을 받은 손 뻗기 동작의 발전 상황을 일주일에 한 번씩 기록하는 종단적 연구를 수행했다. 그 결과, 영아들의 팔동작의 자세한 운동역학을 확보할 수 있었다. 한나라는 영아는 손 뻗기에서 구성주의적 접근(constructivist approach)을 할 수 있는 좋은 사례다. 한나는 최초로 표적 장난감에 손을 대기 전에 자발적인 팔동작을 거의 보여 주지 않았고, 느리고 규모가 작은 동작만 보여 주었다. 한나는 팔을 거의 들어올리지도 못했다. 생후 20～22주에 처음으로 손 내밀기에 성공했고, 팔을 들어올릴 힘을 모두 모았던 것이다. 팔목, 팔꿈치, 어깨의 움직임은 느리고 크지 않았다. 손을 앞뒤로 흔들었고, 표적 장난감을 지나치는 경우가 종종 있었다. 몇 주간 관찰하는 동안 한나의 손 내밀기 동작은 더 빨라지고, 좀 더 정확하게 목표물에 다가가고, 더 많은 힘이 실리게 되었다.

반면에 가브리엘이라는 영아는 선택주의적 접근법(selectionist approach)의 대표적 사례로, 자발적으로 팔을 퍼덕거리는 동작에서 목표 지향적 손 뻗기 동작을 이끌어 내는 듯 보였다. 가브리엘은 최초로 표적 장난감에 손을 대는데 성공하기 전에 자발적 팔동작을 자주 보여 주었다. 거칠고 힘이 넘쳐서 통제가 안 되어 표적 장난감에 손을 대지 못하는

경우였다. 생후 15주에 처음으로 손 내밀기에 성공했고, 여기에는 계속 손을 흔드는 데에 따른 관성을 극복하는 것이 필요했다. 어깨, 팔꿈치, 팔목을 경직시켜서 흔들리는 팔을 통제할 수 있게 됐다. 몇 주간의 관찰 기간 동안 가브리엘의 손 내밀기 동작의 속도는 느려지고, 정확성은 높아지고, 힘은 줄어들게 되었다.

도움을 받아서 고정된 물체에 접촉하는 것과 거의 비슷한 시기에 도움을 받아서 물체를 잡을 수 있다(von Hofsten, 1980, 1983; von Hofsten & Lindhagen, 1979). 생후 12주 정도부터 영아들은 반원형을 그리며 눈앞에서 왔다갔다하는 움직이는 물체(움직이는 축에 달려 있는 시선을 끄는 털 공)를 향해 팔을 내민다. 15주에는 팔 내밀기 동작이 아주 정확해져서 움직이는 물체를 중간에서 잡을 수 있게 된다. 팔 움직임의 시간을 조정해서 손을 물체가 움직이는 쪽으로 동시에 움직이고, 목표를 수정해서 물체가 손을 내밀기 동작을 시작할 때 있었던 곳이 아니라 도달할 곳으로 손을 바로 움직인다. 생후 15주에 도움을 받아 움직이는 물체에 손을 대는 것에 이미 상당히 노련해졌다고 하더라도 여전히 나아져야 할 부분이 있다. 움직이는 물체를 잡는 것은 보통 생후 18주는 되어서야 가능해진다.

시각적 지침이 있는 손 뻗기　최초로 손 내밀기 동작을 할 때 속도나 동작의 크기 면에서 다른 모습을 보이긴 했지만, 한나와 가브리엘 및 다른 영아들이 모두 공통적으로 보이는 양상이 있다. 세밀한 동작 분석을 살펴보면 영아들의 최초 손 뻗기 동작이 나중에 더 익숙해졌을 때의 동작보다 통제가 덜 되고 표적물체 접근에서도 떨어지는 것을 알 수 있다(예, Berthier, Clifton, McCall, & Robin, 1999; von Hofsten, 1980, 1983, 1991; Thelen et al., 1993; Thelen et al., 1996). 초기의 손 뻗기 동작은 운동단위(movement units)라 불리는 팔동작 몇 차례가 전부다(von Hofsten, 1979). 각 운동단위는 감속과 가속으로 이루어져 있고 이후 보통 방향이 전환된다. 미성숙한 영아의 손 뻗기는 평균 4개의 운동단위로 이루어져 있다. 반면에 성숙한 성인의 손 뻗기는 2개의 운동단위로 이루어져 있는데, 첫 번째는 손을 물체 근처로 가져가는 큰 동작이고, 두 번째는 물체를 잡는 작은 동작이다. 연습을 하면 영아도 멈춤이 적어지고 직선거리에서 벗어나는 움직임이 줄어들어 좀 더 정확하게 표적 물체에 접근하고 동작이 더 부드러워진다. 생후 30주가 되면 대다수의 영아들의 경우 손 뻗기 동작의 운동단위는 2로 줄어든다. 첫 번째 운동단위는 시간이 길어지고 손을 표적까지 가져가는 동작이고, 두 번째 운동단위는 손으로 장난감을 잡기 위한 준비를 하는 과정이다(von Hofsten, 1993; von Hofsten & Ronnqvist, 1993).

여러 해 동안 연구자들은 운동단위가 여러 개로 이루어진다는 것은 팔의 경로를 움직이면서 수정하기 때문이라고 추정했다. 즉, 손 뻗기 동작을 막 시작한 영아는 아마도 손

을 장난감 주변으로 가져가는 데 필요한 정확성이 부족해 첫 번째 운동단위를 계획하는 것이 불가능했을 것이다. 이를 보완하기 위해서 여러 차례의 수정 작업을 통해 장난감의 위치에 대비한 손의 위치를 계속해서 파악한다(McDonnell, 1974; Piaget, 1952; White, Castle, & Held, 1964). 어두운 조건에서 실시한 손 뻗기에 대한 연구를 통해서 손 뻗기 동작을 막 시작한 영아들이 지속적으로 손의 움직임을 관찰해야 한다는 견해를 반박하는 결과를 얻었다. 손 뻗기 동작에서 시각적 조정이 꼭 필요한가를 연구하기 위해서 영아를 부모의 무릎에 앉히고 연구자가 장난감을 보여 줬다. 영아가 장난감을 가져가기 전에 불을 꺼서 영아가 자신의 손을 볼 수 없게 되었다. 표적 장난감은 어둠 속에서 빛이 나거나 소리를 내서 영아가 장난감의 위치를 파악할 수 있게 했다.

종단적 관찰연구는 영아들이 밝은 곳에서나 어두운 곳에서나 출생 후 같은 시기에 손을 뻗기 시작함을 밝혔다(Clifton et al., 1993). 이는 영아가 처음 물체를 향해 손을 뻗기 위해서 꼭 자신의 손을 봐야 하는 건 아니라는 것을 의미한다. 더욱이 수주에 걸쳐 손 뻗기 동작을 하는 과정에서 밝은 곳에서 보이는 물체에 손을 대는 것과 어두운 곳에서 빛이 나는 물체에 손을 대는 데 성공하는 비율이 같았다(Clifton et al., 1993; Perris & Clifton, 1988). 영아의 손 뻗기 동작에 대한 세밀한 운동역학(kinematics)은 밝은 곳에 있는 물체와 어두운 곳에서 빛나는 물체에 상관없이 같은 양상을 보인다(Clifton, Rochat, Robin, & Berthier, 1994). 두 경우 모두 손 뻗기 동작은 어설프고 3～4개의 운동단위로 이루어져 있다. 다시 말하면, 영아가 손을 볼 수 없을 때도 운동단위가 많아지기 때문에 운동단위가 많다고 해서 꼭 영아가 손을 시각적으로 계속 관찰하고 있다고 할 수는 없다.

이 가설을 더 확실히 해 주는 것이 있다. 밝은 곳이나 어두운 곳에서 물체를 향해 손을 내미는 데 성공한 영아가, 보이지 않지만 소리가 나는 물체를 향해서는 손을 뻗지 못할 가능성이 높다(Clifton et al., 1994). 하지만 물체의 위치 파악을 도와주는 것이 소리밖에 없는 상황에서 영아의 손 뻗기 동작은 어두운 곳에서 빛을 내는 물체에 대해서나 밝은 곳에서 보이는 물체를 향한 것보다 어두운 곳에서 소리를 내는 물체를 향할 때 더 빠르다. 또한 소리가 나는 물체에 대한 손 뻗기 동작이 더 부드럽고 정확도가 높다. 이 동작은 2개의 운동단위로 구성되어 있다(Clifton et al., 1994; Perris & Clifton, 1988). 따라서 영아는 성공하지 못할 때도 있긴 하지만 성인과 같은 손 뻗기 동작을 할 수 있는 능력이 있다.

따라서 Clifton 등(1993)이 질문을 던졌듯이 '시각적 지침을 통해 손을 뻗는 것은 그저 잘못된 믿음에 불과한가?' 분명히 시각적 정보는 손 뻗기 동작에서 중요한 역할을 한다. 예를 들어, 눈이 보이지 않는 영아는 보이는 영아에 비해 더 늦게 손을 뻗는다. 아마도 그 이유는 시선을 끄는 물체가 보이면 영아가 잡고 싶어 하게 되기 때문일 것이다

(Fraiberg, 1977). 하지만 Clifton 등이 어두운 곳에서 손 뻗기 동작을 보이는 영아에 대해 실시한 연구를 보면 손과 물체를 보는 것이 꼭 손을 뻗기 위한 것만은 아니다. 아마도 청각과 자기수용감각처럼 시각도 몸이나 손의 위치에 대비한 물체나 표면의 위치를 정확히 파악할 수 있도록 해 주는 정보의 원천에 불과할 것이다(Clifton et al., 1993; Clifton et al., 1994). 영아는 물체와 손을 보는 것이 상황을 파악하는 가장 쉬운 방법이기 때문에 시각적 정보가 있으면 이를 활용한다. 하지만 어두운 곳에서 시각적 정보를 얻을 수 없을 때는 손을 뻗는 동안 팔을 관찰하기 위해서 자기수용감각 및 청각적 정보에 의존할 수 있다(Clifton, Perris, & McCall, 1999).

발 뻗기 우리는 보통 뻗기동작이 손으로만 하는 것이라 생각하지만 100여 년 전에 연구자들은 영아가 발을 내밀고 발가락으로 물건을 잡는 사례를 기록하고 있다. 예를 들어, Trettien(1900)은 생후 7개월 된 영아가 멀리 있는 물체를 손이 닿는 곳까지 가까이 발로 끌어당기는 모습을 설명했다. 다리가 팔보다 더 튼튼하고 신체 구조에 따라 팔보다 발이 통제하기가 더 쉽기 때문에 영아가 팔 뻗기보다 발 뻗기를 더 용이하게 할 것이다. 고관절(hip joint)은 움직임의 범위가 상대적으로 더 작고 깊숙이 있고 안정적이기 때문에 영아가 더 통제하기가 쉬울 것이다. 반면에 견관절(shoulder joint)는 깊이가 더 얕고 움직이기 때문에 영아가 팔동작의 넓은 범위를 통제하기 위해서 더 많은 것을 해야 한다.

현대 연구자들은 Trettian의 관찰을 실험을 통해 재확인했다(Galloway & Thelen, 2004). 영아를 기울어진 나무판에 가슴을 묶어 고정시켜 균형을 잡아 주고, 가슴 높이와 엉덩이 높이에 장난감을 보여 줬다. 생후 2~3개월 된 영아는 발로 장난감을 쳤다. 이는 손으로 처음 장난감을 만지게 되는 생후 3~4개월보다 1개월이나 빠른 것이었다. 분명히 두미 방향의 발달은 일률적으로 적용되는 자연의 법칙이 아니라 대략적 원칙이었던 것이다.

잡 기 손이나 발을 목표를 향해 정확하게 뻗으려면 손이나 발을 물체가 있는 곳까지 이동하는 경로를 안내할 수 있어야 한다. 반면에 물체를 잡으려면 물체의 크기나 위치에 따라 손이 물체를 잡도록 준비를 해야 한다(McCarty, Clifton, Ashmead, Lee, & Goubet, 2001). 생후 4개월이 되기 전에 영아는 최소한의 손을 통제할 능력이 생긴다. 영아가 무엇인가를 잡으려고 시도하는 것은 아무렇게나 손을 흔드는 것같아 보이고 물체를 잡고 떨어뜨리는 빈도가 비슷하다. 성인이 영아의 손에 물체를 쥐어 주면 떨어뜨리거나 손을 전혀 조정하지 않고 그대로 쥐고 있는다(Bly, 1994; Rochat, 1989). 생후 10개월이 지나면 세밀하게 손가락을 통제할 수 있게 된다. 그래서 엄지와 검지를 집게처럼 이용하여 작은

알약도 잡을 수 있다(Gesell, 1952).

잡기를 준비하는 데 한 가지 중요한 단계는 물건의 특성에 따라 손의 위치를 달리하는 것이다. 생후 5개월이 되면 물체의 크기와 모양에 따라 물체를 잡는 법을 달리할 수 있다(Newell, Scully, McDonald, & Baillargeon, 1989). 작은 물체는 한 손으로 잡고 큰 물체는 두 손으로 잡는다. 작은 물체나 컵처럼 손잡이가 있는 물체를 잡을 때는 엄지, 검지, 중지만 이용하고 큰 물체의 경우 손 전체를 이용한다.

하지만 생후 5개월 된 영아는 아직은 물체의 위치를 예측하여 손을 움직이지는 못한다(Lockman, Ashmead, & Bushnell, 1984; von Hofsten & Fazel-Zandy, 1984; Witherington, 인쇄 중). 예를 들어, 생후 5개월 된 영아에게 몸을 세워서 보여 주거나 눕혀서 보여 줬을 때, 손과 대상물체가 모두 보일 때나(Lockman, 1984) 어두운 곳일 때(McCarty, Clifton, Ashmead et al., 2001), 손을 미리 물체의 방향과 일치시키지 않았다. 영아는 손이 물체에 부딪힌 후에야 물체를 잡았고, 그 후에 손의 위치를 조정했다. 반면 생후 7개월 반 된 영아는 잡기 전에 대상 물체의 방향에 따라 손의 방향을 미리 조정했다. 영아는 밝은 곳에서 물체에 맞게 손 모양을 미리 만들었고, 더 인상적인 것은 물체를 향해 손을 내미는 동안 방에 불이 꺼져도 물체에 손을 대기 전에 물체에 맞게 손 모양을 미리 만들었다(McCarty, Clifton, Ashmead et al., 2001). 후자의 경우, 영아는 완전히 어두운 상태에서도 끝까지 손을 내밀어서 물체를 잡았다. 생후 9개월에는 손을 움직이기 시작할 때 손을 보지 않아도 물체에 맞춰 적절하게 손을 조정했다. 이들에게 대상 물체를 보여 주고, 방에 불을 끈 후 물체를 잡게 해 보았다. 생후 9개월 된 영아는 손을 내밀기 전이나 내미는 동안 눈으로 손을 볼 필요가 없었다. 대신에 손과 움직이는 팔의 감각을 이용해서 손의 위치와 대상 물체까지의 궤도를 파악했다.

6. 대상 탐색에서 도구 이용까지

대상 탐색

내밀기와 잡기동작을 통해 영아는 물체의 특성에 대한 정보를 구하고 환경에 변화를 가져오기 위해 물체를 사용하는 새로운 방법을 배운다(Adolph, Eppler, & Gibson, 1993b). Gibson(1988, p. 7)이 말했듯이, 출생 후 1년간의 탐구발달을 통해 영아는 세상 만물의 특성, 사건과 사건 사이의 예상 가능한 인과관계, 물체에 반응을 보이고 사건에

개입하는 스스로의 능력에 대해 알게 된다.

팔이 닿지 않는 곳에 있는 물체는 시각적으로 탐색이 가능하지만, 고개를 내밀거나 가장 잘 보이는 곳까지 기어가서 눈이 물체를 보기에 적절한 위치에 있도록 해야만 한다. 반면에 영아의 손 안에 있는 물체는 보고, 손으로 만지고, 입으로 탐구하는 것이 모두 가능하다. 이때 손은 물체를 눈 앞으로, 다른 손으로, 입으로 가져감으로써 그 물체를 가장 잘 탐구할 수 있게 도와준다.

생후 4~5개월이 되기 전에는 물체에 대한 통제력이 충분히 발달하지 않아서 물체를 탐구할 때 손이 하는 역할은 주로 물체를 얼굴 앞까지 가져와서 볼 수 있게 하거나 입으로 가져가서 입으로 탐구하는 것이다(Rochat & Senders, 1991). 이즈음에 입으로 할 수 있는 일은 주로 핥고 빠는 것이고(Bly, 1994; Rochat, 1989), 가끔 물기도 한다(Norris & Smith, 2002). 영아가 물체를 더 꽉 잡을 수 있고, 잡기동작을 조정할 수 있게 되면 입으로 물체를 탐구할 때 물체를 지탱하는 데 입에 대한 의존도가 줄어들고, 손-입동작은 물체를 입에서 꺼내고 시각적으로 탐구를 위해 눈앞에 들고 있는 동작이 번갈아서 나타난다(Eppler, 1995).

생후 4~5개월이 되면 손 통제력이 크게 향상되어 손과 눈으로 물체를 탐구하는 새로운 방법이 생긴다(Bly, 1994; C. F. Palmer, 1989; Rochat, 1989). 양손 협응이 첫 번째 단계다. 이제 영아는 의도적으로 물체에서 손을 떼어 물체를 이쪽 손에서 저쪽 손으로 옮기고 눈앞에서 물체를 돌린다. 양손으로 물체를 탐구하는 데 진정한 이정표는 손 기능의 보완적 차별화(complementary differentiation of hand function)다(Thelen & Corbetta, 1994). 한 손은 물체를 잡아 보이는 곳에 들고 있고, 다른 손은 물체 표면을 비비고 누르거나 쓰다듬어서 물체의 특성에 대한 정보를 파악한다. 탐구하는 손의 만지는 동작은 새로운 단계의 통제력을 요하는 것으로 손가락 끝으로 가볍게 물체의 표면을 탐색하거나 물체를 쥐어짜는 동안 손바닥의 통통한 부분으로 붙잡고 있을 수 있다. 생후 12~24개월에 영아는 더 이상 물체를 입으로 가져가지 않고 눈과 손을 이용해서 물체의 특성을 파악한다.

탐색에서 도구로

영아의 손조작 능력이 향상되는 것이 어떻게 물체 탐구를 통해 주변 세상에 대해 알아가는 것으로 이어지는가? Gibson(1988)은 새로운 능력으로 새로운 지각적 정보를 습득하고, 따라서 영아가 물체나 물체와 관련된 사건의 새로운 측면에 관심을 갖게 된다는 가설을 제시했다. 예를 들어, 물체조작 능력이 향상되면 물체와 관련된 사건에 대한 이해도가

높아진다. 양손으로 물체를 들고, 한 손에서 다른 손으로 물체를 옮기고, 두 물체를 부딪치는 등 물체조작 능력이 있는 생후 5개월 반 된 영아는 같은 월령이지만 물체조작 능력은 다소 떨어지는 영아보다 물체의 특성을 파악(즉, 물체와 그 물체가 내는 소리를 연결시키는 등)할 가능성이 더 높다(Eppler, 1995).

손으로 물체를 조작할 운동 능력이 아직 발달하지 않은 생후 3개월 된 영아에게 도구를 주고 물체를 조작하게 했더니, 자연스럽게 손조작 능력이 생긴 생후 5개월 된 영아와 비슷한 동작을 보였다(Needham, Barrett, & Peterman, 2002). 매일 몇 분씩 접착테이프를 붙인 장난감을 갖고 놀 때 장난감이 장갑에 들러붙게 손바닥에 접착테이프를 붙인 벙어리장갑을 끼게 했다. 영아는 장난감을 들어올려 눈과 입으로 관찰했다. 장갑을 끼지 않았다면 그렇게 하지 못했을 것이다. 접착테이프를 붙인 장갑을 끼고 훈련을 한 영아는 물체조작 능력이 향상되었고, 물체의 특성에 대한 이해도가 향상되었다. 후자가 Gibson의 주장에서 더욱 중요한 부분이다. 훈련을 한 영아는 물체 구분 면에서 훈련하지 않은 영아보다 훨씬 뛰어난 능력을 보였다.

도구 사용

물론 좀 더 생산적으로 도구를 이용하려면 접착테이프를 붙인 장갑을 끼워서 영아의 능력을 향상시키는 것 이상의 것이 필요하다. 중요한 단계는 영아가 직접 수행해야 한다. 영아는 ① 자신의 운동 능력과 목표 사이의 격차를 인지하고, ② 격차를 줄일 대안을 찾고, ③ 그 도구를 성공적으로 활용해야 한다(Berger & Adolph, 2003). 대부분의 연구자가 두 번째 단계에서 필요한 인지 능력에 초점을 맞추긴 했지만(Piaget, 1954), 최근 많은 연구자들이 첫 번째와 세 번째 단계에서 인지적-운동 능력이 핵심적 역할을 한다는 것을 파악했다(Lockman, 2000). 첫 번째 단계는 가능한(혹은 가능하지 않은) 동작의 범위를 파악하는 것이고, 세 번째 단계는 도구 사용의 생체역학과 관련이 있다(Berger, Adolph, & Lobo, 2005).

영아가 스스로의 능력과 목표 사이의 격차를 정확히 지각하려면 대상 물체가 손이 닿는 범위에서 너무 멀리 있다거나 대상 물체와 영아 사이에 장애물이 있다는 등 스스로 능력의 한계를 알아야 한다(McKenzie et al., 1993; Yonas & Hartman, 1993). 하지만 신체적 한계에 부딪힌다는 것이 꼭 그 목표를 달성하는 것이 불가능하다는 뜻은 아니다. 예를 들어, 생후 10개월이 되면 대상 물체와 도구가 서로 가까이 있으면 막대기, 갈고리, 원 등을 이용하여 뻗기 능력을 향상시켜 멀리 있는 물체를 끌어올 수 있다(Bates, Carlson-

Luden, & Bretherton, 1980; Brown, 1990; Chen & Seigler, 2000; Leeuwen, Smitsman, & Leeuwen, 1994).

목표를 달성하는 데 도구가 필수적으로 필요하고 특정 물체가 적절한 도구가 된다는 것을 안다고 해도, 도구를 제대로 활용하려면 사용 방법을 알아야 한다. 영아가 돌이 되기 전에는 도구를 효율적으로 사용하기 위해 필요한 운동 전략을 미리 세우는 것이 어렵다. 그 대신 도구를 사용하기 시작한 후에 동작을 수정한다. 예를 들어, 생후 9개월 된 영아는 숟가락의 손잡이를 잡지 않고, 머리 쪽을 잡고 음식을 먹거나 숟가락 머리가 입에서 멀리 가도록 쥐고 있을 것이다. 그리고 음식을 먹기 위해 어설프게 손을 돌리거나 다른 손으로 숟가락을 잡는다. 숟가락이 음식을 운반하는 도구로 사용될 수 있다는 것은 깨달았지만, 그 도구를 효율적으로 활용하기 위한 생체역학적 능력은 부족한 것이다. 생후 18개월쯤 되면 도구의 어느 쪽을 잡아야 하는지, 어떻게 잡아야 하는지, 미리 어떤 동작을 계획해야 하는지를 안다. 그래서 나중에 손동작을 수정하지 않고 처음부터 적절한 손을 내밀어서 도구를 잡는다(McCarty, Clifton, & Collard, 1999, 2000). 생후 24개월이 되면 바뀐 도구를 사용하기 위해서 기존의 도구 사용 전략을 수정할 줄도 알게 된다. 예를 들어, 일반 숟가락을 잡는 방법을 바꿔서 휜 손잡이가 달린 숟가락으로 그릇에서 음식을 떠먹을 수 있다(Steenbergen, van der Kamp, Smitsman, & Carson, 1997).

7. 독립적 이동 능력: 구르기, 휙 움직이기, 기기

이동 능력은 발달 과정에서 획기적인 성취다. 동작의 새로운 제약이 생기고 새로운 배움의 기회도 된다. 앉기와 내밀기가 물체를 눈으로, 손으로 탐구하는 능력을 촉진시켰다면 독립적 이동능력은 물체 표면과 장소를 눈으로, 촉각으로, 몸 전체로 탐구하는 능력을 촉진시킨다. 정지자세에서 균형을 잡으면 머리와 팔동작을 위해 몸에 안정감을 주는 반면, 이동자세에서 균형을 잡으면 팔다리 모두를 동시에 움직이는 가운데 몸의 안정감을 해친다. 팔 내밀기 동작이 작고 빨라서 이 동작을 관찰하려면 특수 동작 기록장비가 필요하지만, 몸 전체가 움직이는 것은 일반적으로 동작이 크고 느리고 직접 혹은 비디오 녹화를 통해서 특수장비 없이 관찰할 수 있다.

연구자와 부모 모두 이동 능력을 중요한 발달의 이정표로 간주한다. 부모는 아이가 첫 번째로 움직인 날을 달력에 표시하고 육아일기에 기록하고, 처음으로 기는 장면을 비디오로 촬영한다. 연구자가 영아의 이동 경로를 공식적으로 기록하기 시작한 것이 100년이

넘었다(Ames, 1937; Burnside, 1927; Trettien, 1900). McGraw(1935)는 1,777차례의 관찰을 통해 영아 82명을 출생 시부터 처음으로 혼자서 걷기 시작할 때까지의 독립적 이동 능력의 향상 과정을 기록했다. McGraw는 지미와 조니라는 쌍둥이 형제를 출생 시부터 유아기까지 매일 관찰했다. Gesell은 영아 100명의 출생 후 1년간 이동 능력 발달 상황을 기록했다(Gesell & Thompson, 1934). 또한 실험실에 '연구용 호텔'을 지어서 며칠간 연속해서 어머니와 아동을 관찰할 수 있게 했다(Thelen & Adolph, 1994).

움직이기

전신을 움직이는 가장 간단한 방법인 뒤집기(rolling)와 회전하기(pivoting)를 하면 몸의 자세와 방향은 바뀌지만 위치는 변하지 않는다. 이때 영아의 목표는 이동하는 것보다는 가까이 있는 물체에 대한 몸의 방향과 시각을 향상시키는 것으로 보인다. 뒤집기는 통나무처럼 배를 바닥에 대고 있다가 등을 바닥에 대는 등 몸을 앞뒤로 뒤집는 행동이다. 회전하기는 보통은 '인어자세'를 하고 배를 바닥에 대고 전신을 돌리는 것이다. 가끔은 등을 대고 돌기도 한다.

처음에는 뒤집기 동작이 간헐적으로 나타나고, 회전하기 횟수가 점차로 증가한다. 부모가 아침에 아기의 방에 가 보면 아기는 배를 바닥에 대고 엎드려 있거나, 원래 발이 있던 곳에 머리를 둔 채 자고 있다. 하지만 실시간으로 영아를 관찰하면 뒤집기 중일 경우도 있고, 느린 속도의 회전하기는 저속도 촬영을 해야만 녹화가 가능하다. 대략 생후 5개월에 영아는 등을 대고 누워 있다가 엎드린 자세로 바꾸는 동작을 우연히 보여 주기 시작한다. 보통의 경우 특정 물체에 손을 내밀다가 우연히 몸을 뒤집는 경우가 많다. 100여 년 전에 Trettien(1900)은 영아가 물체를 향해 손을 내밀다가 균형을 잃으면서 뒤집기에 성공하고 아주 놀라는 모습을 관찰했다. 생후 5개월이 되면 어깨 통제력이 생겨서 배를 바닥에 대고 엎드려 있다가 옆쪽으로 기울면서 전진할 수 있지만, 그 자세를 유지하기는 어렵다. 따라서 다시 배를 바닥에 대거나 몸이 뒤집어져서 등이 바닥에 닿게 되는 것이다.

위치 이동

대부분의 사람들이 기기동작이 양손과 양무릎을 바닥에 대는 동작이라고만 생각한다. 하지만 그렇지 않다. 대부분의 영아가 기기동작을 발전시키는 과정에서 언젠가 손과 무릎을 이용해서 기어다니게 되지만, 그 단계에 이르기 전에도 이동하기 위해서 다른 방법

을 이용한다. 예를 들어, 배를 바닥에 대고 몸을 끌기도 하고, 바닥에 앉아서 한쪽 발과 한쪽 손을 이용하거나, 한쪽 발과 한쪽 무릎을 바닥에 대고 균형을 잡거나, 곰처럼 두 발과 양손을 모두 바닥에 대고 엉덩이는 하늘로 치켜든 채 기기도 한다.

성숙과 기기의 발달단계 Gesell(1939, 1946; Gesell & Ames, 1940)은 끈질긴 연구 끝에 엎드린 자세가 23단계에 걸쳐 발달한다는 것을 밝혀냈다. 1단계는 생후 1주일에 수동적 무릎 꿇기(passive kneeling), 5단계는 생후 4개월에 수영자세, 7단계는 생후 5개월 반경에 개구리자세, 11단계는 생후 7개월에 배로 기기, 16단계는 생후 8개월에 부들거리면서 양손과 양무릎을 바닥에 대기, 19단계는 생후 10개월에 양손과 양무릎을 바닥에 대고 기기, 마지막 23단계는 생후 14개월에 걷기다. 좀 더 최근의 분류에 따르면, 생후 7개월경에 배로 기고, 8개월에 양손과 양무릎을 바닥에 대고 기고, 생후 12개월경에 걷는다(Capute, Shapiro, Palmer, Ross, & Wachtel, 1985).

Gesell(1933, 1939, 1946)은 이 단계는 영아가 반드시 거치는 단계이고, 영아의 운동신경계의 성숙 정도를 보여 주며, 퇴보하는 것같아 보여도 영아의 발달은 퇴보하는 법은 없기 때문에 사실은 그렇지 않다고 주장했다. Gesell이 발달의 요소로 성숙에 특히 초점을 맞춘 것은 당대에 조건 형성(conditioning)과 습관화(habit formation)에 대한 주장에 대응하기 위해서였다. 또한 Gesell이 성숙에 초점을 맞춘 것은 "성숙은 법칙에 의해 이루어지며 이것은 과학적으로 공식화(scientific formulation)될 것이다."(Gesell, 1933, p. 232)라는 확신 때문이었다.

문화와 동시대 효과 Gesell 덕분에 운동발달과 신체성장은 보편적인 성숙의 결과로 여겨지고 있다. 하지만 Gesell의 연구가 진행되기 전후와 연구가 진행되는 동안에 연구자들은 운동발달에서 나타나는 문화적 차이와 동시대 효과(cohort effects)에 주목했다. 예를 들어, Gesell의 발달규준이 인기를 얻기 30년 전인 20세기 초에 Trettien(1900)과 G. Stanley Hall은 친구와 동료들에게 설문지를 보내 영아의 기기, 끌기(hitching), 휙 움직이기(scooting) 등의 행동을 관찰, 기록해 달라고 부탁했다. 답장으로 돌아온 설문지 150여 장 전부에 영아가 직립보행을 하기 전에 독립적으로 이동하기 위해 다른 방법을 이용한다는 내용을 담고 있었다. 양손과 양무릎을 바닥에 대고 기는 영아(42%), 배를 바닥에 대고 기는 영아(10%), 양손과 양발을 바닥에 대고 기는 영아(5.5%), 양손과 양무릎을 바닥에 대고 배는 바닥에 댔다가 떼었다가 하면서 자벌레(inchworm)처럼 앞으로 전진하는 영아(2.5%)가 있었다. 엎드리는 단계를 뛰어넘는 영아도 있었다. 앉은 자세에서 한쪽 다리에

의지해 움직이는 영아(30%), 등을 바닥에 대고 전진하는 영아(3%), 뒤통수에 원형탈모증이 생기는 영아(p. 33), 통나무처럼 뒤집는 영아(7%) 등이다. Trettian과 Miss Milicent Shinn(1900)은 영아가 한쪽 다리에 의지해 이동하는 가장 큰 원인으로 영아들의 옷이 너무 커서 엎드린 자세에서 움직임을 방해하기 때문이라고 지적했다. 즉, 영아가 기려고 할 때 긴 옷자락에 무릎이 걸려서 움직이지 못한다는 것이다.

Gesell은 1930년대 백인이며 미국 중산층 가정 영아의 연령규준을 기록했던 반면, 다른 연구자들은 다양한 문화와 인종적 배경을 가진 영아의 발달단계 진행 연령을 비교했다. 아프리카계 영아가 발달이 빠르다는 것은 그 이후에야 설명되었다. 당시 학계에서는 인종적 차이 때문에 흑인 아이가 서구 국가의 백인 아이에 비해 운동 기능 발달이 더 빠르다고 간주했다(Jensen, 1973, cited in Super, 1976). 흑인 아이의 발달이 빠르다는 인종적 차이를 내포한 주장에 대해 현대의 학자 몇 명이 초기 연구의 타당도에 이의를 제기했다(예, Hopkins & Westra, 1988). 이들은 영아가 중요한 운동 기능 이정표에 도달하는 연령을 기록하는 것 외에도 그들의 운동발달이론에 관해 어머니들과 면담하고, 아이가 언제 이정표에 도달할 것으로 예상하는지를 묻고, 육아 일과를 관찰했다(Bril & Sabatier, 1986; Hopkins & Westra, 1988, 1989, 1990; Super, 1976).

모든 부분에서 문화적 차이가 드러났다. 예를 들어, 서구 국가의 어머니는 특별한 환경적 자극 없이도 성숙이 운동 기능 발달로 이어진다는 Gesell의 이론을 믿었다(Hopkins & Westra, 1989). 아이가 기는 것은 운동 기능 발달에서 없어서는 안 될 중요한 단계라고 믿었다. 앉을 수 있고 걷기 전인 대략 생후 8개월경에 기기 시작할 것으로 예상했다. 목욕을 시킬 때나 안고 있을 때 아이를 깨지기 쉬운 계란처럼 다루고 약한 목이 다칠까 봐 걱정해 항상 머리를 받쳐 주었다.

반면에 자메이카와 말리의 어머니들은 훈련과 연습이 운동 능력 발달의 자극을 준다는 순진한 이론을 믿었다. 이들은 기기동작이 위험하고 원시적이고 꼭 필요하지 않은 행동이라고 생각했다. 건강한 아이가 엉금엉금 기는 행동을 보일 거라고 생각하지 않았기 때문에 예상 연령에 대한 정보가 없었다. 서구 국가의 어머니들보다 더 일찍 아이들이 앉고 걸을 것이라 기대했다. 마지막으로, [그림 5-10]에 잘 나와 있듯이, 매일 아기에게 팔다리 스트레칭과 마사지를 해 주고 흔들고 만져 줬다. 아기를 공중으로 높이 던졌다가 받기도 했다. 아기가 앉을 수 있도록 '훈련'을 시키기 위해서 생후 3~4개월 된 영아를 베개로 받쳐 주거나, 바닥에 얕은 구멍을 뚫어 그 안에 앉혀 등을 받쳐 주었다.

어머니들이 믿는 이론, 기대, 육아 일과에 따라 연구자들은 운동 능력 이정표에 도달하는 연령에서 문화적 차이를 발견했다. 예를 들어, 자메이카와 말리의 영아는 서구 국가의

영아보다 더 일찍 앉고 걸었다. 가장 놀라운 점은 자메이카의 영아 25%와 말리의 영아 중 거의 60%가 전혀 기지 않았다는 것이다. 기기동작을 보인 아기도 걷기 시작한 후에 나중에 기기 시작했다. 기기자세는 엎드려 있을 때 적극적으로 자극을 주어 기는 방법을 가르친 동부 아프리카 부족의 영아들 사이에서 가장 일찍 나타났다. 이 영아들은 생후 5개월 반이 되자, 양손과 양무릎을 바닥에 대고 기기 시작했다. 따라서 순진한 이론, 부모의 예상, 육아 일과(Gesell이 간과한 신체적, 사회적 환경의 모든 측면)가 운동 능력 발달에 영향을 미칠 수 있다.

한 문화권 안에서도 육아 방법에 따라 운동 능력 발달의 속도는 달라진다. 예전에 수십 년간 미국의 소아과 의사들은 부모들에게 아기가 토한 우유에 질식하거나 다시 삼키지 않도록 하기 위해서 엎드려서 재울 것을 권장했다. 1994년에 미국소아과의학회(American Academy of Pediatrics)에서는 신생아돌연사증후군(SIDS)을 예방하기 위해서 아기를 똑바

[그림 5-10] 아프리카와 서인도제도에서는 매일 아이들에게 마사지와 팔다리 스트레칭을 해 준다. 이러한 운동이 중요한 운동 기술이 나타나는 시기가 문화별로 다른 한 가지 이유가 되는 것 같다.

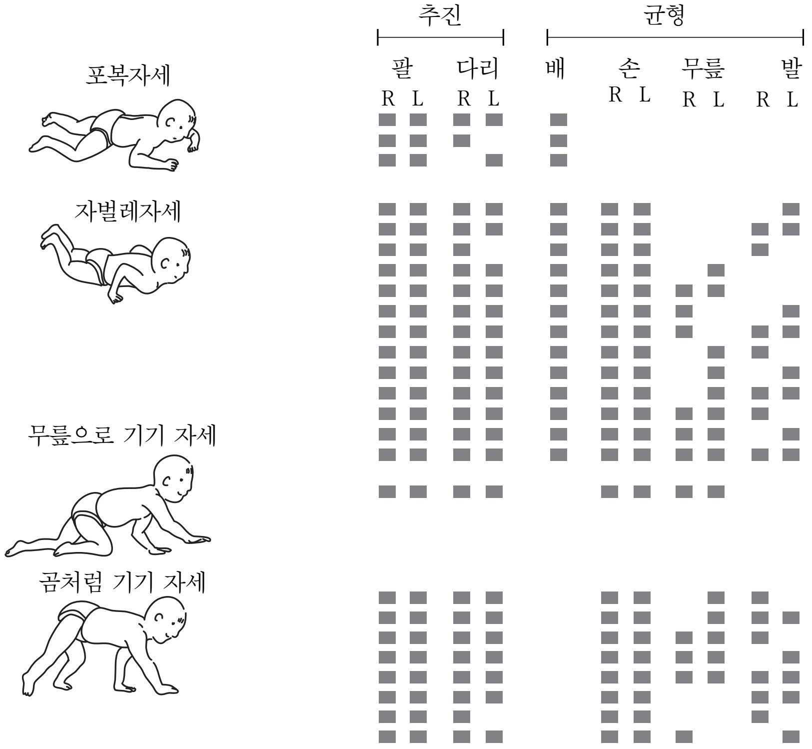
출처: *Genetic, Social and General Psychology Monographs, 114*, p. 385, 1988. Reprinted with permission of the Helen Dwight Reid Educational Foundation. Published by Heldref Publications, Washington, DC. Copyright © 1988.

로 눕혀 재울 것을 권장하는 캠페인을 열었다(Carolan, Moore, & Luxenberg, 1995). 2년에 걸쳐 언론 홍보를 하자, 아기를 똑바로 눕혀 재우는 부모의 수가 두 배 이상 증가했다(Gibson, Dembofsky, Rubin, & Greenspan, 2000; Willinger, Ko, Hoffman, Kessler, & Corwin, 2000). 비록 의사들이 영아가 깨어 있을 때 일정 시간 동안 엎드려 있도록 해 주라는 조언을 하기는 했지만, 등을 대고 누워서 자는 영아는 바닥에서 얼굴을 들기 위해 중력에 저항해야 할 때 힘들어한다. 등을 대고 누워서 자는 영아에게는 엎드려 있는 시간의 길이가 앉기, 기기, 일어서기를 시작하는 시기와 연관성이 있다(Davis, Moon, Sachs, & Ottolini, 1998). 아마도 그 이유는 엎드린 자세가 팔과 어깨의 근력을 강화시키기 때문일 것이다. 또한 등을 대고 누워서 자는 영아는 엎드려 자는 영아보다 앉고 기고 일어서는 시기가 늦고, 총 운동 능력 측정에서도 더 낮은 점수를 받았다(Davis et al., 1988; Dewey, Fleming, Golding, & Team, 1998).

생체역학적 요인과 독특한 해결 방법 영아의 기기자세에 관한 연구는 50년간 정체되었었다. 현대에 들어 새로운 녹화 기술이 개발되어 연구자들은 영아의 기기동작을 종단적으로 관찰하며 기록했다(Adolph et al., 1998; Freedland & Bertenthal, 1994; Goldfield, 1989). 현대 기록 자료를 보면, 엎드린 자세의 발달상 변화가 일어나는 것은 성숙 프로그램 덕분이라기보다는 동작을 취하는 데 생체역학적 기능적 제약이 있기 때문이라는 것을 알 수 있다.

모든 영아가 양손과 양무릎을 바닥에 대고 기기 전에 정지 상태에서 회전하기(pivoting), 흔들기(rocking), 수영하기 등 다양한 엎드린 자세를 취한다(Adolph et al., 1998; Freedland & Bertenthal, 1994; Goldfield, 1989). 각 자료마다 절반가량의 영아가 양손과 양무릎을 바닥에 대고 기기 전에 일정 기간 동안 배로 기기(belly crawling) 자세를 보였다(Adolph et al., 1998; Freedland & Bertenthal, 1994). 이 영아들은 매번 기기동작을 보일 때마다 배에 의존했기 때문에, 균형을 못 잡아서 이동에 제약을 받지는 않았다. McGraw(1945, p. 50)에 따르면, 성장하는 영아의 신경근육 기능 중 기기자세 발달이 가장 개인차가 크다. 영아는 팔, 다리, 배를 다양한 방법으로 이용한다. 때로는 한쪽 팔이나 한쪽 다리만 이용하여 움직이면서 나머지는 끌려오도록 하고, 우선 무릎을, 그다음에는 한쪽 다리의 발을 이용해서 몸을 밀거나, 무릎이나 발을 바닥에 대고 있다가 배를 바닥에 대기도 한다([그림 5-11]). 영아는 말이 걷는 것처럼 다른 방향의 팔과 다리를 동시에 움직이고, 같은 방향의 팔과 다리를 동시에 움직이기도 하는 등 다양한 동작을 보였다. 다시 말해서, 배로 기는 영아는 팔다리의 근력이 강해져서 온갖 희한한 움직임을 보였다.

나머지 절반의 영아는 배로 기는 단계를 완전히 뛰어넘었다. 이 영아가 움직일 수 있게



[그림 5-11] 영아가 기기동작을 보일 때 개인별로 다양한 양상을 보인다. 왼쪽에 그려진 자세는—포복자세, 자벌레자세, 무릎으로 기기 자세, 곰처럼 기기—자세가 아래로 내려올수록 높아진다. 오른쪽은 영아가 앞으로 움직이고, 균형을 잡을 때 팔, 다리, 배가 어떻게 사용되는지를 보여 준다. 각 줄은 최소한 한 명의 영아가 보여 준 독특한 기기 패턴이다.

출처: Reprinted with permission from *Child Development 69*, K. E. Adolph, B. Vereijken, & M. A. Denny, Learning to Crawl, p. 1305. Copyright © 1998 by the Society for Research in Child Development.

되자, 바로 양손과 양무릎을 바닥에 대고 기기 시작했다. 예전에 배로 기었던 영아와 그렇지 않았던 영아가 기기 시작하는 데 연령이 차이가 난 것은 아니다. 분명히 양손과 양무릎을 바닥에 대고 기기 시작하는 것은 팔이 배를 바닥에서 든 상태에서 몸무게를 지탱할 만한 근력이 있느냐의 차이인 것 같다(Adolph et al., 1998; Freedland & Bertenthal, 1994; Goldfield, 1989).

배로 기기 동작에서는 영아마다 다양한 양상을 보였던 반면, 양손과 양무릎을 바닥에 대고 기기 시작하는 시기는 거의 같았다(Adolph et al., 1998; Freedland & Bertenthal, 1994). 그 후 1～2주 이내에 팔다리의 움직임은 거의 경보에 가까워졌다. 분명히 영아의 여러 가지 동작에서 다양한 지간협응(interlimb coordination)이 가능했다. 영아가 배로 기기에서 바로 양손과 양무릎을 바닥에 대고 기기 시작한 것은 배를 바닥에서 든 채로 균형

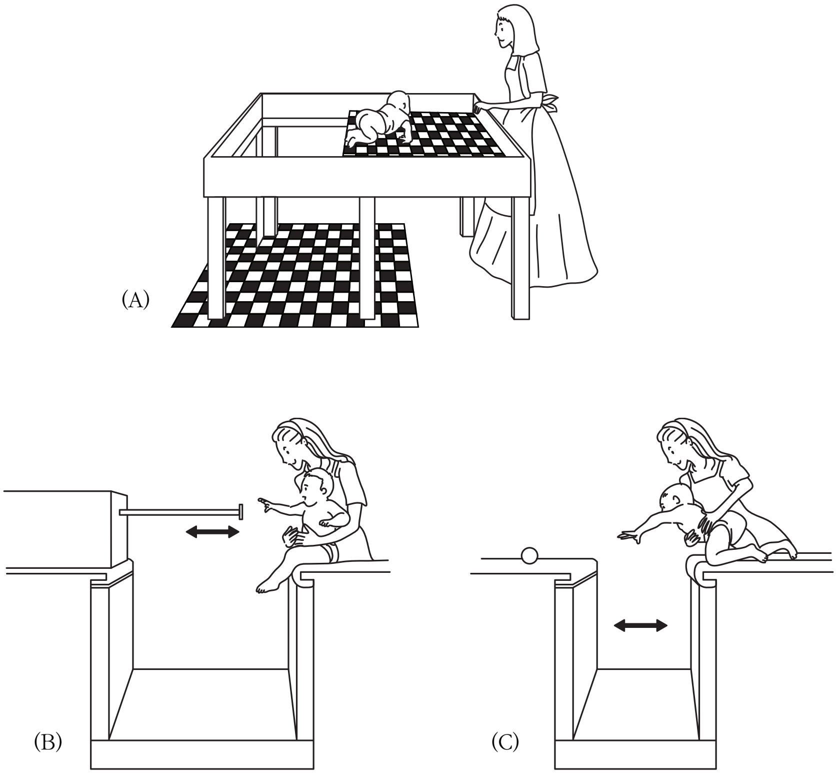
을 잡을 때 생체역학적으로 제약이 증가하는 데 영아가 대응했다는 것을 보여 준다.

최초의 이동동작이 바닥에 배를 끄는 것이었던 영아에게서는 그 동작을 힘들게 성공한 것이 운동 기능 면에서 도움이 되었다(Adolph et al., 1998). 배로 기는 동작을 보였던 영아가 양손과 양무릎을 대고 기기 시작한 첫 주부터 그 과정을 생략한 영아보다 더 많이 그리고 더 빠르게 앞으로 움직였다. 그 과정을 생략한 영아는 몇 주가 지나야 따라잡을 수 있었다. 또한 회전하기, 흔들기 및 이동과 관계없는 모든 자세를 포함해 엎드린 자세에서 얼마나 오랫동안 동작을 했느냐에 따라 양손과 무릎으로 기는 동작에 얼마나 능숙한가를 결정했다. 즉, 일단 영아가 손과 무릎으로 움직일 수 있을 만큼의 근력이 생기면 배로 기기와 관련된 다양한 동작을 연습하는 것이 신체의 다른 부분을 사용하는 동작에도 도움이 되었다.

기기동작의 지각적 통제

다른 동작과 마찬가지로 기기도 지각적 균형통제력(perceptual control of balance)이 필요하다. 기기를 연구하는 데 가장 유명한 것이 시각벼랑(visual cliff)을 이용한 것이다. Gibson과 Walk(1960; Walk, 1966; Walk & Gibson, 1961)를 비롯한 수많은 후대 연구자(예, Bertenthal & Campos, 1984; Campos, Bertenthal, & Kermoian, 1992; Rader, Bausano, & Richards, 1980; Richards & Rader, 1981, 1983)가 균형통제에 관한 기본적 실험을 했다. 영아가 떨어지지 않기 위해서 몸을 지탱해 줄 딱딱한 바닥이 있도록 해야 한다. 시각벼랑은 그 낭떠러지를 지나면 균형을 잡는 것이 불가능하다는 것을 보여 주는 다양한 깊이지각에 관한 단서를 제공해 준다.

시각벼랑은 3피트 높이에 투명한 유리판을 설치한 장치다([그림 5-12A]). 벼랑 쪽 끝에 어머니가 서서 아기를 향해 웃으며 팔을 벌리고 장난감을 보여 주는 등 아기가 기어오도록 유인했다. 염소와 병아리처럼 태어나자마자 걷기 시작하는 동물은 처음부터 벼랑을 건너지 않는다. 고양이, 토끼, 사람처럼 이동 능력이 천천히 발달하는 동물은 갓 움직일 수 있게 됐을 때는 시각벼랑을 지각하지 못한다. 후자의 경우 혼자 힘으로 이동할 수 있게 된 지 오래 지난 다음에도 시각벼랑을 피하는 듯한 반응을 보여 줄 뿐이다(Held & Hein, 1963; Walk, 1966; Walk & Gibson, 1961). 기기 시작한 지 2주가 지난 영아를 시각벼랑을 향해 엎어두면 심장박동이 빨라졌다. 이러한 반응은 영아가 깊이를 인지하고 있다는 것을 보여 준다. 하지만 시각벼랑을 향해 기어간다. 기기 시작한 지 6주가 지난 영아의 경우 60～70%가 시각벼랑 앞에서 멈춘다(Campos et al., 1992).



[그림 5-12] 낭떠러지 앞에 있는 영아를 관찰하기 위한 실험 장치

(A) 기고 있는 영아를 투명유리가 덮인 폭 3인치, 깊이 3피트의 낭떠러지인 '시각벼랑' 위로 건너오도록 유인한다.

출처: Adapted with permission from ***Psychological Monographs: General and Applied, 75***, R. W. Walk & E. J. Gibson, A comparative and analytical study of visual depth perception, p. 8. (1963).

(B) 앉아 있는 영아, (C) 기고 있는 영아를 실제 벼랑 위로 몸을 기울여서 건너도록 유인한다.

출처: Reprinted with permission from ***Psychological Science, 11***, K. E. Adolph, Specificity of Learning: Why infants fall over a veritable cliff, p. 242. Copyright © 2000 by American Psychological Society.

Adolph(2000)는 기존의 실험을 약간 변형하여 영아가 실제 낭떠러지 앞에서 균형감각에 대한 실험을 진행했다. [그림 5-12 B]와 [그림 5-12 C]에서 볼 수 있듯이, 시각벼랑과 실제 벼랑은 몇 가지 다른 점이 있었다. 시각벼랑과 달리 실제 벼랑은 유리를 설치하지 않았다. 대신에 고도로 숙련된 실험자가 영아가 떨어질 것 같으면 옆에서 잡아 주었다. 시각벼랑에서는 시각정보와 촉각정보가 충돌한다. 즉, 벼랑이 보기에는 위험한 것 같은데, 만져 보면 안전할 것 같은 느낌이 든다. 시각벼랑은 간격이 고정되어 있지만, 실제 벼랑은 조정이 가능했다. 트랙을 따라 지지대를 밀면 낭떠러지 아래 바닥을 2cm 폭으로 조

정하여 바닥에서 탁자가 있는 90cm 높이까지 올릴 수 있다. 또한 시각벼랑 실험에서는 영아는 투명유리가 몸무게를 버틸 수 있는지 금방 알게 되기 때문에 영아 한 명당 한 번만 실험을 할 수 있다. 반면에 조정 가능한 실제 벼랑을 이용하면 정신물리학적 절차를 이용해 영아마다 반응곡선(response curve)을 예측하여 영아 한 명 당 실험을 수십 번 진행할 수 있다.

실제 벼랑에서 어머니는 생후 9개월 된 영아가 몸을 기울여 낭떠러지 건너편에 있는 장난감을 향해 오도록 유인했다. 능숙하게 앉아 있을 수 있고(평균 3개월), 기어다닐 수 있게 된 지 얼마 안 된(평균 1개월) 영아를 상대로 실험을 실시했다. 벼랑 앞에 앉은 영아는 떨어지지 않고 얼마나 앞으로 몸을 내밀 수 있는지를 정확하게 파악했다. 낭떠러지를 건너지 않을 확률과 조건부 확률(conditional probability)이 비슷했다. 하지만같은 영아를 기는 자세로 벼랑 앞에 데려다 놓으면 여러 차례 실험을 해도 계속 추락할 뻔했다. 실험 대상 영아 중 거의 절반이 두 차례의 실험 중 한 회에서 최대 깊이인 90cm로 조정해 놓은 상태에서 벼랑 위로 기어갔다.

이 실험은 영아의 균형통제력이 오랫동안 경험한 특정 자세에서만 적용된다는 것을 보여 준다. 다시 말하면, 앉은 자세에서 균형을 잡는 법을 알아도 기는 법을 배울 때 균형을 잡을 수 있는 것은 아니라는 점이다. 이 점에 대해 놀라워할지도 모르지만(어떻게 같은 영아가 같은 낭떠러지 앞에서 다른 반응을 보이는지), 생체역학적인 측면에서는 충분히 설명이 가능하다. 앉은 자세 실험을 통해 설명했듯이, 영아는 몸의 균형을 잡기 위해서 자신의 활동 가능 범위를 파악해야만 한다. 앉은 자세와 기는 자세의 활동 가능 범위는 다르다. 하지만 이것은 빙산의 일각에 불과하다. 앉기와 기기는 균형통제 체계가 전혀 다르다([그림 5-7 A]와 [그림 5-7 B]를 비교). 몸이 회전하는 핵심 축도 다르고(앉은 자세는 엉덩이, 기는 자세는 팔목), 대응동작(compensatory sway)을 하는 데 필요한 근육도 다르고, 눈앞의 바닥을 내다보는 시점도 다르고, 광학적 흐름(optic flow)와 회전자극(vestibular stimulation)도 다르다. 따라서 영아가 기는 자세에서 배를 바닥에서 뗀 채로 유지하는 데 필요한 팔의 근력이 생기면, 새로운 균형통제 체계의 새로운 변수를 파악하고, 그다음 각 변수의 주변 환경을 재조정하는 법을 배워야 한다(Adolph, 2002, 인쇄 중; Adolph & Eppler, 2002).

8. 직립자세에서 균형 잡기: 서기, 붙잡고 걷기, 걷기

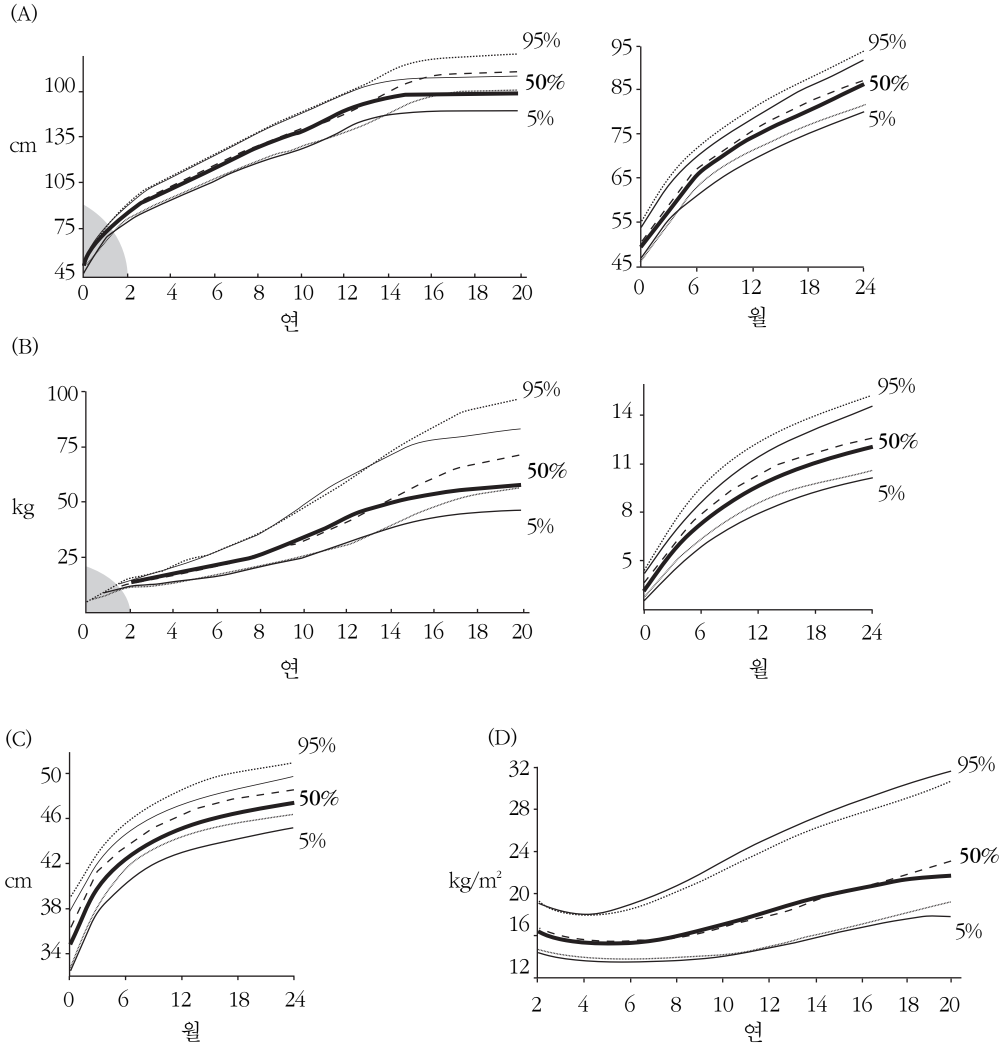
직립보행은 영아의 다른 운동 이정표와 다르다. 영아기에서 걸음마기로 넘어가는 발달 단계에서 꼭 거쳐야 하는 통과의례다. 영아가 처음으로 말을 할 때처럼 걷기에도 문화가 반영된다. 하지만 다른 운동 이정표들과 비슷한 점도 있다. 앉기, 손 뻗기, 기기처럼 균형 잡기가 걷기의 핵심 요소다. 두 발로 균형을 잡기 위해서 신체 비례의 급격한 변화와 표면 바닥 변화에 잘 대처해야만 한다.

신체 비례 변화

성장궤도　출생 후 가장 급속한 성장기는 영아기와 청소년기다. [그림 5-13 A]와 [그림 5-13 B]의 왼쪽 그래프는 미국보건통계청이 집계하고 질병통제센터가 2000년에 개정한 미국표준치에 근거한 남아와 여아의 출생 시부터 성인기까지 신장과 체중의 성장곡선이다. [그림 5-13 A]와 [그림 5-13 B]의 오른쪽 그래프는 출생 시부터 생후 2년까지 부분을 확대해 놓은 것이다. 연구자들은 영아를 눕혀 팔다리를 쭉 편 상태에서 신장을 측정하고, 소아용 저울에 영아를 눕히거나 앉혀서 체중을 측정한다. 더 큰 아동은 아동이 혼자 일어선 상태로 신장과 체중을 측정한다. 줄자를 이용해 눈썹 주변을 기준으로 머리둘레를 잰다([그림 5-13 C]). 체질량지수([그림 5-13 D])는 영아의 체중과 신장을 모두 고려해 전체적 비만도를 측정한 수치다(체중(Kg)/신장$(m)^2 \times 10,000$).

각 그래프마다 두꺼운 곡선은 50% 선이다. 예를 들어, 12세 여아가 해당 연령군에서 체중이 50% 선에 있다는 것은 해당 군의 12세 여아 중 이 여아보다 체중이 많이 나가는 아동이 50%의 이상이라는 뜻이다. 50% 선 위 아래에 있는 가는 곡선은 각각 하위 5% 선과 상위 5% 선이다. 각 연령별로 신장, 체중, 머리둘레, 체질량지수에서 격차가 매우 크다. 2세 영아의 경우, 신장이 상위 5%와 하위 5%의 편차가 12cm다. 나이가 올라갈수록 격차가 커져서 10세가 되면 상위 5%와 하위 5%의 격차가 22cm까지 증가한다.

[그림 5-13] A와 B의 급격한 상승곡선에 표현되어 있듯이 영아기에는 성장이 급속하게 이루어진다. 물론 신장과 체중이 증가하지만, 신체부위별로 성장비율이 다르다. 예를 들어, 태어나서 12개월까지는 영아의 신장이 44%(25cm)가량 자라지만 머리둘레는 29%(10cm)밖에 자라지 않는다. 둘레보다 길이 성장이 더 빠른 속도로 이루어지기 때문에 영아의 신체는 전체적으로 균형이 잡혀 간다. 신생아의 가분수형 체형은 원통형에 가까



[그림 5-13] 0～20세의 성장곡선

(A) 신장, (B) 체중, (C) 머리둘레, (D) 체질량지수. 직선＝여아, 점선＝남아, 두꺼운 선＝50%선, 가는 선＝상위 5% 선과 하위 5% 선. (A)와 (B)의 0～2세의 잘 안 보이는 부분은 오른쪽 그래프에 확대에 놓았다. 영아기의 급격한 성장세를 잘 보여 준다.

출처: Adapted from growth charts developed by the National Center for Health Statistics in collaboration with the National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion (2000).

워지고 질량중심이 가슴 부분에서 배꼽 아래로 이동한다. 보통 배가 통통한 걸음마기 아이는 유치원에 갈 때쯤이면 체형에 보다 균형이 잡힌다. 따라서 체질량지수 그래프를 보면 출생 시부터 5세까지는 하락곡선을 그린다. 그 후 상승곡선을 그리는 것은 몸 전체 길이에 비해서 지방량과 근육질량이 증가하기 때문이다. 2세 이후에는 성장률은 완만해져

서 신장, 체중, 머리둘레 그래프의 상승곡선이 완만해진다.

출생 시부터 남아가 여아보다 계속 키와 몸집이 더 크다. 따라서 미국보건통계청과 질병통제센터에서는 남아와 여아의 발육 차트를 별도로 발표한다. 하지만 사춘기 전에는 성별 간 격차는 상대적으로 작다(즉, 같은 백분율로 비교했을 때 신장의 경우 1～2cm밖에 차이가 나지 않는다). 여아의 경우, 10～12세경에 청소년 성장급등시기(adolescent growth spurt)가 시작되고, 같은 연령의 남아보다 큰 경우가 많다. 남아의 경우, 14세경에 성장급등시기가 시작되어 다시 여아보다 신장과 체중 면에서 커진다. 성인이 되면 성별 간 격차는 커진다. 즉, 같은 백분율을 비교했을 때 약 12～15cm의 신장 차이가 난다.

의사는 성장 차트를 진단의 도구로 이용한다. 아동이 신장이나 체중 면에서 하위 5%에 속하거나, 키에 비해 체중이 많이 나가거나(체질량지수 그래프에서 상위 5%에 속할 때), 성장 속도가 점점 느려진다면 부모는 당연히 걱정을 한다. 특히, 체질량지수는 요즘 소아비만이 늘어나면서 점차 중요성이 커지고 있다. 과체중 아동이 증가한다는 것은 연령별 체중 차트와 체질량지수 차트에서 50% 선을 사이에 둔 상위 5%와 하위 5% 사이의 간격이 비대칭해지는 것에서 볼 수 있다. 체중과 비만도의 범위가 50% 위쪽이 아래쪽보다 넓다.

일부 연구자들은 아동과 청소년의 비만 및 과체중의 비율이 과도하게 높다고 말한다(Jolliffe, 2004; Reilly & Dorosty, 1999). 놀라운 것은 비만 아동이 증가한 이유가 과식 때문이 아니라 이전 세대에 비해 요즘 아동들의 활동량이 줄어들었기 때문이라는 점이다. TV 앞에 앉아 있는 시간이 증가했고, 1일 권장 운동량의 60%만을 움직인다(Reilly et al., 2004; Trost, Sirard, Dowda, Pfeiffer, & Pate, 2003; Vandewater, Shim, & Caplovitz, 2004).

2000년 미국보건통계청에서는 2세 미만 영아용 성장 차트를 새로 발표했다. 1977년에 발표했던 기존 차트의 표본에는 주로 모유수유 기간이 3개월 미만이고 그 이후에 분유로 전환한 영아가 포함되어 있었다. 최근의 연구를 보면 첫 1년간 모유수유를 한 아이가 처음 2～3개월은 성장 속도가 빠르지만, 3～12개월에는 속도가 더 느리다는 것을 알 수 있다. 하지만 1977년 성장 차트에 반영된 분유를 먹은 아동들의 경우 3개월 이후에도 성장 속도가 느려지지 않았다. 따라서 모유수유를 하는 아동을 기존 차트에 비교했을 때 '발육부진'이라고 오진할 경우가 있었다. 이 문제를 해결하기 위해서 2000년에 발표된 차트는 더 장기간 동안 모유수유를 한 영아를 표본에 더 많이 포함시켜 대표성을 높였다.

삽화적 성장 성장연구자들은 보통 아동을 관찰할 때 횡단적 표본으로(cross-sectional sample) 측정하거나, 1달 이상의 간격을 두고 종단적(longitudinal) 관찰을 해서 그 사이 기간의 정보를 추정하여 [그림 5-13]처럼 부드러운 성장곡선을 작성한다. 의사가 소아의

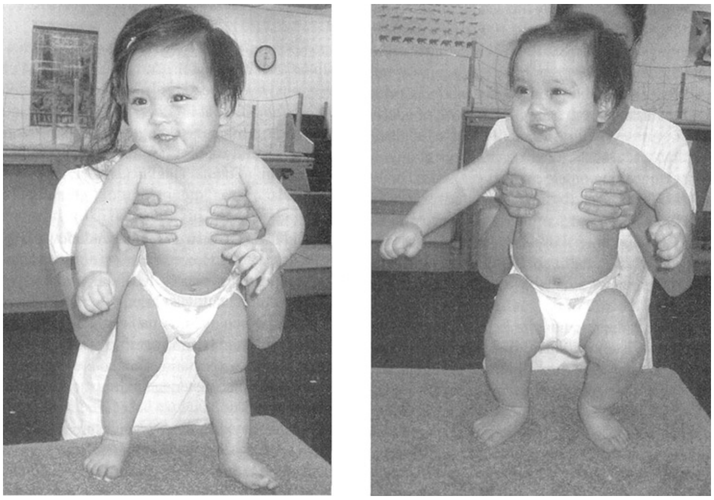
성장을 월별, 일별로 체크할 때도 이 방법을 이용한다. 하지만 표본조사간격을 줄이면 전혀 다른 결과가 나온다. 완만한 성장곡선은 통계적 평균치이지, 아동의 성장궤도를 실질적으로 보여 주는 것은 아니다. 매일매일 관찰하면 영아가 성장이 매일 계속되는 것이 아니라 간격을 두고 성장이 이루어진다는 것을 알 수 있다(M. L. Johnson, Veldhuis, & Lampl, 1996; Lampl, 1993; Lampl & Johnson, 1993; Lampl, Johnson, & Frongillo, 2001; Lampl & Veldhuis, 1992). 즉, 하루 동안 성장급등이 나타나면 며칠, 몇 주간 전혀 성장하지 않는 긴 성장정지기간이 번갈아 나타난다. 성장급등이 이루어지는 하루 동안 영아의 신장은 무려 0.5~1.65cm이 자랄 수 있다. 성장이 정지하는 기간은 영아가 스트레스를 받거나 아파서가 아니라 정상적으로 건강하게 자라는 아이의 성장 패턴이 원래 그렇다. 이렇게 매일매일 신체 비율이 달라지기 때문에 균형을 잡을 때 생기는 어려움도 매일매일 변화한다. 영아는 이에 잘 대처해야 한다.

일어서기

영아가 서고 이동하기 위해서 몸을 일으켜 세우는 데까지는 몇 달이 걸린다. 평균적으로 걷기를 위한 중요한 이정표가 생후 7~10개월경에 시작되어 11~15개월에 끝난다. 직립자세 능력을 장기간에 걸쳐 확보하는 과정에서 다리근력과 균형통제력이 모두 증가한다.

생후 4~7개월에 영아의 다리는 매우 약해서 부모가 영아를 일으켜 세우면 다리를 앞으로 뻗거나 '긍정적 지지 반사(positive supporting reflex)' 자세를 만든다. [그림 5-14]에서 볼 수 있듯, 영아의 근육이 피로해지면 점프할 때처럼 동시에 다리를 구부렸다가 편다. 생후 7개월경에는 대부분의 영아가 충분한 다리근력을 획득하여 양다리로 체중을 지탱할 수 있지만 여전히 균형은 잡지 못한다. 만약 소파나 낮은 탁자에 기대어 놓으면 영아가 팔로 균형을 통제하면서 일어선다. 처음에는 발가락으로 혹은 발을 안쪽이나 바깥쪽으로 향한 채로 일어선다. 나중에는 발바닥을 바닥에 대서 체중을 발 전체로 감당한다.

결국 영아는 충분한 근력을 갖게 되어 한쪽 다리로 체중의 일부를 지탱하면서 혼자 힘으로 다른 한쪽 다리를 움직일 수 있게 된다. [그림 5-7 C]에 잘 나와 있듯이, 영아는 가구를 붙잡고 한 번에 팔다리를 하나씩 움직이면서 옆으로 걷는다(Vereijken & Adolph, 1998). 부모가 손을 잡아서 균형감각과 다리근력을 보조해 주면 앞을 보며 걷는다. 도움받아걷기 초기 단계에는 영아가 45° 가량 앞쪽으로나 뒤쪽으로 기울어질 것이다. 왜냐하면 부모가 허리를 굽히고 내민 손을 잡고 온 집안을 따라다니느라 지쳤기 때문이다. 영아



[그림 5-14] 긍정적 지지 반사(positive supporting reflex)
영아가 다리를 펴고 굽히면서 위 아래로 움직이고 있다(Courtesy of Kristel DeMay Chou.).

가 근력과 균형감각을 키워 나가면 가구를 붙잡거나 부모의 도움을 받았던 것을 스스로의 힘으로 할 수 있게 되면서, 손에는 힘을 덜 사용하고, 다리에 더 많은 체중을 싣고, 더 똑바로 서게 된다(Haehl, Vardaxis, & Ulrich, 2000; Vereijken & Adolph, 1998; Vereijken & Waardenburg, 1996). 결국 영아는 붙잡고 걷거나 도움을 받아 걸을 때 혹은 부모의 한 손가락을 잡을 때 한 손만 사용하면 될 것이다.

언젠가 가구나 부모의 손이 균형을 잡아 주는 역할보다는 심리적으로 든든하게 해 주는 역할을 할 것이다. 장난감을 만지거나 무엇인가를 지켜보다가 가구에서 우연히 손을 떼게 되는 영아가 많다. 혼자 힘으로 서 있다는 것을 깨닫게 되면 즉시 주저앉거나 다시 가구를 잡는다. 일부는 마치 부모의 손가락을 잡고 있는 것처럼 한 손을 공중에 둔 채로 첫걸음을 뗀다. Trettien(1900, pp. 41-42)은 G. Stanley Hall의 딸이 어떻게 걸었는지를 잘 묘사했다.

> 어느 날 아버지가 집에서 저녁을 먹기 위해 돌아와서 와이셔츠 커프스를 탁자에 놓았다. 아이는 커프스를 지켜보다가 탁자까지 기어가서 탁자 다리를 잡고 몸을 일으켜 세워서 커프스를 잡았다. 그리고 아무런 보조 없이 혼자 서서 팔목에 커프스를 끼웠다. 그리고는 아주 기쁜 표정을 지으면서 힘차게 걸어 아버지는 아주 놀랐다. 하지만 커프스가 아니었다면, 한 걸음도 떼지 않았을 것이다. 아이는 낡은 커프스를 갖고 아주 기뻐하며, 걷고 뛰어다녔다. 이틀간 커프스를 끼고 있었고, 그 후에는 커프스 없이도 걷고, 다시 기어다니지 않았다.

일어서는 것과 직립자세로 움직이는 것은 같지 않다. 처음으로 가구를 붙잡고 몸을 일으켜 세우는 것은 생후 9개월경이다(Frankenburg & Dodds, 1967). 기는 자세에서 영아는 상체를 일으켜서 무릎을 꿇고 팔을 이용해서 가구를 잡고 일어선다(Bly, 1994). 앉은 자세에서는 일어서기 위해서 무릎을 꿇고 앉기가 힘들 것이다. 가구에 의존하지 않고 일어서려면 협응 능력과 근력이 더 많이 필요하다(체육수업에서 하는 다리 굽히기 동작을 생각해 보면 알 수 있다). 따라서 의존하지 않고 일어서기는 혼자 걷기 바로 전이나 심지어 혼자 걷게 된 이후 몇 주 후에야 나타나게 된다(Bly, 1994).

걷 기

첫걸음 혼자 힘으로 걷기 시작하는 것은 보통 첫 돌을 맞았을 때쯤이다(Frankenburg & Dodds, 1967). 하지만 대부분의 운동 능력과 마찬가지로, 건강하고 정상적으로 발육하는 영아들 간에 걷기 시작하는 시기는 차이가 크다. 생후 9개월 전에 걷는 것은 서구 문화권에서는 극히 드문 일이고, 생후 17개월 후에 걷는 것은 걱정할 만한 일이다(Frankenburg & Dodds, 1967). Hall의 딸처럼, 일부 영아가 조용히 걷기 시작하긴 하지만, 대부분의 경우 걸으려는 의욕이 강하고 첫걸음 떼었을 때 아주 기뻐한다. 각 문화권의 기준, 부모의 기대, 육아 일과에 따라 걷기는 기다려지는 큰 성취다. 환호와 칭찬을 받으며 아이는 팔을 벌리고 있는 부모를 향한다.

그렇다면 영아는 왜 걸을까? 충분한 근력과 균형통제력이 생겨서 한쪽 다리로 몸을 지탱하면서 다른 쪽 발을 앞으로 뻗을 수 있게 되어야 독립적으로 걸음을 뗄 수 있다는 것이 연구자들 사이의 중론이다(예, McGraw, 1945; Thelen et al., 1984; P. R. Zelazo et al., 1989). 하지만 어떻게 해서 근력과 균형통제력이 생기는 것일까?

걷기에 관련된 뇌 연구에 따르면, 신경 구조 및 회로의 성숙을 통해 정보처리 속도와 효율성이 증가함으로써 근력과 균형감각이 촉진되는 듯하다(P. R. Zelazo, 1998; P. R. Zelazo et al., 1989). 대뇌 피질이 성숙하면 초기에 보여 주었던 걷기 반사가 되살아나면서(Forssberg, 1985; McGraw, 1932, 1935, 1945) 혹은 결합행동이 가능해져 동작을 차례로 해 나감으로써(P. R. Zelazo, 1998) 자발적으로 번갈아 다리를 움직이는 통제력이 생기는 것이다. 실제로 상관증거(correlational evidence)도 뇌 연구 결과와 일치한다. 영아의 뇌는 생후 첫 2년 동안 성인 체중의 30%에서 70%로 성장한다(Thatcher, Lyon, Rumsey, & Krasnegor, 1996). 신경섬유는 피질척수로(corticospinal tract)에서 점차 수초화된다(myelinated)(M. H. Johnson, 1998).

신체 비율에 근거한 설명에 따르면, 영아의 신체 비례가 변화하면서 영아가 일시적으로 한쪽 다리로 설 수 있는 충분한 근력과 균형감각이 촉진된다. 붙잡고 걷기와 도움받아 걷기 기간이 끝나 가면서 다리의 근육 대 지방 비율이 증가하고 그에 따라 엉덩이, 등, 배에 충분한 근력이 생겨 영아가 한쪽 다리로 체중을 지탱하면서 동시에 몸통의 균형을 유지할 수 있게 된다. 다리굴근(extensor muscle)에 근력이 생기는 것이 특히 중요하다. 영아의 몸이 전체적으로 균형이 잡혀 가고 질량중심이 낮은 곳으로 이동하여, 몸을 끌어당기는 동요된 토크(destabilizing torque)의 크기를 상쇄시켜 준다. 따라서 몸을 이동 가능 영역 안에 두는 데 필요한 근력이 줄어든다. 상관증거도 이 설명을 뒷받침해 준다. 더 통통하고 머리가 무거운 영아는 몸에 균형이 잡힌 아이보다 걷기 시작하는 시기가 더 늦다(Adolph, 1997; McGraw, 1945; Shirley, 1931). 영아에게 추를 달아서 신체 비율을 더 어린 영아에 가깝게 실험을 해 보았더니, 영아가 넘어지는 횟수가 증가했다. 직립자세로 서 있을 수 있다 해도 더 어린 영아의 걷기동작을 보였다(Adolph & Avolio, 2000; Garciaguirre & Adolph, 2004; Schmuckler, 1993).

경험에 근거한 설명에 따르면, 직립자세로 움직이는 훈련이 근력과 균형감각을 촉진시킨다. 붙잡고 걷기와 도움 받아 걷기를 하면서 다리를 들면서 다리근육에 엄청난 근력 훈련이 된다. 걸으면서 굽히기 과정(flection)에서 중력에 저항해 다리를 위로 들어올려야만 한다. 이러한 맥락에서 생후 첫 몇 개월간 직립자세의 동작 훈련을 시키면 신생아기에 보여 주는 걷기자세가 유지되고 처음으로 걷는 시기가 더 앞당겨진다. 예를 들어, Zelazo 등(P. R. Zelazo et al., 1972)은 매일 걷기 훈련을 한 생후 2개월 된 영아가 신생아기의 걷기자세를 더 오래 보여 주었고, 누운 채로 발차기만 했던 영아보다 더 일찍 걷기 시작했다는 것을 실험을 통해 보여 주었다. Zelazo의 실험을 일상적으로 적용하듯 부모가 영아에게 매일 근력 훈련을 시키는 문화권이 있다. 예를 들어, 자메이카와 케냐의 키프시기스족은 영아에게 걷기동작을 훈련시킨다. 긍정적 지지 반사와 점프 동작도 연습시킨다. Zelazo 실험에서 직립동작 훈련을 받은 영아처럼, 자메이카와 케냐 키프시기스 족 영아는 훈련을 받지 않은 영아보다 몇 주 먼저 걷는다. 훈련을 하면 영아에게 직립자세의 흔들리는 범위와 몸의 자세를 유지해 주는 보상적 동작의 반경을 알 수 있는 기회를 주기 때문에, 근력뿐 아니라 균형통제력도 촉진된다. 서기 경험이 더 많은 영아가 균형이 깨졌을 때 더 효율적으로 보상적으로 몸을 흔드는 반응을 보인다(Woollacott et al., 1989). 따라서 상관증거는 이 설명도 뒷받침해 준다.

뇌에 근거한 설명은 성숙가설에 해당하고, 경험에 근거한 설명은 학습가설에 해당하며, 신체 비율에 근거한 설명은 본성과 양육의 역할에 대한 불가지론에 해당한다. 하지만 이

론을 연구자들이 발달의 양방향적(bidirectional) 특성에 민감하다는 뜻은 아니다. 초기 연구자, 현대 운동발달 연구자 모두 뇌, 신체 비율, 연습이 역할을 한다는 데에 동의하고 있다(예, Adolph, Vereijken, & Shrout, 2003; Gesell, 1939; McGraw, 1945; Thelen & Ulrich, 1991). 예를 들어, 중앙신경계와 다양한 신체 부분이 성숙하면 영아는 더 연습을 많이 하게 될 것이다. 반대로 연습을 통해 신경회로가 발달하고 영아의 신체 비율이 더 균형 잡히게 될 수도 있다.

걷기 유능성 연구자들은 1930년대부터 영아의 보행 패턴의 변화를 담기 위해 혁신적인 방법들을 고안해 왔다. 예를 들어, Shirley(1931)는 보폭의 가로, 세로(step length, step width) 등 보행을 측정하기 위해 영아의 발바닥에 흑연을 뿌리고 기름종이 위를 걷게 했다. McGraw(1935, 1945)는 초고속 필름을 이용해서 걷기동작을 촬영하고 필름의 프레임별로 영사하여 영아의 신체 윤곽의 변화를 조사하여 팔다리의 위치를 분석했다. McGraw와 Breeze(1941)는 영아가 높은 바닥을 걸을 때 족압과 무게중심의 변화를 기록하기 위해 임시 힘 분석판(force plate)을 고안했다. 현대 연구자들은 영아의 신발 바닥에 잉크를 묻힌 탭을 붙이거나(Adolph et al., 2003) 카펫에 측정장치를 연결해서(Yanez, Domakonda, Gill-Alvarez, Adolph, & Vereijken, 2004) 보행 패턴의 변화를 기록한다. 비디오(Thelen, Bril, & Breniere, 1992)와 초고속 필름(Clark, Whitall, & Phillips, 1988)을 이용해서 영아의 보폭의 시간과 변화를 측정한다. 고화질 힘 분석판 표면은 영아의 무게중심의 변화를 3차원으로 측정하고(Breniere, Bri, & Fontaine, 1989; Bril & Brenier, 1992), 움직임 추적(marker-tracking motion) 분석 시스템은 영아의 팔다리 궤도와 관절각(joint angle)을 기록한다(Assaiante, Thomachot, Aurently, & Amblard, 1998).

어떤 방법을 사용했든지 실험실에서 얻은 결과는 놀라울 정도로 일관성이 있다(예, Adolph et al., 2003; Bril & Breniere, 1989, 1992, 1993; Clark et al., 1988; McGraw, 1935, 1945; Shirley, 1931; Thelen et al., 1992). 독립적 보행의 첫 몇 주간은 발걸음이 흔들린다. 보통 발가락을 찰리 채플린처럼 바깥쪽으로 내밀고 팔자걸음을 걷고, 앞으로 약간 전진하며, 양팔을 너무 넓게 벌려서 보폭의 세로 보다 가로가 더 크다. 아이들은 천천히 오랫동안 돌아다니지만 발을 빨리 내려놓는다. 그에 따라 한쪽 다리가 공중에 떠 있는 시간은 짧고 양발이 모두 바닥에 닿아 있는 시간은 길어진다. 엉덩이, 무릎, 발목의 조화되지 않은 동작과 함께 다리를 구부리고 편다. 또 발가락으로나 발바닥 전체로 지면에 접촉한다. 팔은 팔꿈치를 구부린 채로 '재즈를 추는 폼(Jazz-hands position)' 으로 고정되어 있다(Corbetta & Bojczyk, 2002; Ledebt, 2000; McGraw, 1945).

반면에 혼자 힘으로 걷기 시작한 지 4~6개월이 지나면 영아의 보행 패턴이 성인과 좀 더 비슷해진다. 넘어지지 않고, 상황 변화에 대처하며, 영아의 움직임은 일정하고 전체 신체 발육 단계에 들어맞는 모습을 보인다. 보폭은 길어지고, 발을 넓게 벌리지도 않고, 발가락이 전면을 향한다. 보행 속도도 더 빨라지고 한 발이 공중에 떠 있는 시간은 늘어나고 양쪽 발이 모두 바닥에 닿아 있는 시간은 줄어든다. 영아의 관절각도 완만하고 고정되어 있으며, 발은 뒤꿈치부터 바닥에 닿는다. 손은 차렷 자세를 하고 있고 팔은 반대쪽 다리를 움직일 때 흔든다.

초기와 현대의 연구자 모두 영아의 초기 보행 패턴에서 미숙한 부분은 처음 걷기를 방해한 것과 같은 문제 때문에 발생한다는 데 의견을 같이하고 있다. 즉, 한 발로 몸을 지탱하면서 다른 한 발은 앞으로 내디딜 충분한 근력과 균형통제력이 부족해서라는 것이다(예, Adolph et al., 2003; Bril & Breniere, 1993; McGraw, 1945). 사실 막 걷기 시작한 영아는 한 걸음씩 걸을 때마다 몸 전체가 아래로 내려간다. 발이 지면에 닿을 때 무게중심의 수직 가속도(vertical acceleration)가 마이너스이기 때문이다. 반면에 능숙하게 걷는 영아와 성인은 한 걸음씩 걸을 때마다 몸이 위를 향한다. 발이 지면에 닿을 때 무게중심의 수직 가속도가 플러스이기 때문이다(Breniere et al., 1989; Bril & Breniere, 1993). 요약하면, 막 걷기 시작한 영아는 앞으로 전진하기 위해서 균형을 잡지 않는다. 고정된 한 발로 서서 내딛는 발로 겨우 넘어지기는 것을 피하면서 몸이 아래쪽으로 쏠리도록 두는 것이다. 능숙하게 걷는 영아와 성인은 몸을 바닥에 닿아 있는 발에 힘을 줘서 용수철처럼 탄력을 주어 전진하는 동안 균형을 통제한다.

그렇다면 어떻게 해서 근력과 균형감각이 향상되는 것일까? 영아가 걷기 시작하는 요인이 걷기 능력 향상의 요인도 된다. 즉, 뇌, 신체 비율, 경험이 그 요인이 된다. Adolph와 동료들(2003)은 최근 210명의 영아를 표본으로 확보해서 이 세 가지 요인이 각각 보폭의 가로와 세로, 발 회전, 역동적 지지기반(dynamic base of support) 향상에 기여하는 정도를 수치로 비교했다. 영아의 역연령(chronological age)으로 뇌 발달의 정도를, 영아의 이동경험의 기간(지나간 기간은 부모의 보고에 따라, 앞으로의 기간은 기록에 따라)으로 연습의 정도를 대신하고, 신체 부피는 직접 측정했다. 연습만으로 걷기 능력 향상을 예측하는 것이 가능했다. 연습은 연령과 신체 부피가 기여하는 것보다 훨씬 많은 기여를 한 반면, 연령과 신체 부피로는 걷기 능력 향상을 예측하지 못했다. 연령, 신체 부피 모두 연습의 기여도에는 미치지 못했다.

경험의 기여도가 크다는 연구 결과가 매우 인상적이기는 했지만, 실험 구성이 취약한 것은 실망스럽다. 이동 경험의 기간을 정량화하는 표준 방법은 걷기 시작한 날과 실험 당

일 사이의 일 수(number of days)에 불과했다. 따라서 일부 연구자들은 연습을 '걷기연령'이라고 표현한다(Clark et al., 1988; Metcalfe & Clark, 2000). 역연령처럼 걷기연령도 영아가 걸음 수, 보행거리, 걷기 경험의 특성과 같은 기본 체제를 전혀 설명해 주지 못한다.

영아의 이동 경험을 설명하기 위해서 부모가 매일 영아가 이동하는 곳을 추적하도록 하고, 영아의 발걸음과 경로를 비디오로 기록하고(Garciaguirre & Adolph, 2005), 영아의 신발에 장착하는 만보기를 달았다(Adolph, 2002; Adolph et al., 2003; Sotsky, Garciaguirre, & Adolph, 2004). 그 결과, 영아는 바닥에서 균형을 잡고 이동을 하는 데 깨어 있는 시간의 50%(바닥에서 보내는 시간 중 약 6시간)를 보냈다. 16분간 자유롭게 놀면서 최대 587걸음을 걷고, 바닥을 1,050걸음을 돌아다녔다. 하루종일 총 9,000걸음을 걷고, 축구장 29개 길이만큼의 거리를 이동했다. 그러는 동안 집안의 모든 방을 거치고 5~12종류의 다른 바닥 위를 걸어다녔다.

직립균형의 지각적 통제

한 자리에서 서 있을 때 영아는 [그림 5-7 D]에서 볼 수 있듯이 보통 발목둘레의 흔들리는 범위(sway region)을 통제함으로써 균형을 잡는다. 신체 부위가 여러 군데로 나뉘어 있기 때문에, 영아는 엉덩이로 보상적인 동작(compensatory swaying motions)을 하거나 (약간 앞으로 구부리고 뒤로 기대는), 무릎을 굽히거나 지지할 만한 무엇인가를 잡아서 균형을 찾을 수 있다(Adolph, 2002; Stoffregen, Adolph, Thelen, Gorday, & Sheng, 1997). 걸을 때는 영아의 흔들리는 범위가 역동적으로 변해 몸이 뒤로 쏠렸다가 다음걸음을 내디딜 때는 앞으로 쏠린다([그림 5-7 E]). 역동적 흔들리는 범위는 역동적 지지기반이 벌어진 양다리 넓이 이상으로 확장되기 때문에 서 있을 때보다 걸을 때 몸이 흔들리는 범위가 크다.

다양한 지각정보 원천은 행동반경(permissible postural sway)의 범위 내에서 몸의 자세를 결정한다. 스트레칭, 발 피부의 눌림, 다리근육과 관절의 자극, 전정계가 감지하는 가속도, 시각정보의 유입(optic flow) 등이 바로 지각적 정보의 원천이다. 손가락 피부가 살짝 눌리기만 해도 몸의 흔들리는 동작(swaying motion)이 결정된다. 영아는 몸의 움직임에 관한 지각적 정보에 매우 민감해서 살짝 손을 짚는 것만으로도 몸의 앞뒤 흔들림을 최소화할 수 있다(Barela, Jeka, & Clark, 1999; Metcalfe & Clark, 2000).

시각정보의 유입에서 얻는 시각운동 정보는 서 있을 때와 걸을 때 균형을 통제하는 데 특히 중요한 역할을 한다. 시각 배열(optic array)의 중심과 주변부의 시각정보의 유입 구

조는 다르다(J. J. Gibson, 1979). 중심점에서는 정보유입의 짜임(flow texture)이 방사형으로 퍼진다. 시각적 짜임의 요소들(optic texture elements)은 밤에 고속도로의 가드레일에 붙은 반사표식처럼 바깥으로 향한다. 시각 배열의 주변부에서는 시각정보의 유입이 얇은 층을 이루고 있다. 시각적 짜임의 요소들은 기차 창문 밖으로 지나가는 장면처럼 평행선을 이룬다. 움직이는 방(앞에서 앉아 있는 영아를 대상으로 실험했던) 장치에서, 전면 벽이 움직이면 방사형 유입 구조가 형성되고 측면 벽을 움직이면 층형 유입 구조가 형성된다. 성인은 걸으면서 방향을 바꿀 때는 방사형 유입정보를, 균형을 잡을 때는 층형 유입정보를 이용한다. 따라서 움직이는 방에서 서 있으면 측면 벽의 움직임에 따라서만 보상적 동작을 나타낸다(Stoffregen, 1985). 측면 벽이 앞뒤로 움직이면 성인은 인형처럼 가상 층형 유입에 이끌려 무게중심을 뒤로, 앞으로 이동시킨다.

영아의 연령과 이동 경험은 방사형 유입과 층형 유입을 구분하는 능력과 연관되어 있다. 예를 들어, 생후 아직 기지 못하는 8개월 된 영아가 움직이는 방안에 앉아서 전면과 측면 벽의 움직임에 똑같이 흔들리는 반응을 보인다. 반면에 길 줄 아는 생후 8개월의 영아와 유모차를 타고 움직임을 경험해 본 영아는 측면 벽 움직임에 더 큰 보상적 동작을 보인다.

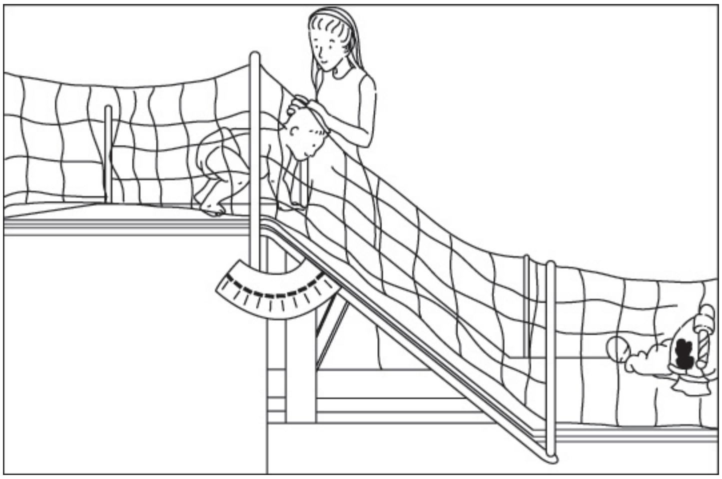
영아가 걷기 시작한 후 움직이는 방안에 서 있을 때 가상의 시각정보 유입에 아주 강한 반응을 보여서 비틀거리고 넘어지는 경우도 많다(Bertenthal et al., 1997; Butterworth & Hicks, 1977; Lee & Aronson, 1974). 전면 벽과 측면 벽이 이동하는 두 경우 모두 영아의 직립균형이 깨지지만, 영아는 측면 벽이 움직일 때 더 자주 비틀거리고 넘어진다. 이는 영아가 방사형 시각유입과 층형 시각유입을 구분하기 시작했다는 것을 보여 준다(Bertenthal et al., 1997; Schmuckler & Gibson, 1989; Stoffregen et al., 1987). 유아기에 있는 아동은 측면 벽이 이동했을 때만 비틀거리고, 넘어지는 경우는 드물다(Schmuckler & Gibson, 1989; Stoffregen et al., 1987). 하지만 그냥 봐서는 보이지 않는 흔들림을 측정하는 힘 측정판을 이용하면 유아가 측면 벽이 이동한 후 약하게 보상적으로 몸을 흔드는 반응을 보인다는 것을 알 수 있다. 반면 성인은 전면 벽 이동에 거의 영향을 받지 않는다.

움직이는 방에서는 영아가 걸을 때보다 한 곳에 서 있을 때 더 많이 비틀거리고 넘어진다(Stoffregen et al., 1987). 하지만 비어 있는 움직이는 방에서 걷는 것을 평소에 걷는 것과 비교할 수 없다. 영아가 소파, 탁자, 의자, 침대를 돌아 최종 목적지까지 가기 때문에 방향전환과 균형잡기는 구분해서 생각할 수 없다. 영아가 층형 시각유입 정보를 선택적으로 이용해 균형을 잡는지를 파악하기 위해서 '움직이는 복도(moving hallway)' 의 비탈면에서 실험을 했다(Schmuckler & Gibson, 1989). 어머니가 복도 끝에서 아이를 격려하

고, 아이는 복도에 있는 원뿔형 도로장애물(traffic cone)을 헤치고 어머니를 향해 가도록 했다. 영아는 비탈면을 걸어 내려가면서 길에 아무런 장애물이 없을 때보다 장애물 주변을 돌며 방향전환을 해야 할 때 더 자주 비틀거리고 넘어졌다. 반면에 유아의 경우 장애물이 있어도 장애물이 없을 때와 마찬가지로 쉽게 이동했다.

위험 지면 판단하기 움직이는 방에서 균형을 잡는 것을 보면 영아가 균형을 잡기 위해 지각적 정보에 민감하고, 그에 적절하게 대응할 수 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 대응은 항상 최후의 전략이다. 이론상 영아는(성인도) 넘어지기 시작하기 전에 먼저 균형을 잡기 위해 정보에 대한 대응행동을 취해야 한다. 이를 위해서 영아는 자신의 신체 비율과 특성을 고려해 지면의 변화를 판단해야만 한다.

선제균형통제력(prospective control of balance)를 실험하기 위해서 Adolph와 연구 팀은 걷는 영아를 [그림 5-15]에 나와 있는 것처럼 장치가 연결된 비탈면에 올려 놓았다(예, Adolph, 1995, 1997; Adolph & Avolio, 2000; Adolph, Eppler, & Gibson, 1993a). 평평한 출발점과 도착점 사이의 비탈면은 조정이 가능했다. 손으로 잭을 조정하거나 버튼을 눌러서 각도를 0～90°까지 조정할 수 있었다. 부모는 비탈길 밑에서 아이에게 내려오라고 격려하고, 연구자가 안전을 위해 영아의 옆을 지켰다.



[그림 5-15] 장치가 연결된 비탈면

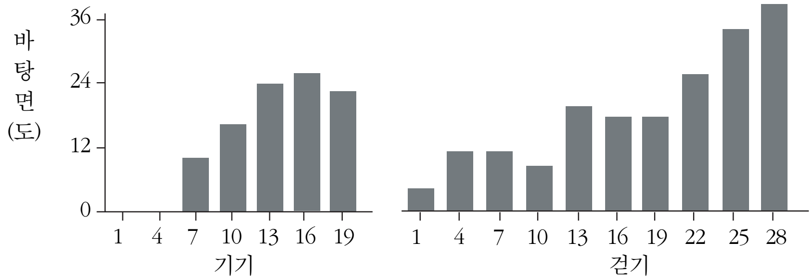
가운데 부분은 손으로 잭을 조정하거나 버튼을 눌러서 각도를 0～90°까지 조정할 수 있다. 양육자들(그림에서는 보이지 않음)은 영아들이 비탈면을 내려올 수 있도록 격려했다.

출처: Reprinted from Advances in Child Development and Behavior, Vol. 30, K. E. Adolph, Learning to keep balance, pp. 18-19. Copyright 2002 ⓒ with permission from Elsevier.

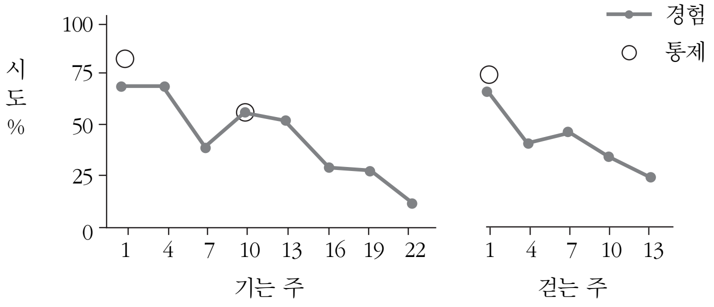
잘 걷는 영아는 놀라운 선제균형감각을 보여 준다. 여러 차례 실험에서 평평한 출발점에서 관찰하고 만져 본 것에 근거하여 어떤 비탈면은 걷기에 안전하고 어떤 비탈면은 위험한지를 거의 정확하게 판단했다(예, Adolph, 1995; Adolph et al., 1993a). 정신물리학적 평가에서 영아가 걸을 확률이 성공할 조건확률과 일치했다.

잘 걷는 영아는 심지어 스스로의 능력에 대한 평가를 새롭게 할 수도 있다. 예를 들어, Adolph와 Avolio(2000)는 실험을 위해 납이 든 팩을 영아의 어깨에 얹어서 머리가 더 무겁고 가분수가 되게 조작을 했다. 납이 든 팩을 어깨에 얹은 영아는 질량중심에 변화를 주지 않는 깃털이 든 팩을 얹었을 때보다 더 완만한 비탈면을 걸어 내려갈 수 있었다. 팩을 얹음에 따라 달라진 좁아진 흔들리는 범위(sway region)에 맞춰 위험한 비탈면에 대한 판단도 달라졌다. 납이 든 팩을 얹었을 때는 위험하다고 판단한 비탈면을, 깃털이 든 팩을 얹었을 때는 안전하다고 정확하게 판단했다.

하지만 균형에 대한 위협을 판단하는 능력은 선천적이거나 자동적인 것이 아니라 장기간의 학습을 거쳐야만 흔들리는 범위가 달라졌다는 판단을 할 수 있다. 기기 시작한 첫 주부터 걷기 시작하여 7주 후까지 조정 가능한 비탈면에서 영아를 대상으로 실험을 했다(Adolph, 1997). 깃털이 든 팩을 어깨에 얹은 걸을 수 있는 영아처럼 자연적으로 신체 비율과 이동 능력에 변화가 생기면, 영아는 자신의 행동반경의 한계를 계속해서 상향시켜야 한다. 일주일 단위로 영아의 운동 능력 수준은 달라졌다. 어떤 주에는 위험하다고 판단되는 비탈면이 그 다음 주에는 기기 능력이 향상되자, 아주 안전한 곳이 된다. 기기에 안전한 비탈면이 영아가 처음 걷기 시작하자, 아주 위험한 곳이 된다. [그림 5-16]는 한 영아에 대한 자료로 막대의 높이는 실험을 실시한 주에 영아가 기거나 걸어서 안전하게 내려간 가



[그림 5-16] 한 영아가 기거나 걸어서 비탈면을 내려가는 능력의 변화를 보여 준다. 막대의 높이는 3번의 실험 중 2번에서 안전하게 내려간 가파른 비탈면을 의미한다. 매주 기기 능력과 걷기 능력이 향상되고 기기에서 걷기로 이행하는 기간 동안 막대 높이가 내려간 것에 주목할 것.
출처: Reprinted from *Advances in Child Development and Behavior*, Vol. 30, K. E. Adolph, Learning to keep balance, pp. 18-19, Copyright © 2002 with permission from Elsevier.



[그림 5-17] 길 때와 걸을 때, 위험한 비탈면에서(머리를 아래로 향하고 추락하는) 판단 실패
학습곡선이 각각 한 번씩 있다는 것에 주목할 것.
출처: Reprinted from *Advances in Child Development and Behavior*, Vol. 30, K. E. Adolph, Learning to keep balance, pp. 18-19, Copyright © 2002 with permission from Elsevier.

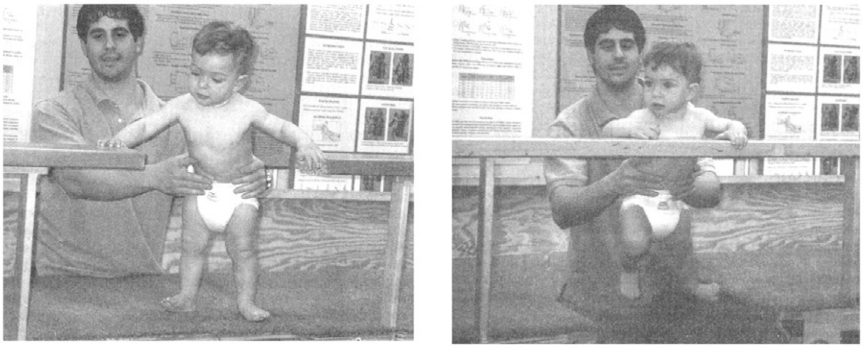
장 가파른 비탈면을 의미한다.

앉은 자세에서 흔들리는 범위의 한계를 판단하는 능력이 기기자세에서는 적용되지 않았던 것처럼, 기기자세에서 균형을 잡는 능력이 걷기자세에서 적용되지 않는다. 기기 시작한 첫 주에는 머리를 아래로 향한 채 가파른 비탈면에서 꼬꾸라져, 연구자가 잡아주어야만 했다. 평균적으로 실험 중 위험한 비탈면에서 넘어진 것이 75%였다. 영아의 기기 경험이 일주일씩 늘어나면서 대응 능력이 향상되었다([그림 5-17]의 왼쪽 도표에서 막대의 높이가 낮아지는 데서 알 수 있다). 기기 시작한 지 20주가 지나면 위험한 비탈면에서 잘못된 판단을 내리는 확률이 10% 미만으로 줄어들었다. 영아가 그 다음 주에 같은 기울기의 비탈면 앞에서 경솔하게 걸어 내려가다가 넘어졌다. 걷고자 하는 욕구가 너무 강해서 기기자세에서 익숙한 출발점에 데려다 놓으니, 절반의 영아는 혼자 일어서서 경사 36°의 비탈면을 걸어 내려가다 넘어졌다. 능숙한 기기자세에서는 경사 36°의 비탈면을 부드럽게 내려가거나 내려가지 않았다. 이와 비슷한 실험으로 McGraw(1935)는 막 걷기 시작한 영아는 기어서 가는 게 더 쉽고 효율적일 때도 두 발로 걸어서 가려고 하는 경우가 많다는 것을 알아냈다. 결국 걷기 경험이 늘어나면서 영아의 대응 능력이 향상되었다.

수개월간 실험을 하고, 수백 번 비탈면 실험을 했음에도 불구하고 기기와 걷기 사이에 어떤 전이의 증거도 발견하지 못했다. 걷기 시작한 첫 주의 실패가 기기 시작한 첫 주의 실패만큼 많았고, 두 번째도 학습의 속도는 전혀 빠르지 않았다. 게다가 기기 시작한 첫 주와 10주, 걷기 시작한 첫 주에만 실험을 한 대조군에 속한 영아와 수백 차례 실험에 참여한 영아 사이에 차이가 없었다. 오랫동안 매일 이동동작을 함으로써 균형의 위협요소를 판단하는 법을 배우는 것 같다. 비탈면 경험은 필요 없었다. 마지막 실험을 통해서 운동

발달의 과정에서 중요 자세 이정표를 하나씩 지나면서 균형 잡는 법을 학습하고 재학습한다는 것을 보여 주는 보강 증거를 얻었다(Adolph & Leo, 2005; Leo, Chiu, & Adolph, 2000). 붙잡고 걷기와 걷기가 모두 직립자세로 이루어지는 것이기는 하지만, 붙잡고 걸으면서 팔로 균형을 잡는 것에서 걸으면서 다리로 균형을 잡는 것으로 전환하는 것은 분명 중요한 자세 이정표다. 따라서 생후 11개월의 붙잡고 걸을 수 있는 영아를 간격을 조정할 수 있는 장치로 두 가지 조건으로 실험했다([그림 5-18]). '난간' 조건은 팔로 균형잡기에 관한 실험으로, 바닥은 연결되어 있고 영아가 매달려 지지를 받고 있는 난간이 중간에 끊겨 있다. '바닥' 조건은 다리로 균형잡기에 관한 실험으로, 난간은 연결되어 있고, 바닥이 끊겨 있다. 두 조건 모두에서 실험 도우미가 영아에게 빈 공간이 있다는 것에 관심을 갖도록 도와주었다. 그리고 실험자가 출발점에 영아를 내려 놓았다.

붙잡고 걸을 수 있는 영아는 난간 실험에서 균형의 위협요소를 정확히 파악했다. 난간이 팔이 닿는 범위 안에 있으면 쭉 붙잡고 걸었고, 팔이 닿지 않으면 위험한 부분을 피하거나 기어서 지나갔다. 반면에 바닥 실험에서는 넓은 공간을 향해 걸어 넘어졌다. 일부 영아는 실험에 참여시키기로 결정하고 실제 실험을 진행하기 전에 혼자서 걷기 시작했다. 이 아기들은 두 실험 모두에서 위험한 빈 공간을 무시하고 계속 걸으려 했다. 아마도 난간 실험에서는 그 빈 공간 사이에서 몇 걸음이나 걸을 수 있는지를 모르고 바닥이 없으면 균형을 잡을 수 없다는 것도 모르는 듯했다. 붙잡고 걸을 수 있는 영아와 막 혼자 힘으로 걷기 시작한 영아가 바닥 실험에서 실패한 것은 붙잡고 걷는 연습을 한다고 지면의 변화에 대응하는 법을 배우는 것은 아니라는 것이다. 또한 이는 다리를 이용해 몸의 균형을 잡는



(A) (B)

[그림 5-18] 붙잡고 걷는 영아가 (A) 난간이 끊긴 곳에서 팔로 균형유지에 필요한 정보에 의존하여 자신의 균형 능력에 대해 정확히 판단한다. (B) 바닥이 끊긴 곳에서 다리 균형을 유지하는 데 필요한 정보를 고려해 하는 것, 균형의 제약요인을 정확하게 파악하는 것을 실패. 사진에 보이는 실험자가 영아의 안전을 확보한다. 사진에는 나와 있지 않지만 부모가 반대쪽 도착점에서 영아를 격려했다 (Courtesy of Karen E. Adolph, New York University).

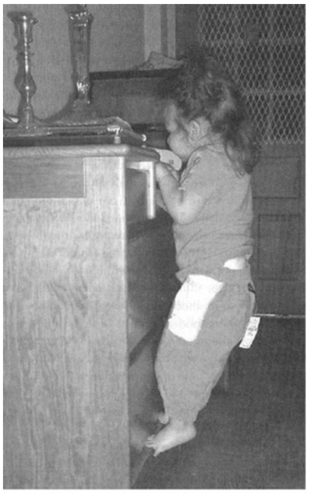
것과 연관이 있다. 다시 말하면, 붙잡고 걸을 수 있는 영아는 바닥이 있어야 몸을 지탱할 수 있다는 것을 모르기 때문에 미리 균형통제를 할 수 있는 능력이 붙잡고 걷기자세에서 혼자서 걷기자세로 전달되지 않는다. 대신에 붙잡고 걸을 수 있는 영아는 팔로 획득한 정보(난간이나 가구의 유용성)을 이용해 균형 잡는 법을 배운다.

9. 계단 오르기에서 이동도구 사용으로

계단 오르내리기

균형과 전진을 위해 팔다리를 이용할 수 있게 되면 새로운 차원에서 이동 기회가 생긴다. 적절한 환경상의 지원이 있으면 영아는 올라가고 내려올 수 있다. 3차원 세계는 영아에게 정글짐이 될 수 있는 수많은 물체가 있는 놀이터다([그림 5-19]). 영아가 비탈면, 울타리, 문, 사다리, 나무, 동물우리 등의 야외 장애물을 오르내리고 계단, 창문, 아기용 침대 난간, 사람, 장난감 정리함, 뒤집어진 통, 욕조, 가구 등의 실내 장애물을 오르내리는 모습을 설명해 놓은 논문도 많다(Adolph, 1997; McGraw, 1935; Trettien, 1900; Valsiner & Mackie, 1985).

영아는 마치 3차원의 장애물을 넘는 것이 피할 수 없는 도전이라도 되는 듯 단지 오르



[그림 5-19] 걸을 수 있는 영아가 새로 이동 능력을 발견하고 자연스레 호기심을 느끼면서 주변의 모든 것을 오르고 탐구한다(Courtesy of Esther M. Braun).

는 것이 좋아서 오르는 것으로 보인다(Harlow & Mears, 1979; McGraw, 1935; Trettien, 1900). 예를 들어, 영아는 계단을 목표지에 도달하기 전에 지나가는 길이 아니라 대근육 운동(gross motor play)의 기회로 생각한다. 계단 위쪽에 영아를 유인하기 위해 인형을 보여 주는 실험에서도 영아는 근처 아래쪽 계단만 기어서 오르내리고 꼭대기까지 바로 올라가지 않고 중간쯤에서 돌아온다(Adolph, 1997; McGraw, 1935). 비탈면, 계단, 사다리를 올라가는 것은 에너지가 많이 필요하지만, 통제하기는 상대적으로 쉽다(Adolph, 1995, 1997; Dean, 1965). 위로 올라가는 동작을 하면 영아가 중력에 저항해 몸을 움직여야 하기 때문에 피곤해진다. 하지만 중력이 관성을 억제해 주고, 영아가 적절한 장소에 팔다리를 위치할 시간을 주기 때문에 위로 올라가는 동작을 통제하기가 더 쉽도록 해 준다. 기어가는 영아는 체중을 다리에 더 많이 실어서 약하고 가는 팔이 할 일을 덜어 준다. 사실 엎드려서 배를 바닥에서 떼지 못하는 영아는 경사진 길이나 계단을 올라갈 때는 손과 무릎 혹은 손과 발에 의존해 움직일 수 있다. 걷는 영아를 지탱해 주는 다리와 기는 영아를 지탱해 주는 팔은 보통 이완이 되어서 힘을 내기 위해 근육이 수축한다. 이때 움직이는 다리나 팔은 평면이동 때보다 움직이는 폭이 작다. 구부러진 상태에서 경사면과 계단수평면(rung), 계단수직면(riser)에 닿는다. 넘어질 때 영아의 손은 얼굴과 머리를 보호할 수 있는 위치에 있다.

반면에 경사면, 계단, 사다리를 내려가는 것은 에너지는 덜 필요하지만 통제하기가 아주 어렵다(Adolph, 1995, 1997; Dean, 1965; Nelson & Osterhoudt, 1971). 중력이 끌어당기는 방향으로 몸을 움직이는 것은 에너지 측면에서는 효율적이지만, 관성 때문에 영아가 내려가는 동작을 통제하기 어렵다. 얼굴이 아래로 향한 채로 경사면을 내려가면 기는 영아는 평면에서보다 더 많은 체중을 약한 팔에 실어야 하기 때문에 균형통제가 더 어렵다. 영아의 팔이 약하기 때문에 계단, 가구, 사다리 같은 수직 장애물을 얼굴이 아래로 향한 채로 내려갈 수 없다. 막 걷기 시작한 영아는 근력도 충분하지 않아서 얼굴을 전방으로 향하고 직립자세로 경사면과 계단을 내려갈 수 없을 것이다. 경사면과 계단에서, 움직이는 다리가 경사면이나 계단 수직면에 닿기 전에 동작이 크기 때문에 몸을 지탱하는 다리는 반드시 구부려야만 한다. 구부린 팔다리로 체중을 지탱하기 위해서 힘을 내려면 더 많은 근력이 필요하기 때문에 근육은 수축하는 게 아니라 이완해야만 한다. 내려가는 동안 넘어지지 않기 위해서 손은 어색한 위치에 놓여 있다.

영아가 올라가는 데 성공한 것은 올라가고 내려갈 때 생체역학이 다르다는 것을 보여준다. 예를 들어, 경사면을 매일 오르내리는 연습을 했던 한 영아는 손으로 잡고 발가락으로 앞으로 밀면서 무려 70°의 경사면을 올라갔다. 하지만 얼굴이 앞을 향한 채로 기어

내려오는 데 성공한 가장 가파른 경사면은 40° 였다(McGraw, 1935). 계단에서 매일 연습했던 한 영아는 계단을 손과 무릎을 이용하여 26초 만에 올라갔고, 또 다른 영아는 놀라운 속도로 10초 만에 올라갔다. 하지만 두 영아 모두 혼자서 계단을 기어 내려오지는 못했다(Gesell & Thompson, 1929). 특별한 훈련을 받지 않은 대부분의 영아는 이렇게 놀라운 수준을 보여 주지는 않았다. 기는 영아와 걷는 영아가 오른 경사면의 범위는 2~36° 였고, 거의 모든 영아가 내려오는 경우보다 올라가는 경우에 더 가파른 경사면까지 소화했다(Adolph, 1995, 1997; Adolph et al., 1993a).

계단을 오르는 것은 예상 가능한 연속선을 따른다(Bayley, 1993; Berger, Theuring, & Adolph, 2004). 영아는 평면에서 기기 시작한 직후 한두 계단을 기어 올라갈 수 있다. 처음에는 팔로는 잡아당기고 다리로는 밀어 올린다(Berger et al., 2004; Gesell & Thompson, 1934; Trettien, 1900). 곧 계단 전체를 오를 수 있게 된다. 하지만 계단을 올라갈 때 직면하는 문제를 단계적으로 해결하는 것 같다. 양쪽 무릎을 계단 수직면에 대거나 잠시 앉은 자세로 쉰 후 다시 계단을 오른다. 기기 시작한 지 몇 주가 지나면 영아는 점점 직립에 가까운 자세로 계단을 오른다. 무릎에 의존해 균형을 잡지 않고 발로 계단을 오른다. 결국 기는 영아는 한 번에 손이나 발 하나씩을 내디디면서 계단을 오를 수 있게 된다.

평면에서 걷기 시작한 지 몇 주가 지나야 계단을 걸어서 올라갈 수 있게 된다(Bayley, 1993; Berger et al., 2004). 처음에는 계단을 한두 개 정도만 오를 수 있고, 몸을 지지하기 위해서 벽에 기대거나 옆으로 움직여서 양손으로 난간을 잡아야 한다(Berger et al., 2004; Trettien, 1900). 하지만 결국 한 손으로 벽을 짚거나 난간을 잡고 계단 전체를 오를 수 있게 된다. 길 때와 마찬가지로 다음 계단으로 올라가기 전에 양발을 계단수직면에 기대면서 휴식을 취한다. 영아는 걸어서 계단을 오르면서 가끔 기는 자세로 바꾸기도 한다. 생후 30~36개월이 되어야 보통 어딘가를 짚거나 쉬지 않고 계단을 오를 수 있다.

대부분의 영아가 걷기 시작한 후에야 혼자 계단을 내려올 수 있다(Bayley, 1993; Berger et al., 2004). 그래서 영아가 택하는 방법은 얼굴을 계단 쪽으로 향하고 기어 내려오는 것이다. 벽이나 난간을 잡고 계단을 올라가는 방법을 익힌 후 몇 주가 지나면 같은 방법으로 한두 계단을 걸어 내려온다. 어딘가를 짚거나 쉬지 않고 계단 전체를 걸어 내려오려면 3~4세는 되어야 한다. 만약 영아가 계단을 정기적으로 오르락내리락하지 않으면 평균적 양상을 따르지 않는다. 예를 들어, 집에 계단이 있는 영아가 매일 계단을 오르지 못하는 영아보다 일찍 계단 오르는 법을 배운다(Berger et al., 2004).

이동 시 인지 능력

이동(travel)은 마음을 확장시킨다(Campos et al., 2000). 하지만 역으로 영아의 마음은 이동을 확대시킨다. 어려운 이동 동작에 대처하기 위해 효과적으로 전략을 짜려면 아마도 높은 수준의 문제해결력이 필요할 것이다. 예를 들어, 수단-목적 탐구(means-ends exploration)를 통해 영아는 경사면과 계단을 내려가는 이동 전략 상의 대안을 발견할 수 있다. 전신문제해결(whole body problem solving)을 통해 발판이나 난간을 새로운 관점에서 볼 수 있다.

능숙하게 기거나 걸을 수 있는 영아가 처음으로 계단이나 가파른 경사면을 접했을 때, 머리를 앞으로 향한 채 기거나 걸어서 내려갈 수 없다고 정확한 판단을 내리지만, 다른 대안을 찾지 못하고(Adolph, 1997) 접근-회피 갈등(approach-avoidance conflict)에 처해 있게 된다(Lewin, 1946). 영아는 계단 앞으로 다가섰다가 물러서는 과정을 반복하다가, 보통은 어머니를 부르고, 계단 아래쪽을 내려다보고, 바닥을 만져 보고, 점점 더 좌절하다가 누군가가 와서 계단 아래로 데리고 내려가야 이 과정이 끝난다(Fraisse, Couet, Bellanca, & Adolph, 2001 Karasik et al., 2004). 돌이 다가오면서 영아는 수단-목적 탐구 능력을 보여 주기 시작한다(Adolph, 1997). 영아는 계단을 내려가는 전략의 효율성을 실험하듯이 손과 무릎에 의존하는 자세에서 다리를 계단 아래로 늘어뜨리고 앉은 자세로 또 등을 경사면이나 계단 쪽으로 향하는 등의 자세로 자세를 바꾼다.

가파른 경사면을 내려가는 첫 번째 전략은 슈퍼맨처럼 팔은 앞으로, 다리는 뒤로 하고, 얼굴을 앞으로 향한 채 미끄러져 내려가는 것이다(Adolph, 1997; Adolph et al., 1993a). 두 번째 전략은 앉기자세다. 대부분의 성인은 보통 앉은 자세로 미끄러져 내려오는 걸 당연하게 생각하지만, 영아에게는 앉은 자세에서 이동할 수 있다는 것은 새로운 발견에 해당한다. 앉은 자세가 계단을 내려오는 전략 중 하나가 될 수 있기는 하지만, 계단 전체를 앉은 자세로 내려오기는 힘들고, 영아는 계단과 계단 사이에서 다시 균형을 잡으면서 한 걸음, 한 걸음을 독립적으로 내딛는다(Berger, 2004).

마지막 전략은 뒤돌아서 내려오는 것이다(Adolph, 1995, 1997; Adolph & Avolio, 2000; Adolph et al., 1993a). 계단에서, 대부분의 부모는 계단 꼭대기에서 영아의 몸을 뒤로 돌려서 팔과 다리로 각 계단을 내려오는 전략을 직접 가르친다(Berger et al., 2004). 뒤돌기 전략은 경사면, 계단, 가구, 절벽 등 다양한 내려오기 상황에서 안전과 균형통제 면에서 최상의 전략이다(Berger, 2004; McGraw, 1935). 하지만 인지적 측면에서는 가장 어려운 전략이다. 첫째, 영아는 엎드린 자세를 취해야 한다. 그러고 나서 몸을 180° 돌려서 머리

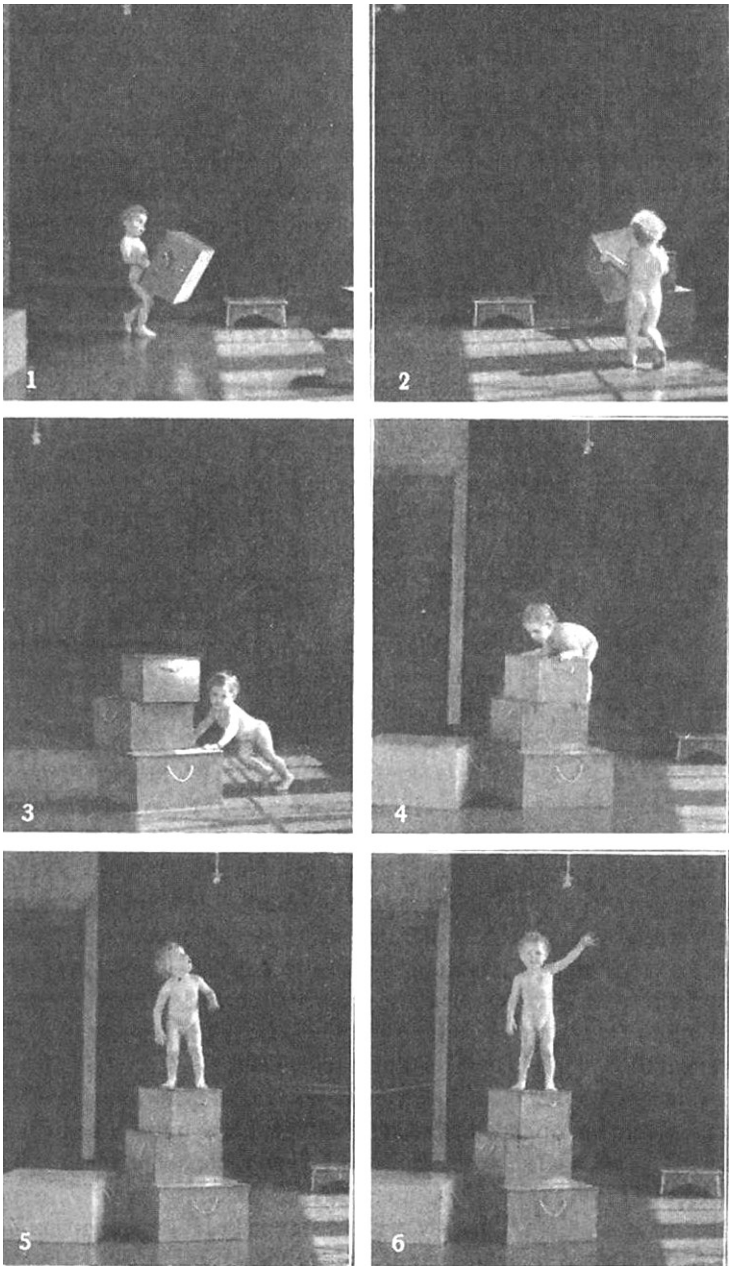
가 계단 위쪽을 향하게 해야 한다. 마지막으로, 한쪽 어깨 너머로 내려다보거나 이동 반대 방향으로 얼굴을 향한 채 목표를 향해 뒤로 움직여야 한다.

뒤돌기 전략의 각 동작이 운동적 측면에서 어렵지는 않다(영아는 이미 수개월간 몸을 회전시키고, 배로 균형을 통제하고, 무의식적으로 뒤로 몸을 밀어내는 동작을 해 왔다). 하지만 인지적인 측면에서는 모두 어렵고, 이 모든 동작을 하나로 연결하는 것은 새로운 도전이 된다. 영아에게는 특히 몸을 반대 방향으로 돌리는 것이 이동 동작뿐만 아니라 내밀기 동작을 할 때도 아주 어렵다. 왜냐하면 목표에 도달하기 위해서 목표 반대 방향으로 고개를 돌려야 하기 때문이다(Diamond, 1990; Lockman, 1984; Lockman & Adams, 2001; McGraw, 1935). 의도적으로 뒤로 움직이는 동작은 앞으로 움직이는 동작을 한 지 몇 개월 후에야 나타난다(뒤로 걷는 것은 생후 18개월 반경에 나타난다)(Frankenburg & Dodds, 1967). 성인도 반대쪽을 보고 움직이기는 어렵다(어깨 너머로 보지 않고 뒤로 걷거나 백미러를 보지 않고 후진한다고 생각해 보라). 더욱이 계단 아래쪽에서 부모가 소리를 내어 아이를 독려하지 않는다면 영아는 기억에 의존하여 목표지를 찾아가야만 한다.

전신문제해결

수단-목적문제해결의 주요 부분은 도구 사용이다. 전통적으로 연구자들은 도구라고 하면 공구함 안에 들어있는 도구만 생각했다. 대표적 사례가 막대 몇 개를 엮어서 멀리 있는 바나나를 끌어온 침팬지를 대상으로 한 Köhler(1925)의 실험이다. 하지만 도구 사용은 팔뿐 아니라 몸 전체 어느 부분이든 이용할 수 있다(Berger & Adolph, 2003; Berger et al., 2004). 이와 비슷하지만 이만큼 알려지지는 사례로 Köhler(1925)의 실험에서 침팬지가 장대 위로 점프하거나 큰 상자부터 작은 상자까지 차곡차곡 쌓아 올려 그 위에 올라가서 천장에 매달린 바나나를 가져왔다.

McGraw(1935)는 Köhler의 상자 쌓기 실험을 영아를 대상으로 실시했다(영아들에게 롤러스케이트 이용하기, 물속에서 수영하기, 높은 단에서 뛰어내리기 등을 훈련시키기는 했지만, 장대 위로 점프해 올라가게 하지는 않았다). 천장에 달린 인형으로 유인하여 영아가 낮은 단부터 높은 단까지 일렬로 배열하여 낮은 것에서 높은 것으로 올라가도록 했다. 단의 높이는 19~161cm(영아의 키의 2배 이상)였고 무게는 4~28kg(영아의 몸무게 이상)이었다. 또 가장 아래에 큰 상자부터 작은 상자까지 차곡차곡 쌓아 올리도록 했다([그림 5-20]). 영아가 문제해결을 처음 시도할 때는 목표에 도달할 수 있는 유용한 수단으로 단이나 상자를 아예 고려하지 않았다. 대신에 멀리 있는 대상에 닿기 위해 소용없는 노력을 했다. 훈련



[그림 5-20] 집중적으로 다양한 운동 기술 훈련을 받은 쌍둥이 중 한 명인 26개월의 조니가 닿을 수 없는 높이에 매달린 물체를 잡기 위해 3개의 상자를 성공적으로 쌓아 올리고 있다. 6번 사진에서 조니는 3개의 상자가 부족함을 발견한다.

출처: Reprinted with permission from *Groth: Johnny and Jimmy*, M. McGraw, Copyright(1935) by Ayer Publishing.

을 몇 주 동안 진행하자, 점차 단과 상자를 목표에 도달하는 수단으로 인식해 나갔다. 몇 피트 가량 상자를 끌어오거나 단을 밀었다. 하지만 상자나 단의 위치를 정하는 과정에서 왜 그것을 움직였는지를 잊어버린 듯했다. 결국 작은 단과 상자는 너무 작아서 단독으로 이용할 수는 없고, 더 큰 단과 상자와 함께 이용해서 목표에 도달할 수 있다는 것을 깨달았다.

Berger와 연구 팀은 영아의 전신문제해결, 수단-목적문제해결을 난간을 이용한 균형 잡기 관찰을 통해 실험했다(Berger & Adolph, 2003; Berger, Adolph et al., 2004). 생후 16개월 된 걸을 수 있는 영아를 깊고 넓은 낭떠러지를 연결하는 폭이 넓고 좁은 (12~72cm) 다리를 건너게 했다. 다리에 난간을 설치한 경우도 있고, 제거한 경우도 있었다. 부모가 다리 건너편에서 영아에게 장난감을 보여 주며 유인했었다. 예상한 대로 영아는 좁은 다리에서 균형 잡기가 어렵다는 것을 알았다. 더욱 중요한 것은 난간을 이용해서 균형을 잡을 수 있다는 것도 알았다는 점이다. 영아는 폭이 넓은 다리를 바로 뛰어서 건너고 난간을 무시했다. 좁은 다리의 경우 난관 설치 유무에 관계없이 건너지 않았다. 하지만 중간 폭의 다리에서는 난간이 있으면 건너려 하고, 난간을 제거하자 건너지 않았다. 난간의 재질을 다양하게 하자, 딱딱한 나무인 경우에는 다리를 걸어서 건너고, 흔들거리는 스티로폼인 경우에는 건너지 않았다.

10. 요약 및 결론

이 장의 핵심 주제는 신체발달과 운동발달이 서로 밀접하게 연관되어 있다는 것이다. 운동 능력은 이미 체화되어 있다(E. J. Gibson & Pick, 2000). 수정 8주 된 배아가 최초로 꿈틀거릴 때부터 인체의 모양과 비율, 근육질량과 지방의 분포, 관절의 탄력성, 근육 협력작용이 움직임의 가능성과 기능에 영향을 미친다. 영아의 뇌는 근육 움직임만 통제한다. 하지만 운동 능력은 근육의 힘과 중력이 신체에 미치는 영향과 진행되는 운동의 결과에서 발생하는 힘 모두가 작용한 결과로 나타난다(Bernstein, 1967; Thelen et al., 1993). 로봇의 다리는 수동적인 힘에 의해서만 걷는다는 것은 통제된 움직임에서 신체의 중요성을 잘 보여 준다(Ruina, 2005). 태아기부터 유아기까지 신체의 급격한 변화에 따라 동작에 미치는 생체역학적 제약이 달라진다. 이 부분에 대해서는 이제 막 연구가 시작된 수준이다.

또 다른 주제는 동작과 지각 능력의 불가분적 관계다(Bertenthal & Clifton, 1998). 연구자들이 대상 물체를 향해 손을 내밀 때 손의 이동 경로를 안내하기 위해서 또 특정 장소

로 이동할 때 몸의 이동 경로를 안내하기 위해서는 지각적 정보가 필수적이라는 것을 깨달은 지 오래되었다. 하지만 지각적 정보는 균형통제에서도 필수적 요소다. 앉기자세나 직립자세를 취할 때 몸을 행동반경의 범위 안에서 유지하려면 정지된 자세(quiet stance)가 지속적으로 탐색되어야만 한다. 몸의 균형을 유지하기 위해서는 신체 여러 부위를 의도적으로 움직이기 전에 지각적 정보를 활용해야만 한다. 다시 말하면, 지각적 정보에 따라 균형을 통제하는 것은 손 뻗기, 이동 동작을 포함한 모든 의도적 행동에서 머리, 몸통, 팔다리를 움직이는 데 기본이 된다(Reed, 1982).

이 장의 마지막 주제는 신체발달과 운동 능력발달이 주변 환경에 따라 달라진다는 점이다. 기존의 책에서는 영아의 운동 능력발달이 발육 차트에서 하나하나 체크해 나가는 사항 정도라고만 다루고 있었다. 하지만 단순히 태어난 후 시간이 지난다고 고개를 들거나 뒤집거나 걷는 것이 아니다. 성장과 운동 능력발달은 단순히 성숙해지면서 나타나는 형상이라는 기존의 견해는 옳지 않다. 오히려 영아는 물체, 지표면 장소 등 실질적 주변 환경 속에서 부모의 도움을 받아 새로운 능력을 습득한다. 주변 환경의 구조, 환경적 특성을 영아가 얼마나 접할 수 있는가, 영아와 부모와의 상호관계는 문화권마다 다르다.

이 장의 서두에서 영아의 신체 및 운동 능력발달을 왜 발달심리학 교과서에 포함시키는가에 대한 질문을 던졌다. 그에 대한 대답으로 상황변화에 맞춰 동작을 통제하는 데 심리적 기능이 필수적 요소라는 결론을 내리고 싶다. 지각, 인지, 정서는 영아가 신체의 변화에 대처하고, 새로운 행동 가능성을 탐색하고, 복잡한 사회적 · 신체적 환경에 대처해 나가는 수단이 된다. 그리고 이 새로운 운동 능력은 다시 영아에게 새로운 학습의 기회가 되고 인지적 · 사회적 발달을 촉진한다.

참 · 고 · 문 · 헌

Adolph, K. E. (1995). A psychophysical assessment of toddlers' ability to cope with slopes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and performance, 21*, 734–750.

Adolph, K. E. (1997). Learning in the development of infant locomotion. *Monographs of the*

* 우리는 Catherine Tamis-LeMonda, Rachel Keen 그리고 Marc Bornstein의 통찰력 깊은 조언에 감사드린다. 또 그림을 수집하느라 애쓴 Jessie Garciaguirre와 편집에 애쓴 Judy Kwak에게도 고마운 마음을 전한다. 이 작업은 National Institute of Child Health and Human Development가 KEA에게 지원한 Grants HD33486과 HD42697 연구비로 수행되었다.

Society for Research in Child Development, 62 (3, Serial No. 251).

Adolph, K. E. (2000). Specificity of learning: Why infants fall over a veritable cliff. *Psychological Science, 11,* 290–295.

Adolph, K. E. (2002). Learning to keep balance. In R. Kail (Ed.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 30, pp. 1–40). New York: Elsevier.

Adolph, K. E. (in press). Learning to learn in the development of action. In J. Lockman & J. Reiser (Eds.), *Action as an organizer of perception and cognition during learning and development: The 32nd Minnesota Symposium on Child Development.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Adolph, K. E., & Avolio, A. M. (2000). Walking infants adapt locomotion to changing body dimensions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 26,* 1148–1166.

Adolph, K. E., & Eppler, M. A. (2002). Flexibility and specificity in infant motor skill acquisition. In J. W. Fagen & H. Hayen (Eds.), *Progress in infancy research* (Vol. 2, pp. 121–167). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Adolph, K. E., Eppler, M. A., & Gibson, E. J. (1993a). Crawling versus walking infants' perception of affordances for locomotion over sloping surfaces. *Child Development, 64,* 1158–1174.

Adolph, K. E., Eppler, M. A., & Gibson, E. J. (1993b). Development of perception of affordances. In C. Rovee-Collier & L. P. Lipsitt (Eds.), *Advances in infancy research* (Vol. 8). Norwoord, NJ: Ablex.

Adolph, K. E., & Leo, A. J. (2005). *Timing, form, and function: The transition from cruising to walking.* Manuscript in preparation.

Adolph, K. E., Vereijken, B., & Denny, M. A. (1998). Learning to crawl. *Child Development, 69,* 1299–1312.

Adolph, K. E., Vereijken, B., & Shrout, P. E. (2003). What changes in infant walking and why. *Child Development, 74,* 475–497.

Alberts, J. R., & Ronca, A. E. (1993). Fetal experience revealed by rats: Psychobiological insights. *Early Human Development, 35,* 153–166.

Ames, L. B. (1937). The sequential patterning of prone progression in the human infant. *Genetic Psychology Monographs: Child Behavior, Animal Behavior, and Comparative Psychology, 19,* 409–460.

Amiel-Tison, C., & Grenier, A. (1986). *Neurological assessment during the first year of life.* New York: Oxford University Press.

Angulo-Kinzler, R. M., Ulrich, B., & Thelen, E. (2002). Three-month-old infants can select specific leg motor solutions. *Motor Control, 6,* 52–68.

Assaiante, C., Thomachot, B., Aurently, R., & Amblard, B. (1998). Organization of lateral balance control in toddlers during the first year of independent walking. *Journal of Motor Behavior, 30,* 114–129.

Barela, J. A., Jeka, J. J., & Clark, J. E. (1999). The use of somatosensory information during the acquisition of independent upright stance. *Infant Behavior and Development, 22,* 87–102.

Bates, E., Carlson-Luden, V., & Bretherton, I. (1980). Perceptual aspects of tool using in infancy. *Infant Behavior and Development, 3,* 127–140.

Bayley, N. (1993). *Bayley scales of infant development* (2nd ed.). New York: The Psychological Corporation.

Berger, S. E. (2004). Demands on finite cognitive capacity cause infants' perseverative errors. *Infancy, 5,* 217–238.

Berger, S. E., & Adolph, K. E. (2003). Infants use handrails as tools in a locomotor task. *Developmental Psychology, 39,* 594–605.

Berger, S. E., Adolph, K. E., & Lobo, S. A. (2005). *Out of the toolbox : Toddlers differentiate wobbly and wooden handrails.* Manuscript in preparation.

Berger, S. E., Theuring, C. F., & Adolph, K. E. (2004). *Social, cognitive, geographic, and biomechanical factors affect infants' learning to ascend and descend stairs.* Poster presented at the International Conference on Infant Studies. Chicago, IL.

Bernstein, N. (1967). *The coordination and regulation of movements.* Oxford : Pergamon Press.

Bertenthal, B. I., Boker, S. M., & Xu, M. (2000). Analysis of the perception–action cycle for visually induced postural sway in 9–month–old sitting infants. *Infant Behavior and Development, 23,* 299–315.

Bertenthal, B. I., & Campos, J. J. (1984). A reexamination of fear and its determinants on the visual cliff. *Psychophysiology, 21,* 413–417.

Bertenthal, B. I., & Clifton, R. K. (1998). Perception and action. In D. Kuhn & R. S. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology* (Vol. 2 : Cognition, Perception, and Language, pp. 51–102). New York : John Wiley & Sons.

Bertenthal, B. I., Rose, J. L., & Bai, D. L. (1997). Perception–action coupling in the development of visual control of posture. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, 23,* 1631–1643.

Berthier, N. E., Clifton, R. K., McCall, D. D., & Robin, D. J. (1999). Proximodistal structure of early reaching in human infants. *Experimental Brain Research, 127,* 259–269.

Bly, L. (1994). *Motor skills acquisition in the first year.* San Antonio, TX : Therapy Skill Builders.

Brazelton, T. B. (1956). Sucking in infancy. *Pediatrics, 17,* 404.

Breniere, Y., Bril, B., & Fontaine, R. (1989). Analysis of the transition from upright stance to steady state locomotion in children with under 200 days of autonomous walking. *Journal of Motor Behavior, 21,* 20–37.

Bril, B., & Breniere, Y. (1989). Steady–state velocity and temporal structure of gait during the first six months of autonomous walking. *Human Movement Science, 8,* 99–122.

Bril, B., & Breniere, Y. (1992). Postural requirements and progression velocity in young walkers. *Journal of Motor Behavior, 24,* 105–116.

Bril, B., & Breniere, Y. (1993). Posture and independent locomotion in early childhood : Learning to walk or learning dynamic postural control? In G. J. P. Savelsbergh (Ed.), *The development of coordination in infancy* (pp. 337–358). North Holland, The Netherlands : Elsevier.

Bril, B., & Sabatier, C. (1986). The cultural context of motor development : Postural manipulations in the daily life of Bambara babies (Mali). *International Journal of Behavioral Development, 9,* 439–453.

Brown, A. (1990). Domain specific principles affect learning and transfer in children. *Cognitive Science, 14,* 107–133.

Burnside, L. H. (1927). Coordination in the locomotion of infants. *Genetic Psychology Monographs : Child Behavior, Differential, and Genetic Psychology, 2,* 283–372.

Butterworth, G., & Hicks, L. (1977). Visual proprioception and postural stability in infancy : A developmental study. *Perception, 7,* 513–525.

Butterworth, G., & Pope, M. (1983). Origine et fonction de la proprioception visuelle chez l'enfant. In S. de Schonen (Ed.), *Le development dans la premiere annee* (pp. 107–128). Paris: Presses Universitaires de France.

Campos, J. J., Anderson, D. I., Barbu-Roth, M. A., Hubbard, E. M., Hertenstein, M. J., & Witherington, D. C. (2000). Travel broadens the mind. *Infancy, 1,* 149–219.

Campos, J. J., Bertenthal, B. I., & Kermoian, R. (1992). Early experience and emotional development: the emergence of wariness of heights. *Psychological Science, 3,* 61–64.

Capute, A. J., Accardo, P. J., Vining, E. P. G., Rubenstein, J. E., & Harryman, S. (1978). *Primitive reflex profile.* Baltimore: University Park Press.

Capute, A. J., Shapiro, B. K., Palmer, F. B., Ross, A., & Wachtel, R. C. (1985). Normal gross motor development: The influences of race, sex and socio-economic status. *Developmental Medicine and Child Neurology, 27,* 635–643.

Carolan, P. L., Moore, J. R., & Luxenberg, M. G. (1995). Infant sleep position and the sudden infant death syndrome: A survey of pediatric recommendations. *Clinical Pediatrics, 34,* 402–409.

Chen, Z., & Seigler, R. S. (2000). Across the great divide: Bridging the gap between understanding of toddlers' and older children's thinking. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 65* (2, Serial No. 261).

Cioni, G., Ferrari, F., & Prechtl, H. F. R. (1989). Posture and spontaneous motility in fullterm infants. *Early Human Development, 18,* 247–262.

Clark, J. E., Whitall, J., & Phillips, S. J. (1988). Human interlimb coordination: The first 6 months of independent walking. *Developmental Psychobiology, 21,* 445–456.

Clifton, R. K., Muir, D. W., Ashmead, D. H., & Clarkson, M. G. (1993). Is visually guided reaching in early infancy a myth? *Child Development, 64,* 1099–1110.

Clifton, R. K., Perris, E. E., & McCall, D. D. (1999). Does reaching in the dark for unseen objects reflect representation in infants? *Infant Behavior and Development, 22,* 297–302.

Clifton, R. K., Rochat, P., Robin, D. J., & Berthier, N. E. (1994). Multimodal perception in the control of infant reaching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 20,* 876–886.

Corbetta, D., Thelen, E., & Johnson, K. (2000). Motor constraints on the development of perception-action matching in infant reaching. *Infant Behavior and Development, 23,* 351–374.

Davis, B. E., Moon, R. Y., Sachs, H. C., & Ottolini, M. C. (1998). Effects of sleep position on infant motor development. *Pediatrics, 102,* 1135–1140.

Dean, G. A. (1965). An analysis of the energy expenditure in level and grade walking. *Ergonomics, 8,* 31–47.

DeCasper, A. J., & Fifer, W. P. (1980). Of human bonding: Newborns prefer their mother's voices. *Science, 208,* 174–176.

DeCasper, A. J., Lecanuet, J. -P., Busnel, M. C., & Granier-Deferre, C. (1994). Fetal reactions to recurrent maternal speech. *Infant Behavior and Development, 17,* 159–164.

de Vries, J. I. P., Visser, G. H. A., & Prechtl, H. F. R. (1988). The emergence of fetal behavior. III. Individual differences and consistencies. *Early Human Development, 16,* 85–103.

Dewey, C., Fleming, P., Golding, J., & Team, A. S. (1998). Does the supine sleeping position have any adverse effects on the child? II. Development in the first 18 months. *Pediatrics, 101,* e5.

Diamond, A. (1990). Developmental time course in human infants and infant monkeys, and the neural bases of inhibitory control in reaching. In A. Diamond (Ed.), *The development and neural bases of higher cognitive functions* (pp. 637–676). New York: The New York Academy of Sciences.

Eppler, M. A. (1995). Development of manipulatory skills and the deployment of attention. *Infant Behavior and Development, 18,* 391–405.

Feng, T. I., Raynor, B. D., Fiano, K., & Emory, E. K. (1997). Doppler velocimetry of the fetal Circle of Willis: A longitudinal study. *Journal of Maternal-Fetal Investigation, 7,* 133–138.

Forssberg, H. (1985). Ontogeny of human locomotor control. I. Infant stepping, supported locomotion, and transition to independent locomotion. *Experimental Brain Research, 57,* 480–493.

Fraiberg, S. (1977). *Insights from the blind: Comparative studies of blind and sighted infants.* New York: Meridian Books.

Fraisse, F. E., Couet, A. M., Bellanca, K. J., & Adolph, K. E. (2001). Infants' reponse to potential risk: Social interaction and perceptual exploration. In G. A. Burton & R. C. Schmidt (Eds.), *Studies in perception and action VI.* Mahwah, NJ: Erlbaum.

Frankenburg, W. K., & Dodds, J. B. (1976). The Denver Developmental Screening Test. *The Journal of Pediatrics, 71,* 181–191.

Freedland, R. L., & Bertenthal, B. I. (1994). Developmental changes in interlimb coordination: Transition to hands-and-kness crawling. *Psychological Science, 5,* 26–32.

Galloway, J. C., & Thelen, E. (2004). Feet first: Object exploration in young infants. *Infant Behavior and Development, 27,* 107–112.

Garciaguirre, J. S., & Adolph, K. E. (2004, May). *How infants adapt to functional changes in body dimensions.* Poster presented at the International Conference on Infant Studies, Chicago, IL.

Garciaguirre, J. S., & Adolph, K. E. (2005). *Step-by-step: Infants' walking and falling experience.* Manuscript in preparation.

Gesell, A. (1933). Maturation and the patterning of behavior. In C. Murchison (Ed.), *A handbook of child psychology* (2ed., pp. 209–235). Worcester, MA: Clark University Press.

Gesell, A. (1939). Reciprocal interweaving in neuromotor development. *Journal of Comparative Neurology, 70,* 161–180.

Gesell, A. (1946). the ontogenesis of infant behavior. In L. Carmichael (Ed.), *Manual of Child Psychology* (pp. 295–331). New York: Wiley.

Gesell, A. (1952). *Infant development: The embryology of early human behavior.* New York: Harper & Brothers.

Gesell, A., & Ames, L. B. (1940). The ontogenetic organization of prone behavior in human infancy. *The Journal of Genetic Psychology, 56,* 247–263.

Gesell, A., & Thompson, H. (1929). Learning and growth in identical infant twins: An experimental study by the method of co-twin control. *Genetic Psychology Monographs, 6,* 11–124.

Gesell, A., & Thompson, H. (1934). *Infant behavior: Its genesis and growth.* New York: Greenwood Press.

Gibson, E., Dembofsky, C. A., Rubin, S., & Greenspan, J. S. (2000). Infant sleep position practices 2 years into the "Back to Sleep" campaign. *Clinical Pediatrics, 39,* 285–289.

Gibson, E. J. (1988). Exploratory behavior in the development of perceiving, acting, and the

acquisition of knowledge. *Annual Review of Psychology, 39,* 1–41.
Gibson, E. J., & Pick, A. D. (2000). *An ecological approach to perceptual learning and development.* New York: Oxford University Press.
Gibson, E. J., & Walk, R. D. (1960). The "visual cliff." *Scientific American, 202,* 64–71.
Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
Goldfield, E. C. (1989). Transition from rocking to crawling: Postural constraints on infant movement. *Developmental Psychology, 25,* 913–919.
Hadders-Algra, M., & Prechtl, H. F. R. (1992). Developmental course of general movements in early infancy. I. Descriptive analysis of change in form. *Early Human Development, 28,* 201–213.
Haehl, V., Vardaxis, V., & Ulrich, B. (2000). Learning to cruise: Bernstein's theory applied to skill acquisition during infancy. *Human Movement Science, 19,* 685–715.
Harlow, H. F., & Harlow, M. K. (1961). Effects of various mother-infant relationships on rhesus monkey behaviors. In B. M. Foss (Ed.), *Determinants of infant behavior IV.* New York: Wiley.
Held, R., & Hein, A. (1963). Movement-produced stimulation in the development of visually guided behavior. *Journal of comparative and Physiological Psychology, 56,* 872–876.
Higgins, C. I., Campos, J. J., & Kermoian, R. (1996). Effect of self-produced locomotion on infant postural compensation to optic flow. *Developmental Psychology, 32,* 836–841.
Hitchcock, D. F., & Rovee-Collier, C. (1996). The effect of repeated reactivations on memory specificity in infancy. *Journal of Experimental Child Psychology, 62,* 378–400.
Hooker, D. (1952). *The prenatal origins of behavior.* Lawrence, KS: University of Kansas Press.
Hopkins, B., & Ronnqvist, L. (2001). Facilitating postural control: Effects on the reaching behavior of 6-month-old infants. *Developmental Psychobiology, 40,* 168–182.
Hopkins, B., & Westra, T. (1988). Maternal handing and motor development: An intracultural study. *Genetic, Social and General Psychology Monographs, 114,* 379–408.
Hopkins, B., & Westra, T. (1989). Maternal expectations of their infants' development: Some cultural differences. *Developmental Medicine and Child Neurology, 31,* 384–390.
Hopkins, B., & Westra, T. (1990). Motor development, maternal expectations, and the role of handling. *Infant Behavior and Development, 13,* 117–122.
Humphrey, T. (1944). Primitive neurons in the embryonic human central nervous system. *Journal of Comparative Neurology and Psychology, 81,* 1–45.
Johnson, M. H. (1998). the neural basis of cognitive development. In D. Kuhn & R. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology: Vol 2. Cognition, perception, and language* (pp. 1–49). New York: Wiley.
Johnson, M. L., Veldhuis, J. D., & Lampl, M. (1996). Is growth saltatory? The usefulness and limitations of frequency distributions in analyzing pusatile data. *Endocrinology, 137,* 5197–5204.
Jolliffe, D. (2004). Extent of overweight among US children and adolescents from 1971 to 2000. *Pediatric Focus, 28,* 4–9.
Jouen, F., Lepecq, J. C., Gapenne, O., & Bertenthal, B. I. (2000). Optic flow sensitivity in neonates. *Infant Behavior and Development, 23,* 271–284.
Kalnins, I. V., & Bruner, J. S. (1973). The coordination of visual observation and instrumental behavior in early infancy. *Perception, 2,* 307–314.
Karasik, L. B., Lobo, S. A., Zack, E. A., Dimitropoulou, K. A., Tamis-LeMonda, C. S., & Adolph,

K. E. (2004, May). *Does mother know best? Infants' use of mothers' unsolicited advice in a potentially risky motor task.* Poster presented at the International Conference on Infant Studies, Chicago, IL.

Katona, F. (1989). Clinical neuro-developmental diagnosis and treatment. In P. R. Zelazo & R. G. Barr (Eds.), *Challenges to developmental paradigms: Implications for theory, assessment and treatment.* Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Kipling, R. (1952). *Just so stories.* Garden City, NY: Garden City Books.

K ler, W. (1925). *The mentality of apes.* London: Kegan.

Kuno, A., Akiyama, M., Yamashiro, C., Tanaka, H., Yanagihara, T., & Hata, T. (2001). Three-dimensional sonographic assessment of fetal behavior in the early second trimester of pregnancy. *Journal of Ultrasound Medicine, 20,* 1271-1275.

Lampl, M. (1993). Saltatory growth in infancy. *American Journal of Human Biology, 5,* 641-652.

Lampl, M., & Johnson, M. L. (1993). A case study in daily growth during adolescence: A single spurt or changes in the dynamics of saltatory growth? *Annals of Human Biology, 20,* 595-603.

Lampl, M., Johnson, M. L., & Frongillo, E. A. (2001). Mixed distribution analysis identifies saltation and stasis growth. *Annals of Human Biology, 28,* 403-411.

Lampl, M., & Veldhuis, J. D. (1992). Saltation and stasis: A model of human growth. *Science, 258,* 801-803.

Ledebt, A. (2000). Changes in arm posture during the early acquisition of walking. *Infant Behavior and Development, 23,* 79-89.

Lee, D. N., & Aronson, E. (1974). Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception and Psychophysics, 15,* 529-532.

Leeuwen, L. V., Smitsman, A., & Leeuwen, C. V. (1994). Affordances, perceptual complexity, and the development of tool use. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 20,* 174-191.

Leo, A. J., Chiu, J., & Adolph, K. E. (2000, July). *Temporal and functional relationships of crawling, cruising, and walking.* Poster presented at the International Conference on Infant Studies, Brighton, England.

Lewin, K. (1946). Behavior and development as a function of the total situation. In L. Carmichael (Ed.), *Manual of child psychology* (pp. 791-844). New York: Wiley.

Lockman, J. J. (1984). The development of detour ability during infancy. *Child Development, 55,* 482-491.

Lockman, J. J. (2000). A perception-action perspective on tool use development. *Child Development, 71,* 137-144.

Lockman, J. J., & Adams, C. D. (2001). Going around transparent and grid-like barriers: Detour ability as a perception-action skill. *Development Science, 4,* 463-471.

Lockman, J. J., Ashmead, D. H., & Bushnell, E. W. (1984). The development of anticipatory hand orientation during infancy. *Journal of Experimental Child Psychology, 37,* 176-186.

McCarty, M. E., Clifton, R. K., Ashmead, D. H., Lee, P., & Goubet, N. (2001). How infants use vision for grasping objects. *Child Development, 72,* 973-987.

McCarty, M. E., Clifton, R. K., & Collard, R. (1999). Problem solving in infancy: The emergence of an action plan. *Development Psychology, 35,* 1091-1101.

McCarty, M. E., Clifton, R. K., & Collard, R. (2001). The beginnings of tool use by infants and toddlers. *Infancy, 2,* 885-893.

McCollum, G., & Leen, T. K. (1989). Form and exploration of mechanical stability limits in erect stance. *Journal of Motor Behavior, 21*, 225–244.

McDonnell, P. (1974). The development of visually guided reaching. *Perception and Psychophysics, 19*, 181–185.

McGraw, M. B. (1932). From reflex to muscular control in the assumption of an erect posture and ambulation in the human infant. *Child Development, 3*, 291–297.

McGraw, M. B. (1935). *Growth: A study of Johnny and Jimmy*. New York: D. Appleton-Century-Crofts.

McGraw, M. B. (1940). Neuromuscular development of the human infant as exemplified in the achievement of erect locomotion. *Journal of Pediatrics, 17*, 747–771.

McGraw, M. B. (1945). *The neuromuscular maturation of the human infant*. New York: Hafner Publishing Company.

McGraw, M. B., & Breeze, K. W. (1941). Quantitative studies in the development of erect locomotion. *Child Development, 12*, 267–303.

McKenzie, B. E., Skouteris, H., Day, R. H., Hartman, B., & Yonas, A. (1993). Effective action by infants to contact objects by reaching and leaning. *Child Development, 64*, 415–429.

Metcalfe, J. S., & Clark, J. E. (2000). Sensory information affords exploration of posture in newly walking infants and toddlers. *Infant Behavior and Development, 23*, 391–405.

Moessinger, A. C. (1983). Fetal akinesia deformation sequence: An animal model. *Pediatrics, 72*, 857–863.

Moore, K. L., & Persaud, K. L. (1993). *The developing human: Clinically oriented embryology*. Philadelphia: W. B. Saunders Company.

Munn, N. L. (1965). *The evolution and growth of human behavior*. Boston: Houghton Mifflin Company.

Needham, A., Barrett, T., & Peterman, K. (2002). A pick me up for infants' exploratory skills: Early simulated experiences reaching for objects using 'sticky' mittens enhances young infants' exploration skill. *Infant Behavior and Development, 25*, 279–295.

Nelson, R. C., & Osterhoudt, R. G. (1971). Effects of altered sloped and speed on the biomechanics of running. *Medicine and Sport, 6*, 220–224.

Newell, K. M., Scully, D. M., McDonald, P. V., & Baillargeon, R. (1989). Task constraints and infant grip configurations. *Developmental Psychobiology, 22*, 817–832.

Nilsson, L., & Hamberger, L. (1990). *A child is born*. New York: Delacorte Press.

Norris, B., & Smith, S. (2002). *Research into the mouthing behaviour of children up to 5 years old*. London: Consumer and Competition Policy Directorate.

Ounsted, M., & Moar, V. A. (1986). Proportionality changes in the first year of life: The influence of weight for gestational age at birth. *Acta Paediatrics Scandinavia, 75*, 811–818.

Palmer, C. E. (1944). Studies of the center of gravity in the human body. *Child Development, 15*, 99–163.

Palmer, C. F. (1989). The discriminating nature of infants' exploratory actions. *Developmental Psychology, 25*, 885–893.

Peiper, A. (1963). *Cerebral function in infancy and childhood*. New York: Consultants Bureau.

Perris, E. E., & Clifton, R. K. (1988). Reaching in the dark toward sound as a measure of auditory localization in infants. *Infant Behavior and Development, 11*, 473–491.

Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York: Norton.

Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Free Press.

Poore, T., Campos, J. J., Anderson, D. I., Anderson, D., & Uchiyama, I. (2004, May). *Does the moving room elicit emotional responses in locomotor-experienced infants?* Paper presented at the International Conference on Infant Studies, Chicago, IL.

Prechtl, H. F. R. (1985). Ultrasound studies of human fetal behaviour. *Early Human Development, 12,* 91-98.

Prechtl, H. F. R. (1986). Prenatal motor development. In M. G. Wade & H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (pp. 53-64). Dordrecht, The Netherlands: Nijhoff.

Prechtl, H. F. R., & Hopkins, B. (1986). Developmental transformations of spontaneous movements in early infancy. *Early Human Development, 14,* 233-238.

Rader, N., Bausano, M., & Richards, J. E. (1980). On the nature of the visual-cliff-avoidance response in human infants. *Child Development, 51,* 61-68.

Ratner, A. (2002). *Fetal development,* from http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/002398.htm

Reed, E. S. (1982). An outline of a theory of action systems. *Journal of Motor Behavior, 14,* 98-134.

Reilly, J. J., & Dorosty, A. R. (1999). Epidemic of obesity in UK children. *The Lancet, 354,* 1874-1875.

Reilly, J. J., Jackson, D. M., Montgomery, C., Kelly, L. A., Slater, C., Grant, S., et al. (2004). Total energy expenditure and physical activity in young Scottish children: Mixed longitudinal study. *The Lancet, 363,* 211-212.

Riccio, G. E., & Stoffregen, T. A. (1988). Affordances as constraints on the control of stance. *Human Movement Science, 7,* 265-300.

Richards, J. E., & Rader, N. (1981). Crawling-onset age predicts visual cliff avoidance in infants. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 7,* 382-387.

Richards, J. E., & Rader, N. (1983). Affective, behavioral, and avoidance responses on the visual cliff: Effects of crawling onset age, crawling experience, and testing age. *Psychophysiology, 20,* 633-642.

Robertson, S. S. (1990). Temporal organization in fetal and newborn movement. In H. Bloch & B. I. Bertenthal (Eds.), *Sensory-motor organizations and development in infancy and early childhood* (pp. 105-122). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.

Robinson, S. R., & Kleven, G. A. (in press). Learning to move before birth. In B. Hopkins & S. Johnson (Eds.), *Advances in Infancy Research* (Vol. 2).

Rochat, P. (1989). Object manipulation and exploration in 2- to 5-month-old infants. *Developmental Psychology, 25,* 871-884.

Rochat, P. (1992). Self-sitting and reaching in 5- to 8-month-old infants: The impact of posture and its development on early eye-hand coordination. *Journal of Motor Behavior, 24,* 210-220.

Rochat, P., & Goubet, N. (1995). Development of sitting and reaching in 5- to 6-month-old infants. *Infant Behavior and Development, 18,* 53-68.

Rochat, P., & Senders, S. J. (1991). Active touch in infancy: Action systems in development. In M. J. S. Weiss & P. R. Zelazo (Eds.), *Newborn attention: Biological constraints and the influence of experience* (pp. 412-442). Norwood NJ: Ablex.

Roncs, A. E., & Alberts, J. R. (1994). Sensory stimuli associated with gestation and parturition

evoke cardiac and behavioral responses in fetal rats. *Psychobiology, 22,* 270-282.

Roncs, A. E., & Alberts, J. R. (1995). Maternal contributions to fetal experience and the transition from prenatal to postnatal life. In J. P. Lecanuet, W. P., Fifer, N. A. Krasnegor, & W. P. Smotherman (Eds.), *Fetal development: A psychobiological perspective*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Roodenburg, P. J., Wladimiroff, J. W., van Es, A., & Prechtl, H. F. R. (1991). Classification and quantitative aspects of fetal movements during the second half of normal pregnancy. *Early Human Development, 25,* 19-35.

Rovee-Collier, C. (1999). The development of infant memory. *Current Directions in Psychological Science, 8,* 80-85.

Rovee-Collier, C. K., & Gekoski, M. (1979). The economics of infancy: A review of conjugate reinforcement. In H. W. Reese & L. P. Lipsitt (Eds.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 13, pp. 195-255). New York: Academic Press.

Ruina, A. (2005). Passive dynamic walking, from http://tam.cornell.edu/~runia/hplab/pdw.html#videos

Schmuckler, M. A. (1997). Children's postural sway in response to low- and high-frequency visual information for oscillation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 23,* 528-545.

Schmuckler, M. A., & Gibson, E. J. (1989). The effect of imposed optical flow on guided locomotion in young walkers. *British Journal of Developmental Psychology, 7,* 193-206.

Schmuckler, M. A. (1993). Perception-action coupling in infancy. In G. J. P. Savelsburgh (Ed.), *The development of coordination in infancy* (pp. 137-173). Amsterdam: Elsevier Science.

Selverston, A. I. (1980). Are central pattern generators understandable? *The Behavioral and Brain Sciences, 3,* 535-571.

Shirley, M. M. (1931). *The first two years: A study of twenty-five babies*. Westport, CT: Greenwood Press.

Smart, L., James, J. R., Stoffregen, T. A., & Bardy, B. G. (2002). Visually induced motion sickness predicted by postural instability. *Human Factors, 44,* 451-465.

Smith, S. L., Gerhardt, K. J., Griffiths, S. K., Huang, X., & Abrams, R. M. (2003). Intelligibility of sentences recorded from the uterus of a pregnant ewe and from fetal inner ear. *Audiology and Neuro-Otology, 8,* 347-353.

Smotherman, W. P., & Robinson, S. R. (1991). Accessibility of the rat fetus for psychobiological investigation. In H. Shair, G. A. Barr, & M. A. Hofer (Eds.), *Developmental psychobiology: New methods and changing concepts* (pp. 148-166). New York: Oxford University Press.

Smotherman, W. P., & Robinson, S. R. (1996). The development of behavior before birth. *Developmental Psychology, 32,* 425-434.

Sotsky, R. B., Garciaguirre, J. S., & Adolph, K. E. (2004, May). *New York infant walking tours.* Poster presented at the International Conference on Infant Studies, Chicago, IL.

Sparling, J. W., van Tol, J., & Chescheir, N. C. (1999). Fetal and neonatal hand movement. *Physical Therapy, 79,* 24-39.

Spencer, J. P., Vereijken, B., Diedrich, F. J., & Thelen, E. (2000). Posture and the emergence of manual skills. *Developmental Science, 3,* 216-233.

Spitz, R. (1965). *The first year of life*. New York: International Universities Press.

Steenbergen, B., van der Kamp, J., Smitsman, A., & Carson, R. G. (1997). Spoon-handling in two- to four-year-old children. *Ecological Psychology, 9,* 113-129.

Stoffregen, T. A. (1985). Flow structure versus retinal location in the optical control of stance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and performance, 11,* 554-565.

Stoffregen, T. A., Adolph, K. E., Thelen, E., Gorday, K. M., & Sheng, Y. (1997). Toddlers' postural adaptations to different support surfaces. *Motor Control, 1,* 119-137.

Stoffregen, T. A., Schmuckler, M. A., & Gibson, E. J. (1987). Use of central and peripheral optical flow in stance and locomotion in young walkers. *Perception, 16,* 113-119.

Super, C. M. (1976). Environmental effects on motor development: The case of 'African infant precocity.' *Developmental Medicine and Child Neurology, 18,* 561-567.

Ten Hof, J., Nijhuis, I. J., Mulder, E. J., Nijuis, J. G., Narayan, H., Taylor, D. J., et al. (2002). Longitudinal study of fetal body movements: Nomograms, intrafetal consistency, and relationship with episodes of heart rate patterns A and B. *Pediatric Research, 52,* 568-575.

Thatcher, R. W., Lyon, G. R., Rumsey, J., & Krasnegor, J. (1996). *Developmental neuro-imaging.* San Diego, CA: Academic Press.

Thelen, E. (1979). Rhythmical stereotypies in normal human infants. *Animal Behavior, 27,* 699-715.

Thelen, E. (1981a). Kicking, rocking, and waving: Contextual analysis of rhythmical stereotypies in normal human infants. *Animal Behavior, 29,* 3-11.

Thelen, E. (1981b). Rhythmical behavior in infancy: An ethological perspective. *Developmental Psychology, 17,* 237-257.

Thelen, E. (1994). Three-month-old infants can learn task-specific patterns of interlimb coordination. *Psychological Science, 5,* 280-285.

Thelen, E., & Adolph, K. E. (1994). Arnold L. Gesell: The paradox of nature and nurture. In R. D. Parke, P. A. Ornstein, J. J. Rieser, & C. Zahn-Waxler (Eds.), *A century of developmental psychology.* Washington, DC: American Psychological Association.

Thelen, E., Bril, B., & Breniere, Y. (1992). The emergence of heel strike in newly walking infants: A dynamic interpretation. In M. Woollacott & F. Horak (Eds.), *Posture and gait: Control mechanisms* (Vol. 2, pp. 334-337). Eugene, OR: University of Oregon Books.

Thelen, E., & Corbetta, D. (1994). Exploration and selection in the early acquisition of skill. *International Review of Neurobiology, 37,* 75-102.

Thelen, E., Corbetta, D., Kamm, K., Spencer, J. P., Schneider, K., & Zernicke, R. F. (1993). The transition to reaching: Mapping intention and intrinsic dynamics. *Child Development, 64,* 1058-1098.

Thelen, E., Corbetta, D., & Spencer, J. P. (1996). Development of reaching during the first year: Role of movement speed. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 22,* 1059-1076.

Thelen, E., & Fisher, D. M. (1982). Newborn stepping: An explanation for a "disappearing reflex." *Developmental Psychology, 18,* 760-775.

Thelen, E., & Fisher, D. M. (1983). From spontaneous to instrumental behavior: Kinematic analysis of movement changes during very early learning. *Child Development, 54,* 129-140.

Thelen, E., Fisher, D. M., & Ridley-Johnson, R. (1984). The relationship between physical growth and a newborn reflex. *Infant Behavior and Development, 7,* 479-493.

Thelen, E., Fisher, D. M., Ridley-Johnson, R., & Griffin, N. J. (1982). Effects of body build and arousal on newborn infant stepping. *Developmental Psychobiology, 15,* 447-453.

Thelen, E., & Smith, L. B. (1994). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action.* Cambridge, MA: MIT Press.

Thelen, E., & Ulrich, B. D. (1991). Hidden skills: A dynamic systems analysis of treadmill stepping during the first year. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 56* (1, Serial No. 223).

Thelen, E., Ulrich, B. D., & Niles, D. (1987). Bilateral coordination in human infants: Stepping on a split-belt treadmill. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 13,* 405–410.

Trettien, A. W. (1900). Creeping and walking. *The American Journal of Psychology, 12,* 1–57.

Trost, S. G., Sirard, J. R., Dowda, M., Pfeiffer, K. A., & Pate, R. R. (2003). Physical activity in overweight and nonoverweight preschool children. *International Journal of Obesity, 27,* 834–839.

Ulrich, B., Thelen, E., & Niles, D. (1990). Perceptual determinants of action: Stair-climbing choices of infants and toddlers. In J. E. Clark & J. H. Humphrey (Eds.), *Advances in motor development research* (Vol. 3, pp. 1–15). New York: AMS Publishers.

Valsiner, J., & Mackie, C. (1985). Toddlers at home: Canalization of climbing skills through culturally organized physical environments. In T. Garling & J. Valsiner (Eds.), *Children within environments: Toward a psychology of accident prevention*. New York: Plenum.

van der Meer, A. L. H., van der Weel, F. R., & Lee, D. N. (1995). The functional significance of arm movements in neonates. *Science, 267,* 693–695.

Vandewater, E. A., Shim, M., & Caplovitz, A. G. (2004). Linking obesity and activity level with children's television and video game use. *Journal of Adolescence, 27,* 71–85.

Vereijken, B., & Adolph, K. E. (1998). Transitions in the development of locomotion. In G. J. P. Savelsbergh, H. V. D. Maas & P. C. L. V. Geert (Eds.), *Non-linear analyses of developmental processes* (pp. 137–149). Amsterdam: Elsevier.

Vereijken, B., & Thelen, E. (1997). Training infant treadmill stepping: The role of individual pattern stability. *Journal of Developmental Psychobiology, 30,* 89–102.

Vereijken, B., & Waardenburg, M. (1996, April). *Changing patterns of interlimb coordination from supported to independent walking.* Poster presented at the International Conference on Infant Studies, Providence, RI.

von Hofsten, C. (1979). Development of visually directed reaching: The approach phase. *Journal of Human Movement Studies, 30,* 369–382.

von Hofsten, C. (1980). Predictive reaching for moving objects by human infants. *Journal of Experimental Child Psychology, 30,* 369–382.

von Hofsten, C. (1982). Eye-hand coordination in the newborn. *Developmental Psychology, 18,* 450–461.

von Hofsten, C. (1983). Catching skills in infancy. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 9,* 75–85.

von Hofsten, C. (1991). Structuring of early reaching movements: A longitudinal study. *Journal of Motor Behavior, 23,* 280–292.

von Hofsten, C. (1993). Prospective control: A basic aspect of action development. *Human Development, 36,* 253–270.

von Hofsten, C., & Fazel-Zandy, S. (1984). Development of visually guided hand orientation in reaching. *Journal of Experimental Child Psychology, 38,* 208–219.

von Hofsten, C., & Lindhagen, K. (1979). Observations on the development of reaching for moving objects. *Journal of Experimental Child Psychology, 28,* 158–173.

von Hofsten, C., & Ronnqvist, L. (1993). The structuring of neonatal arm movements. *Child*

Development, 64, 1046–1057.

Walk, R. D. (1966). The development of depth perception in animals and human infants. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 31*(5, Serial No. 107), 82–108.

Walk, R. D., & Gibson, E. J. (1961). A comparative and analytical study of visual depth perception. *Psychological Monographs, 75* (15, Whole No. 519).

White, B., Castle, P., & Held, R. (1964). Observations on the development of visually directed reaching. *Child Development, 35*, 346–364.

Willinger, M., Ko, C.–W., Hoffman, H. J., Kessler, R. C., & Corwin, M. J. (2000). Factors associated with caregivers' choice of infant sleep position, 1994–1998. *Journal of the American Medical Association, 283*, 2135–2142.

Witherington, D. C. (in press). The development of prospective grasping control between 5 and 7 months: A longitudinal study. *Infancy*.

Woollacott, M. H., Debu, B., & Mowatt, M. (1987). Neuromuscular control of posture in the infant and child: Is vision dominant? *Journal of Motor Behavior, 19*, 167–186.

Woollacott, M. H., Shumway–Cook, A., & Williams, H. G. (1989). The development of posture and balance control in children. In M. H. Woollacott & A. Shumway–Cook (Eds.), *Development of posture and gait across the life span* (pp. 77–96). Columbia: University of South Carolina Press.

Yanez, B. R., Domakonda, K. V., Gill–Alvarez, S. V., Adolph, K. E., & Vereijken, B. (2004, May). *Automaticity and plasticity in infant and adult walking*. Poster presented at the International Conference on Infant Studies, Chicago, IL.

Yonas, A., & Granrud, C. E. (1985). Reaching as a measure of infants' spatial perception. In G. Gottlieb & N. A. Krasnegor (Eds.), *Measurement of audition and vision in the first year of postnatal life* (pp. 301–322). Norwood, NJ: Ablex.

Yonas, A., & Hartman, B. (1993). Perceiving the affordance of contact in four– and five–month–old infants. *Child Development, 64*, 298–308.

Zelazo, N. A., Zelazo, P. R., Cohen, K. M., & Zelazo, P. D. (1993). Specificity of practice effects on elementary neuromotor patterns. *Developmental Psychology, 29*, 686–691.

Zelazo, P. R. (1976). From reflexive ton instrumental behavior. In L. P. Lipsitt (Ed.), *Developmental psychobiology: The significance of infancy*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Zelazo, P. R. (1998). McGraw and the development of unaided walking. *Development Review, 18*, 449–471.

Zelazo, P. R., Weiss, M. J., & Leonard, E. (1989). The development of unaided walking: The acquisition of higher order control. In P. R. Zelazo & R. G. Barr (Eds.), *Challenges to developmental paradigms*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Zelazo, P. R., Zelazo, N. A., & Kolb, S. (1972). "Walking" in the enwborn. *Science, 176*, 314–315.