

## 18. Haptics

*Brent Gillespie*

### 18.1 Introduction

- Haptics = Taction(촉각) + Kinesthesia(운동감각)
- 악기연주자는 자신이 연주하는 악기의 소리를 듣는 것뿐만 아니라 느낄 수 있음
  - 청각적 정보(audition)는 악기의 음향학적 동작을 담고 있으며, 촉각적 정보(haptics)는 악기의 기계적인 움직임을 포함하고 있음
  - 이러한 기계적 움직임에 관한 정보는 악기를 배우거나 연주함에 있어서 매우 중요
- 연주자가 악기에게 기계적 자극을 가하면, 악기는 사용자가 제공한 자극에 대해 기계적으로 반응하며 이 때 발생하는 정보를 다시 연주자에게 제공함
  - : 악기와 연주자는 기계적 차원으로 상호작용함
- 연주자는 악기로부터 촉각적 인상(haptic impression)을 얻게 되며, 청자는 악기로부터 음향학적 인상(acoustic impression)을 얻음

### 18.2 Historical Overview

#### 18.2.1 Aristotle

- 아리스토텔레스에게 촉감은 오감 중 가장 중요한 요소였음
  - : 촉감은 동물과 식물 또는 움직이지 않는 사물들을 구분하는 기능
  - : 인간의 우수한 지능과 우수한 촉감에는 직접적인 상관관계가 있음을 주장
  - : 촉감에 대한 극단적인 자극은 감각기관의 손상을 초래
- 동물의 정의와 촉감을 연관 - “자신의 의지로 움직이는 개체”
  - : 특징(feature; sensation)과 기능(function; movement)은 서로 분리할 수 없음
- 아리스토텔레스의 2가지 질문
  1. “피부는 감각 기관인가? 아니면 촉감을 전달하는 매개체인가?”
    - : 장갑을 착용하고 있어도 촉감을 느낄 수 있으며, 이를 통해 피부 역시 장갑과 마찬가지로 매개체임을 증명
  2. “촉감이라는 것은 단일 감각인가? 혹은 여러 감각의 집합인가?”
    - : 촉감이 가진 이분법적 특징의 발견 - 뜨거움/차가움, 딱딱함/부드러움, 촉촉함/메마름

### 18.2.2 Denis Diderot

- Sensory Substitution – 한 감각이 힘을 얻게 되면, 다른 감각의 힘을 잃게 됨  
: 현대 신경학이 뇌의 유연성, 적응력에 대한 증거를 보여주고 있음  
: 대뇌 피질 조직의 변화는 감각 자극의 유형 또는 사용의 변화와 함께 일어남

### 18.2.3 Ernst H. Weber

- Weber's Law – 표준과 비교 대상 사이의 차이점을 발견하기 위한 조건에 대해 언급  
: 표준이 100g인 경우 20g인 경우에 비해 더 큰 차이가 있어야 감지할 수 있음  
: 인지 과정에서 의도적인 움직임의 역할에 대해 강조

### 18.2.4 David Katz

- Gestalt 심리학을 기반으로 하여 촉감에 대해 연구
- 내부 응답의 단순함 보다는 외부 자극에 대한 내부 응답에 대해 관심을 가졌음  
: 내부의 인상은 감각기관의 입력으로부터 다분히 고립된 상태로 형성됨
- 촉각적 인지 과정에 있어서 움직임의 역할에 특별히 관심을 가졌음
- 진동을 촉감의 5번째 요소로 정의: 압력, 따뜻함, 차가움, 고통, 진동  
: 압력은 자극이 지속되지 않으면 사라짐에 비해 진동은 유지됨을 발견  
: 진동과 청각을 동적인 감각으로, 압력과 시각을 정적인 감각으로 규정
- 접촉의 종류를 능동적 접촉과 수동적 접촉으로 구분  
: 촉각 기관의 모든 종류가 융합된 기관으로 “손”을 규정  
: 촉각의 과정에 있어서 의도적인 손의 움직임을 강조

### 18.2.5 Geza Revesz

- 맹인들의 촉각적 감각의 개발(공간적 정보의 부호화)에 관심을 가졌음  
: 시각처럼 즉각적이지 않으며, 순차적으로 획득한 정보에 기반을 둔 재건과정이 필요
- 원근법과 같은 시각적 단서는 맹인들에게 잘 적용되지 않음  
: 손을 통한 3차원 모델 인식은 매우 훌륭함

### 18.2.6 James Gibson

- 감각의 과정과 인식을 연구함에 있어서 생태학적 접근을 시도  
: 환경 내의 인간이 가진 특별한 의도와 관련이 있는 환경의 모든 속성을 고려함  
: 인지심리학자들이 기억과 상상, 자극에 대한 반응 등의 낮은 수준의 지적 과정이 아닌 개체의 인식에 대해 연구해야 함을 주장

- 인식은 감각에 의한 정보 수집 과정일 뿐만 아니라, 인식의 중심에 의해 일어나는 종속적 과정임을 주장
  - 구조적 인식 시스템의 결과는 인식자의 능동적 참여 기능에 의존하고 있음
  - : 촉각 시스템은 체감각(somatosensory)과 촉각, 운동감각 기관뿐만 아니라, 팔, 손, 손가락의 능동적 근육을 포함한다고 주장
- "Isolate Invariants"
  - 망막 위를 지나가는 이미지, 음고가 변하는 악기의 소리 등은 형태가 변함에도 불구하고, 감각기관은 그들의 정체성을 지속적으로 유지하고 있음
  - : 촉각의 경우, 피부의 압점을 통해 사물의 정체성을 유지하며 감촉의 둔해지는 부분에서도 그 정체성은 지속됨
  - 탐사적 운동: 사물의 정체성을 유지하는 패턴을 검사하면서, 동시에 자극의 흐름 내에서 변화된 부분이 있는가를 알아내기 위함
  - : 능동적 접촉은 개체에의 정체성에 대한 가설을 검사하기 위하여 사용됨
- 능동적 접촉에 의한 "외부화"
  - 능동적 탐사를 허용한 실험군에서는 개체를 외부화, 객관화하는 경향이 있으며, 수동적 접촉만을 허용한 실험군에서는 주관화하는 경향이 발견됨
- 능동적 듣기(active listening)
  - 청각 인식 과정에서도 능동적으로 자신의 원하는 것을 듣는 것이 가능한가?

### 18.2.7 The Present

- Haptic Interface
  - 사용자의 움직임을 입력으로 받아들이며, 그에 대한 반작용력을 출력하는 인터페이스
  - : 촉감에 대한 과거의 연구는 시각, 청각만큼 발달되지 않았는데, 촉감에 대한 연구가 더욱 어려웠으며 특히 촉감을 실험할 수 있는 기계가 존재하지 않았기 때문
  - 컴퓨터 모니터, 마우스, 키보드와 같은 HCI라고 할 수도 있으나, Haptic Interface는 단일 인터페이스를 통하여 입출력이 동시에 가능
- <Exploratory Procedures> Roberta Klatzky, Susan Lederman
  - 특정 개체의 속성을 확인함에 있어 운동 근육의 패턴이 사용된다고 주장
  - : 질감을 확인하기 위해서는 문지르는 행위를, 모양을 확인하기 위해서는 손과 손가락을 사용하여 쥐거나, 모양을 따라 움직이는 행위를 취함
- 촉각 감각(haptic sensation)과 조작(manipulation)을 함께 고려해야 함
  - 촉각적 정보를 얻기 위한 개체의 능동적인 움직임이 매우 중요
  - 전자악기를 제작함에 있어서도 수동, 능동적 접촉과 감각기관이 동일성과 같은 주제가 연구되어야 함

### 18.3 The Sensors

- 촉각 감각기관의 연구 방법

1. 해부학적 및 생리학적 연구

: 온도 및 기계적 자극을 임펄스로 전환하는 다양한 신경말단의 구조와 기능을 규명  
: 피부로부터 수용기관(receptor)을 분리해내기 어려운 점이 연구의 한계

2. 피부와 감각기관의 기계적 모델링과 시뮬레이션

3. Microneurography의 사용

: 피부의 각 부분에 다양한 기계적 자극을 부여한 후, 신경 다발에 삽입된 가느다란 텅스텐 섬유를 이용하여 단일 감각기관으로부터 발산되는 신경 임펄스를 관찰

- 필자는 민첩성이 뛰어난 사람을 실험 대상으로 Microneurography를 활용하여 자극과 감각 기관의 연결고리를 찾는 방법이 가장 효과적이라 주장

#### 18.3.1 The Cutaneous Sensors

- Cutaneous Sensors (피부 감지기관)

: 자유 신경 말단과 특화된 신경 말단을 포함하며, 따뜻함, 차가움, 고통, 기계적 에너지를 임펄스로 변환하는 것을 담당함

#### Thermal Sensors

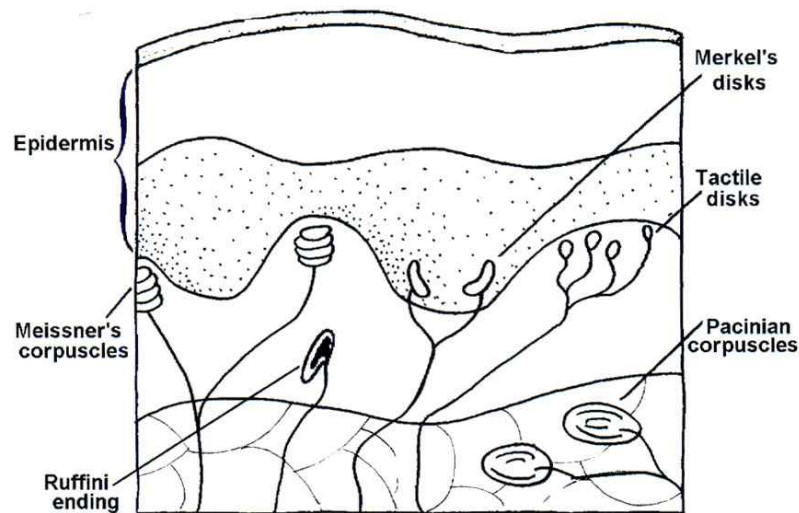
- 손가락의 끝은 항상 일반적인 실온에 놓여진 물체들 보다 따뜻함
- 차가움과 뜨거움을 느끼는 감각기는 따로 분리되어 있으며, 이 감각기들이 전신에 골고루 퍼져있으나 반드시 같은 양으로 분포하는 것은 아님

#### Mechanoreceptors (기계적 자극의 수용기)

- Meissner의 소체, Ruffini 말단, Merkel's 원반, Pacinian 소체의 4가지
  - : 진피와 표피 내의 다양한 깊이에 분포하고 있음
  - : 주변의 피부의 조직과 고유한 방법으로 결합되어 있음
  - : 이러한 다양한 분포와 고유한 결합 방법 등이 각각의 고유한 역할과 관련이 있을 가능성이 있음
- 움직임(기계적 자극)이 사라지면 4개의 기계자극 수용기의 신경 반응도 사라짐
  - : 반응이 사라지는 속도에 따라 RA(Rapidly Adapted), SA(Slowly Adapted)로 구분
  - : Meissner의 소체와 Pacinian 소체는 RA, 나머지 둘은 SA로 구분된다는 가설이 있음

**Table 18.1** Field of sensitivity, frequency range, and supposed sensed parameter, by receptor type

RECEPTOR	FIELD	TYPE	FREQUENCY RANGE	SENSED PARAMETER
Meissner	3-4 mm	FAI	10-60 Hz	skin stretch
Merkel	3-4 mm	SAI	DC-30 Hz	compressive stretch (curvature)
Pacinian	>20 mm	FAII	50-1000 Hz	vibration
Ruffini	>10 mm	SAII	DC-15 Hz	directional skin stretch



**Figure 18.2** A schematic section of human skin, showing the mechanoreceptors. (Drawing courtesy of Jon Forsyth.)

- 일반적으로 피부의 깊은 곳에 위치한 감각기들은 보다 넓은 감지영역을 가짐  
: Pacinian 소체는 진동을 감지, Ruffini 말단은 피부의 신축에 반응함
- 신체의 영역에 따른 감지기관의 분포도는 매우 다양함  
: 엄지, 검지, 입술 등은 매우 분포도가 높으며, 몸통은 그에 비해 낮은 분포도를 가짐  
: 손에는 약 17,000개의 감지기가 분포 (달팽이관 15,000개, 눈 130,000,000개)

### 18.3.2 The Kinesthetic Sensors (운동감각기관)

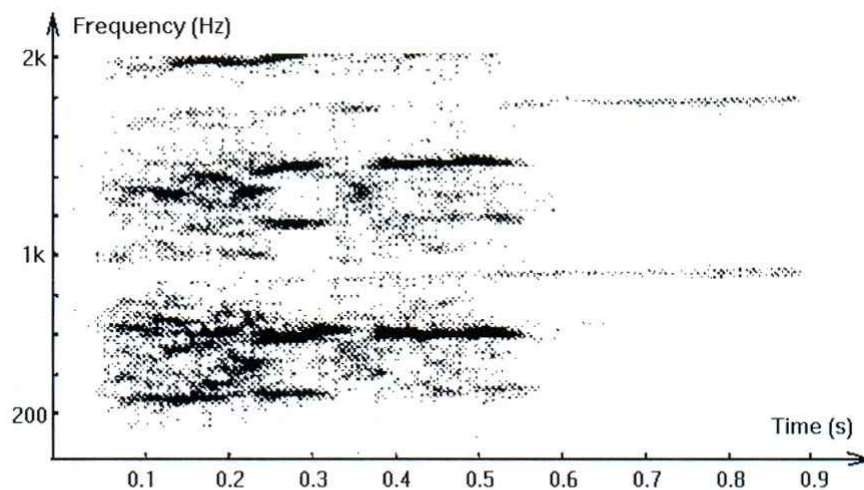
- 근육축(muscle spindles), 근내 골지기관(Golgi organ in tendons)
- 근육축은 근육의 신축, 근육의 신축의 변화율을 조정하는 것으로 알려져 있음  
: Efferent(뇌로 부터의), Afferent(뇌로 유입되는) 신경신호 모두와 관련이 있음  
: Active Gain Control을 수행
- 근내 골지기관은 근 장력을 조정하는 것으로 알려져 있음  
: Pacinian 소체는 관절에서 발견되며, 빠르게 전해진 에너지 임팩트의 진동을 검출  
: 골지기관은 자기수용과는 큰 관계가 없음 (근육축이 자기수용 및 운동감각을 보유)

### 18.3.3 Efference Copy

•

### 18.4 Interlude: The Haptic Senses in Musical Performance

- 모든 악기는 소리를 내기 위해 진동하며, 그 진동은 촉감과 관련되어 있음  
 : <그림 18.4> 실제 기음에 해당하는 음을 내기 전까지 약 0.5초까지는 광대역의 트랜지언트가 나타나며, 이것이 연주자에게는 감촉으로 전달됨



**Figure 18.4** Vibration spectrum on the finger of the left hand of a cellist during a note onset. Broadband transients persist for about 0.5 second before a stable note at 880 Hz settles in. (Courtesy of Chris Chafe, CCRMA.)

- 대부분의 악기들은 10~1000Hz의 범위내에서 기계적인 진동을 생성
- 악기의 진동이 연주자들에게 전하는 정보  
 : 관악기 주자들은 마우스피스를 통해 레지스터가 도약함을 느낄 수 있거나, 기류의 양적 변화 등을 진동을 통해 느낄 수 있으며, 이를 통해 음이 안정적으로 연주되고 있는가를 판단할 수 있음  
 : 현 베이스 연주자들은 진동 정보를 이용하여 주변의 악기들에게 맞추어 튜닝 가능
- 촉감 정보가 없는 악기라는 것은 존재하지 않으므로, 새로운 음악적 인터페이스를 제작한다면 반드시 촉감에 대한 고려를 해야함