

## 감각처리 장애에 대한 신경생리학적 증거들

김은영

연세대학교 심리학과

### 국문초록

감각통합은 이론에서 출발하여 현재 치료사들이 아동의 문제를 찾고 중재하는데 유용한 틀을 제공한다. 이전까지 대부분의 감각통합 연구들은 감각처리 장애아동들이 나타내는 행동을 측정하는 경험적 증거들을 보고하였다. 최근에 감각처리 장애 진단에 대한 객관적 증거 마련을 위해서 신경생리학적 연구 결과가 축적되기 시작하였다. 감각처리 장애에 대한 신경생리학적 근거를 찾는 연구들은 전기피부 활동, 미주신경 톤, 뇌파를 사용하여 감각처리 장애아동과 전형적으로 발달하는 또래 아동들 간 신경생리학적 반응이 다르다는 결과를 보고하였을 뿐만 아니라 감각처리 어려움과 관련한 행동 특징이 신경생리학적 지표에서도 반영됨을 발견하였다. 앞으로 연구에서는 감각통합 치료 효과를 지지하는 신경생리학적 증거도 얻을 수 있을 것이라 기대해 본다.

주제어: 감각처리 장애, 감각통합, 뇌전위, 자율신경계

### I. 서론

감각통합 이론에서 감각통합 기능장애 아동의 부적응적 행동은 뇌로 입력되는 감각 정보들을 받아들이고 조절하고 조직화하고 해석하도록 하는 신경학적 처리 과정의 어려움과 관련된 것으로 가정된다 (Ayres, 1972). 따라서 감각통합 치료적 접근은 특정한 뇌 수준에서 처리되는 감각적 자극을 제공하여 뇌가 통합적으로 기능하는 것을 돕는데 목적을 둔다

(Bundy & Murray, 2002).

감각통합은 이론이다(Pollock, 2009). 어떤 아이들은 새로운 기술을 배우기 힘들고, 주의를 조절하기 어려운 것과 같이 행동적으로 관찰되는 현상을 설명할 수 있도록 Ayres (1972)는 신경학적 처리에 근거한 일련의 가정들로 감각통합 이론을 구성하였다. 감각통합 이론이 제시된 이후로 감각통합 이론과 치료 효과를 뒷받침하는 행동적인 증거들은 계속해서 축적되어 왔지만(Case-Smith & Bryan, 1999), 보다 객

관적이고 직접적인 증거들은 부족하였다(Miller, 2003). 하지만, 1990년대 후반부터 감각통합 연구자들은 피부전기 반응(Electrodermal response; EDR)을 활용하여 감각통합 이론에 대한 신경생리학적 증거를 마련하려는 노력을 시작으로 현재는 사건관련 뇌전위(Event-Related Potential; ERP)를 측정함으로써 신경과학 연구방법을 감각통합 연구에 접목하고 있다(Brett-Green, Miller, Schoen, & Nielsen, 2010; Davies & Gavin, 2007; Davies, Chang, & Gavin, 2009; Davies, Chang, & Gavin, 2010; Miller et al., 1999; Parush, Sohmer, Steinberg, & Kaitz, 2007).

감각통합에 대한 신경생리학적 연구들은 감각통합에 어려움을 갖는 아동들과 전형적으로 발달하는 아동들 간에 감각자극에 대한 반응 차이를 알아본 연구가 주를 이루고 있다(Gavin et al., 2011). 이러한 연구들은 감각통합 장애에 대한 객관적 증거를 마련하고 감각통합장애의 진단을 유용하게 하는 신경생리학적 지표를 찾고자 하였다.

감각통합 기능장애와 관련한 신경생리학적 증거를 찾는데 기여하고 있는 대표적 학자 Miller는 ‘감각통합 기능장애’라는 용어 대신에 진단적 용어로 ‘감각처리 장애(sensory processing disorder)’를 제안하였다(Miller, Anzalone, Lane, Cermak, & Osten, 2007). 감각통합(sensory integration)이라는 용어가 작업치료 분야에서는 감각을 여과하고 조직화하는 과정을 포함하는 넓은 개념에서 사용되는 것과는 다르게 신경과학 분야에서 감각통합은 두 개 이상의 감각 조합을 의미하는 협의적인 용어이다(Calvert, Spence, & Stein, 2004; Davies & Gavin, 2007). 본 연구에서는 용어로부터 오는 혼돈을 최소화하고 감각처리 장애에 대한 신경생리학적 연구들에서 사용하는 용어에 상응되게 감각통합, 감각통합 기능장애보다는 감각처리(sensory processing), 감각처리 장애(sensory processing disorder) 용어를 위주로 사용할 것이다.

앞으로 이어지는 본문에서 과거 15년 동안에 이루어진 감각처리 장애에 대한 신경생리학적 연구들을 고찰함으로써 감각처리 장애와 관련한 연구에서 활용되는 신경생리학적 연구 방법들 그리고 연구결과에 대한 함의점을 소개하고자 한다.

## II. 본 론

### 1. 감각처리 장애아동의 교감신경계 반응

자율신경계는 교감신경계와 부교감신경계 간 길항 작용에 의해서 감각, 운동, 내장기관, 신경내분비 기능을 조절하여 개인이 환경 변화에 적응하도록 한다. 교감신경계는 투쟁 도주 반응(fight or flight response)과 같이 사건에 즉각적인 반응을 조절하는 반면, 부교감 신경계는 항상성 유지, 자기조절, 스트레스로부터 회복을 위해서 내장과 신경내분비 시스템을 조절한다(Nance & Hoy, 1996). 외부 감각자극에 극단적으로 반응하고 항상성 회복에 실패를 보이는 아동, 즉 감각 조절에 어려움이 있는 아동은 자율신경계에 기능장애가 있을 것으로 여겨진다(Schaff, Miller, Seawell, & O'Keefe, 2003).

감각자극에 대한 교감신경계 반응은 피부전기 활동(Electrodermal activity; EDA)으로 측정할 수 있다(Miller et al., 1999). 피부전기 활동이 증가하는 것은 에크린 땀샘의 활동에 따른 피부의 전기적 전도도 증가에 의한 것이다. 땀샘은 교감신경계의 콜리너지 섬유(cholinergic fibers)에 의해서 지배를 받으므로 피부전기 활동은 교감신경계 활동을 간접적으로 반영한다. 따라서 피부전기 활동은 교감신경계가 반응하는 사건들, 즉 갑작스럽고 위협적인 자극, 공격적이거나 방어적인 정서 사건이 있을 때 변화한다(Fowles, 1986). 피부전기 활동은 두 가지 수치로 표현할 수 있는데, 피부전기의 지속적인 변화를 측정하는 피부전도수준(Skin Conductance Level; SCL)과

특정한 자극에 의해서 유발되는 피부전기 반응 (Electrodermal response; EDR)이 그것이다. 자극이 없는 상황에서 피부 전도도 변화는 각성 상태를 나타내는 반면, 감각자극이 있는 상황에서 피부전기 반응은 감각자극을 지각한 정도와 이에 대한 정서적인 처리를 반영하는 것으로 여겨진다(Schoen, Miller, Brett-Green, & Nielsen, 2009).

자극에 대한 피부전기 반응을 활용한 선도적인 연구는 감각조절 장애아동과(McIntosh, Miller, Shyu, & Hagerman, 1999) 감각자극에 강한 반응을 나타내는 취약 X 증후군(fragile X syndrome) 아동들을 대상으로 진행한 연구이다(Miller et al., 1999). McIntosh, Miller, Shyu와 Hagerman (1999)는 감각조절 장애아동들이 나타내는 행동적인 특징들이 통제된 실험실 패러다임에서 획득된 생리학적 자료로 증명될 수 있는지를 알아보았다. 실험 상황에서 통제된 감각자극을 제공하기 위해서 연구자는 감각 도전 프로토콜(sensory challenge protocol)을 고안하였고 이 프로토콜을 적용하면서 피부전기 반응을 기록하였다. 감각 도전 프로토콜은 후각(병 안 노루발 풀향), 청각(90 dB 사이렌), 시각(20-watt 스토로보 빛 10Hz), 촉각(깃털이 얼굴을 스침), 전정감각(의자를 뒤로 30도 천천히 기울임) 다섯 가지 감각으로 구성된다. 각 감각 종류는 3초 동안 16-19초 사이 간격을 두고 10회씩 제공이 되었다. 감각조절 장애아동 중 일부는 감각자극이 제시될 때 피부전기 반응을 나타내지 않았는데, 이는 감각조절 장애아동 중 일부가 외부 자극에 매우 낮은 반응을 보이는 현상과 부합한다(Royeen & Lane, 1991). 피부전기 반응을 나타내지 않은 아동을 제외한 감각조절 장애아동은 전형적으로 발달하는 아동에 비해서 크고 잦은 피부전기 반응을 나타내었는데, 이는 감각조절 장애아동이 감각 자극에 대해서 비전형적인 교감신경계 반응을 하는 것을 가리킨다. 또한 피부전기 반응의 증가 정도는 부모 보고에 의한 감각 프로파일(Sensory Profile; SP)(Dunn, 1994)로 측정된 행동과 관련이 있었다.

이러한 결과를 종합하여 McIntosh, Miller, Shyu와 Hagerman(1999)는 감각조절 장애아동들이 일상에서 나타내는 적응의 어려움이 치중된 신경생리 반응들과 관련이 있음을 제한한다.

취약 X 증후군 아동들은 감각에 과반응을 하는 대표적인 진단 군이다. 취약 X 증후군 아동들을 대상으로 Miller 등(1999)은 감각 도전 프로토콜을 적용하는 동안 피부전기 반응을 측정하였다. 이 연구에서 취약 X 증후군 아동은 전형적으로 발달하는 아동에 비해서 감각자극에 대해 더 큰 피부전기 반응, 한 자극에 대해서 더 빈번한 피부전기 반응, 더 많은 자극 시행에서 피부전기 반응을 나타내었다. 이러한 신경생리 반응 결과는 취약 X 증후군 아동들이 감각자극에 대해서 습관화(habituation)되지 않아 나타내는 방어적인 행동 반응과 연관되어 있다고 생각해 볼 수 있다.

이 연구는 McIntosh, Miller, Shyu와 Hagerman (1999) 연구와 함께 통제된 실험 상황에서 신경생리학적 측정치로 감각처리 장애를 이해하기 시작했다는 점에서 큰 의미를 갖는다.

Miller 등(1999)의 연구를 확장하여 Hagerman 등 (2002)은 주의력결핍 과잉행동장애(Attentional Deficit Hyperactivity Disorder; ADHD)를 갖는 취약 X 증후군 아동들이 흥분제(methylphenidate)를 복용한 후 감각자극에 대한 피부전기 반응 변화를 나타내는지 알아보았다. ADHD를 갖는 취약 X 증후군 아동과 ADHD를 갖는 발달지연 아동 두 집단을 대상으로 약물을 적용 전에 감각자극에 대한 피부전기 반응을 기저선으로 측정하였다. 두 집단 아동들이 약물을 복용한 한 시간 후에 다시 감각자극에 대한 피부전기 반응을 측정하였다. 그 결과, ADHD를 갖는 취약 X 증후군 아동들에게서는 감각자극에 대한 피부전기 반응이 약물 복용 전후 다르게 나타난 반면(예, 피부전기 반응 진폭 감소), ADHD를 갖는 발달지연 아동들에게서는 감각자극에 대한 피부전기 반응이 약물에 따라 유의미하게 변화하지 않았다. 이러한 결과에 대해서 연구자는 ADHD를 갖는 취약 X 증후군 아

동들이 흥분제 복용 후 증진된 억제 체계로 인해 감각자극에 감소된 피부전기 반응 패턴을 나타냈다고 해석하였다. 왜 ADHD를 갖는 취약 X 증후군 아동들에게만 이런 효과가 선택적으로 관찰되었을까? 이에 대해서 연구자는 취약 X 증후군 아동이 비교 집단보다 도파민 결핍 정도가 더 크기 때문에 약물 효과가 두드러진 것이라고 조심스럽게 제안한다. 이 연구는 다양한 해석 가능성을 내포하는 결과를 보고하였다. 하지만 감각 처리에 대한 약물 효과를 피부전기 반응을 사용하여 증명하고자 한 시도는 감각통합 치료 효과를 객관적으로 증명하는 앞으로 연구에 토대가 되었다는 점에서 주목할 만하다.

감각 도전 프로토콜을 아동에게 적용하는 동안 생리 반응 측정치로 피부전기 반응을 알아본 연구는 대상 범위를 점차 확장시켜 나갔다. 취약 X 증후군 아동들을 시작으로 ADHD 아동, 자폐 범주성 장애아동(Autism Spectrum Disorder; ASD)에게서도 감각 처리에 대한 비전형적 반응이 감각자극에 대한 피부전기 반응을 통해서도 나타남이 밝혀졌다(Mangoet et al., 2001; Schoen, Miller, Brett-Green, & Hepburn, 2008).

감각 도전 프로토콜을 적용하는 동안 피부전기 활동을 측정하는 연구들은 감각처리 장애에 대한 신경생리 학적인 지표로써 피부전기 활동의 입지를 마련한 것을 시작으로 최근에는 감각처리 장애 문제를 가지고 있는 대상들 간 차이점과 공통점을 찾고자 한다 (Miller, Nielsen, & Schoen., 2012; Schoen, Miller, Brett-Green, & Hepburn, 2008; Schoen, Miller, Brett-Green, & Nielsen 2009). 한 예로, ASD 아동이 나타내는 비전형적인 감각 행동은 다른 장애군이 보이는 감각 행동과 구분되는 특징을 나타낸다. Schoen, Miller, Brett-Green과 Nielsen (2009)은 ASD 아동과 감각조절 장애아동 간 행동적 차이와 생리학적 차이를 각각 단축 감각 프로파일(Short Sensory Profile)과 피부전기 활동으로 측정하였다. 행동 측정에서 ASD 아동은 감각조절 장애아

동보다 맛/냄새에 과한 반응을 보이지만 전정 감각과 고유수용성 감각에 대해서는 과소 반응을 나타내었다. 하지만 피부전기 활동에 있어서 ASD 아동은 감각조절 장애아동보다 전체적으로 낮은 반응성과 낮은 각성 상태를 나타내었다. 감각조절 장애아동은 ASD 아동보다 감각추구 반응이 높다고 보고되었고, 피부 전기 활동에 있어서 자극에 대한 높은 반응을 나타내었다. 이 연구에서 단축 감각 프로파일 정보와 피부 전기 활동 간 불일치가 보고되었는데, 이에 대한 해답을 찾기 위해서는 향후에 추가적인 연구가 필요하다.

앞으로 감각자극에 대한 신경생리 지표들이 감각처리 장애아동을 분류하는데 기여할 것으로 기대된다. 유사한 부적응적 행동이더라도 이에 근거하는 신경학적 기전이 다른 경우 신경생리 측정을 사용함으로써 우리는 아동 문제를 보다 정확하게 이해할 수 있을 것이다.

## 2. 감각처리 장애아동의 부교감신경계 반응

자율신경계는 교감신경계와 부교감신경계 간 길항 작용으로 기능하므로 감각자극에 대한 교감신경계 반응(전기피부 반응)은 자율신경계 기능의 일부 측면만을 반영한다. 감각자극에 대한 부교감신경계 활동 측정 역시 요구되는데, 이러한 필요에 잘 부합하는 생리적 활동은 미주신경 톤(vagal tone)이다. 심장으로 미주신경 입력은 심박동 수를 억제하는 역할을 하는데, 미주신경 입력은 호흡주기에 의해서 규칙적으로 변하게 된다. 흡기에는 미주신경 입력이 억제되어 심박수가 증가하는 반면, 호기에는 미주신경 입력이 재개하면서 심박수가 감소한다. 미주신경 입력 강도는 호흡과 맞물린 심박수 변화 정도로 측정될 수 있는데, 그 측정치가 동성부정맥(Respiratory Sinus Arrhythmia; RSA)(Porges et al., 1973)이고 이는 미주신경 톤을 나타낸다. 미주신경 톤이 높다는 것은 부교감신경계의 활동 수준이 높은 것을 가리키며 이

는 변화하는 자극에 적절하게 대처하는 능력이 우수하다는 것을 의미한다(Schaaf, Miller, Seawell, & O'Keefe, 2003). 안정상태에서 미주신경 톤이 높은 것은 스트레스 상황에서 더 높은 자기 조절과 더 낮은 부정적 정서 경험과 관련되어 있다고 보고된다(Fabes & Eisenberg, 1997). 감각처리 장애아동은 미주신경 톤이 낮을 것으로 예상되어진다. Schaaf, Miller, Seawell과 O'Keefe(2003)은 감각조절 장애 아동과 전형적으로 발달하는 아동을 대상으로 감각도전 프로토콜을 제시하는 동안 미주신경 톤을 측정하였고, 예상대로 감각조절 장애아동에게서 상대적으로 낮은 미주신경 톤을 관찰하였다. 이는 감각조절 장애아동들의 부교감신경계 기능이 원활하지 않음을 가리킨다. Schaaf, Miller, Seawell과 O'Keefe (2003) 예비 연구를 토대로 Schaaf 등(2010)은 확장된 연구를 진행하였다. 부교감신경계 기능에 있어 감각조절 장애아동과 전형적으로 발달하는 아동 간 비교에 추가로 감각조절 장애아동을 감각 단축 프로파일에 근거하여 심각한 정도에 따라 세 집단으로 나누어서 비교 분석하였다. 또한, 실험 프로토콜에서 다섯 종류 감각자극이 제시되는 시기 외에 자극이 제시되기 전 기저선 시기, 자극이 제시된 후 회복 시기, 지속적인 청각적 자극 제시 시기가 추가되었다. 자극이 제시되지 않은 기저선 시기에 감각조절 장애아동은 전형적으로 발달하는 아동에 비해 낮은 미주신경 톤을 나타내었다. 감각자극 제시에 대해서 전형적으로 발달하는 아동들은 미주신경 톤 변화가 대체로 낮은 반면, 감각조절 장애아동은 증가된 미주신경 톤을 나타냈다. 스트레스 요인이 있는 동안 미주신경 톤을 억제하는 것은 더 복잡한 반응을 조절하도록 외부 자극에 주의를 향하게끔 하는 적응적인 반응으로 제안된다(Porges, 2007). 자극이 제시될 때 감각조절 장애아동들이 보이는 증가된 미주신경 톤은 반응적인 보호 기제를 반영하는 것일 가능성이 있다. 감각조절 어려움의 심각한 정도를 나누어 분석한 결과에서 조절에 어려움이 큰 아동들은 전형적으로 발달하는 아

동과 비교하여 기저선 시기, 소리 자극, 연속해서 제시된 소리 자극에 대해 유의미하게 낮은 미주신경 톤을 나타내었다. 이러한 결과는 감각조절 장애가 심각한 아동의 경우 생리적 조절능력이 현저하게 저하되어 있고 이는 행동적 표현으로 이어짐을 제안한다.

이 연구들은 교감신경계 기능을 반영하는 전기피부 활동과 더불어 부교감신경계 기능을 반영하는 미주신경 톤 역시 감각처리 장애에 대한 생리학적 지표가 될 수 있음을 밝혔다. 앞으로 연구에서는 두 가지 생리학적 지표가 함께 측정되었을 때 감각처리에 대한 이해를 더 심화시킬 것이라고 기대해 본다.

### 3. 감각처리 장애아동의 뇌 활동

감각자극이 대뇌 피질에서 처리되는 과정을 볼 수 있도록 창문을 제공하는 측정방법은 뇌파(Electroencephalogram; EEG) 그리고 ERP이다. 특정한 사건을 처리할 때 뇌 활동을 측정할 수 있는 방법은 기능적자기공명영상(functional Magnetic Resonance Imaging; fMRI), 양전자 방출 단층촬영(Positron Emission Tomography; PET) 등과 같이 여러 방법들이 있다. 이 중에 EEG와 ERP는 뇌 활동의 빠른 변화를 기록할 수 있고, 청각자극을 연구하기에 적절한 조용한 실험 환경을 제공하며, 움직임에 비교적 덜 영향을 받고, 비용적인 면에서 저렴하며, 비침습성과 같은 다양한 이점을 가지고 있으므로 감각자극, 특히 청각 자극에 대한 뇌 반응을 연구하기에 적합하다. 뇌 활동을 연속적으로 기록한 것이 EEG인 반면, ERP는 특정 사건(예, 자극 제시)에 관한 EEG 기록들을 정렬한 후에 평균하여 해당 사건에 관련된 뇌 활동을 나타낸다(Luck, 2005). ERP는 자극제시 이후에 이어지는 일련의 요소(component)로 특징지어 지는데, 이 요소들은 두뇌 피질 뉴런들의 수상돌기에서 유발된 전기적 활동에 의한 쌍극자(dipole) 하나 혹은 그 이상에 의해서 형성된다(Banich, 2004). 요소에 대한 명칭은 P1, N1, P50과 같이 붙여지는데, P 혹은

N은 파형 굴곡이 양극인지 음극인지를 나타내며, 그 뒤에 붙은 숫자가 한 자리인 경우는 자극 제시 후에 해당 극성으로 몇 번째 나타난 굴곡인지를 의미하며, 50, 100, 300과 같이 큰 숫자인 경우는 요소가 자극 제시 후 몇 밀리 세컨드에 나타났는지를 의미한다.

ERP를 사용하여 감각처리 장애에 대한 신경생리학적 기전을 규명하는 것을 목적으로 하는 연구들에서는 감각처리 장애아동이 전형적으로 발달하는 아동들과 뇌 반응에서 차이를 나타내는지를 밝히고 ERP 반응에서 감각처리 장애아동을 진단할 수 있는 요소를 찾고자 하였다. 기존에 감각처리 장애와 관련하여 자율신경계 기능 측정치로 전기피부 반응과 미주신경통을 측정하는 연구는 다양한 감각자극을 포함하는 감각 도전 프로토콜을 사용한 것과는 다르게 ERP 연구들은 통제하고 해석하는데 있어 가장 용이한 청각 자극 제시 패러다임을 주로 사용하였다.

정신과 질환을 연구하는 분야에서는 오래전부터 ERP를 사용하여 정신과 환자들(예, 정신분열증)의 비전형적인 인지 과정에 대하여 밝혀왔다. 이 연구들에서 여러 가지 자극 제시 패러다임이 활발하게 사용되며 이 중 감각 관문 패러다임(sensory gating paradigm)이 있다. 이 패러다임에서는 매우 짧은 클릭 소리(3 ms)가 0.5초 간격을 두고 쌍으로 제시되며 클릭 쌍들 간 간격은 8-10초이다(Freedman, Adler, & Waldo, 1987). 첫 번째 클릭 자극을 조건화 클릭(conditioning click) C이라 하고 두 번째 클릭 자극을 검사 클릭(testing click) T이라고 일컫는다. 일반성인들은 조건화 자극에 대한 P50 진폭보다 검사 자극에 대한 P50 진폭에서 감소, 즉 적은 P50 T/C 비율을 나타낸다. 첫 번째 자극과 동일한 두 번째 자극에 대해서 감소하는 뇌 반응은 뇌의 억제 기능을 반영하는 것으로 여겨진다. 정신분열환자의 경우 T/C의 비율은 정상인의 T/C 비율보다 높는데, 이는 정신분열환자들은 불필요한 감각자극을 억제하는 기능이 손상되었음을 의미한다(Adler et al., 1998).

감각처리 장애아동의 문제 중 하나는 외부에서 입력

되는 감각자극을 적절히 조절하여 수용하는데 어려움이 있다는 것이다. 감각처리 장애아동의 어려움이 감각 관문 패러다임을 통한 ERP 반응으로 입증될 수 있을 것이라는 가설을 가지고 Davies와 Gavin(2007)은 감각처리 장애아동과 전형적으로 발달하는 아동 간 T/C 비율을 비교하였다. 가설대로 감각처리 장애아동은 전형적으로 발달하는 아동보다 큰 T/C 비율을 나타내었다. 큰 T/C 비율은 감각을 조절하는 능력이 저하되었음을 가리키는데, 이러한 결과는 감각처리 장애아동이 나타내는 부적응적 행동들(예, 주의산만, 불안, 과한 활동 수준 등)에 대한 수렴적인 증거를 제공한다. 이 연구에서는 감각 관문 패러다임 외에 소리 높이(1kHz, 3kHz)와 크기(50dB, 70dB)가 다른 네 가지 종류 순음에 대한 N100, P200 요소도 측정하였다. 연령, N100, P200를 토대로 감각 관문 패러다임에서 기록된 P50 T/C 비율을 예측할 수가 있는데, 전형적으로 발달하는 아동의 경우 예측된 P50 T/C 비율과 실측된 P50 T/C 비율 차이가 적은 반면, 감각처리 장애아동의 경우 두 값 차이가 상대적으로 컸다. Davies와 Gavin (2007)은 예측된 P50 T/C 비율과 실측된 P50 T/C 비율 간 차이가 감각처리 장애아동을 진단할 수 있는 지표로 활용될 가능성에 대해서 제기한다.

전형적으로 발달하는 아동과 감각처리 장애아동 간 P50 T/C 비율이 다를 뿐만 아니라, 이 비율이 발달경로에서도 차이가 있었다(Davies & Gavin, 2007). 연령이 증가함에 따라서 전형적으로 발달하는 아동이 P50 T/C 비율 감소를 보이는 것과는 다르게 감각처리 장애아동은 연령에 따른 P50 T/C 비율 변화를 나타내지 않았다. Davies, Chang과 Gavin(2009)은 성숙 과정에 있어 감각처리 장애아동과 전형적으로 발달하는 아동 간 차이에 초점을 맞추어서 P50 T/C 비율 뿐만 아니라 N100 T/C 비율 변화도 추적하였다. 두 요소 T/C 비율 모두에서 감각처리 장애아동들이 또래 다른 아동과 다르게 연령에 따른 감각관문 능력 변화가 없는 것이 재차 보고되었다. 이는 감각처리

장애아동들은 자연적인 성숙에 의한 감각 조절 능력 향상이 어렵다는 것을 가리킨다.

감각처리 장애에 대한 신경생리 기전을 이해하기 위해 ERP를 사용한 초반기 연구에서는 청각 자극이 제시되고 100ms 이내에 나타나는 뇌 활동에 집중을 했다면, 이후 연구에서는 후반기 뇌 활동 요소인 P3에 대해서도 관심을 가졌다(Davies, Chang & Gavin, 2010). 네 종류 순음 자극에 어른, 전형적으로 발달하는 아동, 감각처리 장애아동의 N1, P2, N2, P3를 비교한 결과 발달에 따른 변화와 감각처리 장애에 따른 차이를 관찰할 수 있었다. 소리를 탐지하고, 초반에 선택적 주의를 기울이는 것과 관련된 N1 요소 진폭 크기가 큰 순서는 어른, 전형적으로 발달하는 아동, 감각처리 장애아동 순서였다. 반면, P3 요소에서는 감각처리 장애아동이 전형적으로 발달하는 아동과 어른에 비해서 더 큰 활동을 나타내었다. 감각처리 장애아동이 초반 주의를 할당하는 것과 관련된 N1 요소에서는 작은 활동을, 후반 주의 처리를 반영하는 P3 요소에서 큰 활동을 보이는 결과는 이 아동들이 감각에 대한 빠른 탐지 및 처리가 어렵고 상대적으로 긴 시간동안 정보를 처리하는 것을 가리킨다. 단순한 순음에 대해서도 감각처리 장애아동은 또래보다 늦은 처리를 나타내는데, 일상생활에서 복잡하고 동시적으로 주어지는 여러 가지 감각 경험에 대해서 아동들이 압도되는 것은 너무도 당연한 것일지도 모른다.

여러 가지 감각들을 통합하고 조직화하는 능력은 적응적인 행동에 필수적이다. 청각과 체성감각자극의 동시적 입력을 처리하는 다감각 통합(multisensory integration) 능력이 감각 과반응(sensory over-responsive) 아동에게서 어떻게 나타나는지 알아본 연구가 최근에 보고되었다(Brett-Green, Miller, Schoen, & Nielsen, 2010). 다감각 통합과 관련된 뇌 반응은 각 감각이 하나씩 제시될 때 뇌 반응 합과 두 감각이 동시에 제시될 때 뇌 반응 간 차이로 나타낼 수 있다. 감각 과반응 아동은 다감각통합 관련 뇌 반응을 나타낸다. 하지만, 이 반응이 관찰되는 전극

위치와 시점이 일반 아동들과 다르게 나타났다. 한 예로, 다감각 통합 반응이 일반적으로 감각자극 후 50ms 체성 감각자극이 제시된 신체의 반대편 뇌에서 관찰되는데, 감각 과반응 아동들에게서는 해당 시간대에 중앙부위 전극에서 큰 반응이 나타났고 반대편 뇌의 반응은 200ms에서 보였다. 이는 감각 과반응 아동의 청각-체성감각 통합을 담당하는 뇌 영역이 일반 아동과 다를 수 있음을 제안한다. 이 연구에서는 한 실험 내에서 감각 과반응 아동과 전형적으로 발달하는 아동을 비교한 것이 아니라 감각 과반응 아동만을 대상으로 실험을 진행하였고, 이전 문헌에서 보고된 또래 아동(Brett-Green, Miller, Gavin, & Davies, 2008) 자료와 비교하였다. 이와 같은 한계점이 있지만, 이 연구는 감각처리 장애아동의 다감각 처리에 대한 연구의 시작으로 다감각 처리와 관련된 신경생리 기전을 측정하는 것이 감각처리 장애아동에게서 가능하다는 것을 보여주었다. 감각자극 강도 및 특성에 따라서 아동들의 행동 반응이 다르듯이, 감각 자극이 제시되는 과제에 따라서도 아동들의 뇌 반응이 달라질 수 있다. 예를 들어, Davies, Chang과 Gavin (2010)의 연구에서는 순음에 대한 P3 요소에 대해서 감각처리 장애아동들은 전형적으로 발달하는 아동보다 큰 파형을 나타내었지만, Gavin 등(2011) 연구에서는 그 반대였다. 두 연구는 과제에서 차이가 있었는데 감각처리 장애아동들이 큰 P3 진폭을 나타낸 실험 상황에서는 소리만 제시된 반면, 작은 P3 진폭을 나타낸 실험에서는 애니메이션과 함께 소리가 들려졌다. 신경 생리 반응은 과제에 따라 변화하므로 과제 특성을 고려하여 주의해 해석해야 한다.

### III. 결론

감각통합 이론은 행동에 문제가 있는 아동들을 설명하기 위한 이론에서 출발하여 많은 경험적인 증거들에 의해 지지되었다. 하지만, 감각통합 치료 효과에

대한 논쟁은 계속되고 있다(Baranek, 2002; Cermak & Henderson, 1989; Cermak & Henderson, 1990; Ottenbacher, 1982). 감각통합 이론은 객관적이고 직접적인 측정치와 자료들로 더 강하게 뒷받침된다. 따라서 감각통합 이론이 제시한 가정들을 지지할 수 있는 신경생리학적 지표를 찾는 것은 감각통합 이론을 발전시키고 다른 전문가들을 설득시키는데 있어서 매우 필요한 일이다. 다행히도 본 문헌에서 소개한 연구들처럼 감각통합 이론이 바탕으로 하고 있는 신경생리학적 기전에 대한 직접적 측정을 포함하는 연구들이 최근에 활발하게 보고되고 있다.

감각처리 장애에 대한 진단적 근거를 확립하기 위해서 노력하는 학자들에 의해 감각처리 장애아동들이 자극처리 과정에서 나타내는 자율신경계반응과 뇌 활동이 전형적으로 발달하는 또래 아동들의 반응들과 다르다는 것이 밝혀졌을 뿐만 아니라, 감각처리 장애 아동들의 행동적 표현과 상응하는 신경생리학적 근거들이 축적되어 가고 있다.

앞으로는 감각통합 치료 효과에 대한 증거로서 신경생리학적 측정치들이 유용하게 활용될 수 있을 것이라 기대된다. 취약 X 증후군 아동의 감각 과반응에 대한 약물 효과를 알아보기 위해서 전기피부 반응을 측정하는 연구가 있지만(Hagerman et al., 2002), 신경생리학적 지표를 사용하여 감각통합 치료 효과를 검증한 연구들은 아직까지 많지 않다. 국내 연구 중 신경생리학적 지표를 사용하여 치료효과를 알아본 예비 연구가 있다. 주의력 결핍 아동에게 무게감 있는 조끼를 입힌 효과가 EEG 알파 리듬의 증가로 나타났다(이지연, 2008). 이 연구는 적은 대상 인원과 같은 한계를 내포하지만 사건에 대한 ERP를 본 것이 아니라 연속적인 EEG 리듬의 변화를 관찰한 점에서 또 다른 신경생리학적 지표를 감각통합 연구에 접목할 수 있는 가능성을 제기한다.

감각처리 장애의 신경생리 기전을 밝히는 연구 방법들은 측정 장비, 과제, 분석 방법 등에서 다양하게 확장되어 감각처리 장애에 대한 다양한 측면을 발견할

것으로 기대된다. EEG 기록장비 뿐만 아니라 뇌자도(Magnetoencephalography; MEG)를 사용하면 뇌 표면에서 관찰되는 파형의 소스를 찾을 수 있다. 분석적인 측면에서 사건에 대한 뇌 반응은 ERP 외에 EEG의 리듬의 변화를 계산한 Event-Related Spectral Perturbation(ERSP)으로도 나타낼 수 있다(Makeig, 1993). 이 분석방법은 시행에 따라 뇌의 파형이 약간 다른 시점에 나타나서 ERP에서 관찰할 수 없었던 뇌의 활동들, 특히 후반부의 인지처리 과정을 관찰하는데 용이하다.

모든 치료적 접근이 그러하듯, 감각통합 치료에 있어서도 증거 기반 치료는 중요하다. 본 문헌에서 소개된 감각처리 장애의 진단적 가치를 지지하는 신경생리학적 증거들, 그리고 앞으로 기대되는 치료 효과에 대한 연구들은 치료사들에게 감각통합에 대한 이해 그리고 확신을 제공할 것으로 예측된다.

## 참 고 문 헌

- 이지연. (2008). 무게감 있는 조끼를 적용한 주의력 결핍·과잉행동 아동의 뇌파변화. *대한직업치료학회지*, 16(4), 55-64.
- Adler, L. E., Olincy, A., Waldo, M., Harris, J. G., Griffith, J., Stevens, K., et al. (1998). Schizophrenia, sensory gating, and nicotinic receptors. *Schizophrenia Bulletin*, 24, 189-202.
- Ayres, A. J. (1972). Sensory integration and learning disorders. Los Angeles: Western Psychological Services.
- Banich, M. T. (2004). Cognitive neuroscience and neuropsychology (2nd ed.). Boston: Houghton Mifflin Company.
- Baranek, G. T. (2002). Efficacy of sensory and motor interventions for children with autism.

- Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32, 397–422.
- Brett–Green, B. A., Miller, L. J., Gavin, W. J., & Davies, P. L. (2008). Multisensory integration in children: A preliminary erp study. *Brain Research*, 1242, 283–290.
- Brett–Green, B. A., Miller, L. J., Schoen, S. A., & Nielsen, D. M. (2010). An exploratory event–related potential study of multisensory integration in sensory over–responsive children. *Brain Research*, 1321, 67–77.
- Bundy, A. C., & Murray, A. E. (2002). Sensory integration: A. Jean Ayres' Theory revisited. In A. C. Bundy, S. J. Lane, & E. A. Murray (Eds.), *Sensory integration: Theory and practice* (2nd ed., pp. 3–33). Philadelphia: F. A. Davis.
- Calvert, G. A., Spence, C., & Stein, B. E. (2004). *The handbook of multisensory processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Case–Smith, J., & Bryan, T. (1999). The effects of occupational therapy with sensory integration emphasis on preschool–age children with autism. *American Journal of Occupational Therapy*, 53, 489–497.
- Cermak, S., & Henderson, A. (1989). The efficacy of sensory integration procedures: Part I. *Sensory Integration Quarterly*, 17(3), 1–5.
- Cermak, S., & Henderson, A. (1990). The efficacy of sensory integration procedures: Part II. *Sensory Integration Quarterly*, 18(1), 1–5.
- Davies, P. L., Chang, W.P., & Gavin, W. J. (2009). Maturation of sensory gating performance in children with and without sensory processing disorders. *International Journal of Psychophysiology*, 72, 187–197.
- Davies, P. L., Chang, W.P., & Gavin, W. J. (2010). Middle and late latency ERP components discriminate between adults, typical children, and children with sensory processing deficits. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 4(16), 1–9.
- Davies, P. L., & Gavin, W. J. (2007). Validating the diagnosis of sensory processing disorders using EEG technology. *American Journal of Occupational Therapy*, 61, 176–189.
- Dunn, W. (1994). Performance of typical children on the Sensory Profile: An item analysis. *American Journal of Occupational Therapy*, 48, 967–74.
- Fabes, R. A., & Eisenberg, N. (1997). Regulatory control and adults' stress–related responses to daily life events. *Journal of Personality and Social Psychology*, 73, 1107–1117.
- Fowles, D. C. (1986). The eccrine system and electrodermal activity. In M. G. H. Coles, E. Donchin, S. W. Porges (Eds.), *Psychophysiology: Systems, processes and applications* (pp. 51–96). New York: Guilford Press.
- Freedman, R., Adler, L. E., & Waldo, M. (1987). Gating of the auditory evoked potential in children and adults. *Psychophysiology*, 24, 223–227.
- Gavin, W. J., Dotseth, A., Roush, K. K., Smith, C. A., Spain, H. D., & Davies, P. L. (2011).

- Electroencephalography in children with and without sensory processing disorders during auditory perception. *American Journal of Occupational Therapy*, 65(4), 370–377.
- Hagerman, R. J., Miller, L. J., McGrath–Clarke, J., Riley, K., Goldson, E., Harris, S. W., et al. (2002). Influence of stimulants on electrodermal studies in fragile X syndrome. *Microscopy Research and Technique*, 57, 68–73.
- Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Makeig, S. (1993). Auditory event-related dynamics of the EEG spectrum and effects of exposure to tones. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 86, 283–293.
- Mangeot, S. D., Miller, L. J., McIntosh, D. N., McGrath–Clarke, J., Hagerman, J. R., Simon, J., et al. (2001). Sensory modulation dysfunction in children with attention-deficit hyperactivity disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 43, 399–406.
- McIntosh, D. N., Miller, L. J., Shyu, V., & Hagerman, R. J. (1999). Sensory-modulation disruption, electrodermal responses, and functional behaviors. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 41, 608–615.
- Miller, L. J. (2003). Empirical evidence related to therapies for sensory processing impairments. *Communiqui*, 31, 34–37.
- Miller, L. J., Anzalone, M. E., Lane, S. J., Cermak S. A., & Osten, E. T. (2007). Concept evolution in sensory integration: A proposed nosology for diagnosis. *American Journal of Occupational Therapy*, 61, 135–140.
- Miller, L. J., McIntosh, D. N., McGrath, J., Shyu, V., Lampe, M., Taylor, A. K., et al. (1999). Electrodermal responses to sensory stimuli in individuals with fragile X syndrome: A preliminary report. *American Journal of Medical Genetics*, 83(4), 268–279.
- Miller, L. J., Nielsen, D. M., & Schoen, S. A. (2012). Attention deficit hyperactivity disorder and sensory modulation disorder: A comparison of behavior and physiology. *Research in Developmental Disabilities*, 33(3), 804–818.
- Nance, P. W., & Hoy, C. S. (1996). Assessment of the autonomic nervous system. *Physical Medicine and Rehabilitation*, 10, 15–35.
- Ottenbacher, K. (1982). Sensory integration therapy: Affect of effect. *American Journal of Occupational Therapy*, 36, 571–578.
- Parush, S., Sohmer, H., Steinberg, A., & Kaitz, M. (2007). Somatosensory functioning in boys with ADHD and tactile defensiveness. *Physiology and Behavior*, 90, 553–558.
- Pollock, N. (2009) Sensory Integration: A review of the current state of the evidence. *Occupational Therapy Now*, 11(5), 6–11.
- Porges, S. W. (2007). The polyvagal perspective. *Biological Psychology*, 74, 116–143.
- Porges, S. W., Arnold, W. R., & Forbes, E. J. (1973). Heart rate variability: An index of attentional responsivity in newborns.

*Developmental Psychology* 8, 85–92.

Royeen, C. B., & Lane, S. J. (1991) Tactile processing and sensory defensiveness. In A. G. Fisher, E. A. Murray, & A. C. Bundy (Eds). *Sensory integration: Theory and practice* (pp. 108–136). Philadelphia: FA Davis.

Schaaf, R. C., Benevides, T., Blanche, E. I., Brett–Green, B. A., Burke, J.P., Cohn, E.S., et al. (2010). Parasympathetic functions in children with sensory processing disorder. *Frontiers of Integrative Neuroscience*, 4(4), 1–11.

Schaaf, R. C., Miller, L. J., Seawell, D., & O’ Keefe, S. (2003). Children with disturbances in sensory processing: A pilot study examining the role of the parasympathetic nervous system. *American Journal of Occupational Therapy*, 57, 442–449.

Schoen, S. A., Miller, L. J., Brett–Green, B. A., & Hepburn, S. L. (2008). Psychophysiology of children with autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2(3), 417–429.

Schoen, S. A., Miller, L. J., Brett–Green, B. A., & Nielsen, D. M. (2009). Physiological and Behavioral Differences in Sensory Processing: A Comparison of children with Autism Spectrum Disorder and Sensory Modulation Disorder. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 3(29), 1–11.

## Abstract

### Neurophysiological Evidence for Sensory Processing Disorder

Kim, Eun-Young, M.S., O.T.

Dept. of Psychology, Yonsei University

Sensory integration started as a theory to provide a occupational therapist with a useful frame for explaining and intervening the problems which children have. Most researches on sensory processing disorder (SPD) have been found empirical evidence to support the sensory integration theory by measuring behavioral manifestations of SPD. Recently, researchers who are interested in the diagnosis of SPD have begun to use neurophysiological methods to establish objective evidence for sensory integration. These studies reported the neurophysiological indexes reflecting the maladaptive behaviors as well as the difference between children with SPD and typically developing children in using electrodermal activity, vagal tone, EEG. Future neurophysiological studies on SPD will be expected to prove the efficacy of sensory integration intervention.

**Key words :** Autonomic nervous system, Event-related potential, Sensory integration, Sensory processing disorder