투고일 : 2011. 12. 16 심사일 : 2011. 12. 21 게재확정일 : 2011. 12. 23

교합력 측정의 방법과 임상적 적용

이화여자대학교 의학전문대학원 치과학교실[1], 서울대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실[2]

박 지 만[1], 허 성 주[2], 전 윤 식[1]

ABSTRACT

The methods for occlusal force measurement and their clinical application

Department of Dentistry, School of Medicine, Ewha Womans University[1]
Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Seoul National University[2]

Ji-Man Park, DDS, Ph.D[1], Seong-Joo Heo, DDS, Ph.D[2], Yoon-Sic Chun, DDS, Ph.D[1]

The methods for the occlusal force measurement have long been developed. The occlusal analyzing equipment utilizing the pressure-sensitive film (Prescale) is useful for the assessment and comparison among large group of patients. On the other hand, the apparatus which uses the grid-based sensor sheet (T-scan) can be a useful assistant for acquiring the well-balanced occlusion. The device that can process the electrical input from the strain gauge which is attached to the tooth surface can collect the dynamic data of actual masticatory force. This device has been developed for the measurement of actual mastication with the food bolus and it can be a useful method for the comparison before and after the restorative treatment. Occlusal force measurement can be applied for the analysis of therapeutic action, diagnosis of crack-tooth syndrome, temporomandibular disease, and idiopathic implant loosening.

Key words : Occlusal force analysis, Strain gauge, Pressure-sensitive film

Ⅰ. 서론

사람의 기능적 교합계는 상하악 치아 및 치주조직에 의한 물리적인 교합상태 외에도 상하악골을 연결해주는 악관절, 악골의 개폐구 운동을 발생시키는 저작근, 그리고 저작근의 운동을 정밀하게 조정하는 한편 교합되는 치아와 악관절에 유해한 힘이 가해질 때 보호하는 통합적인 조절 기능을 하는 뇌신경계 등으로 복잡하게 구성되어 있다. 교합의 구강 내 상태는 단순한 감합으로만 이루어지지 않으며, 연하 및 이악물기를 포함한 중심교합, 음식을 저작할 때의 수평 방향으로의 움직임, 그리고 무의식적으로 이를 가는 등의 여러 가지 현상들이 일어난다. 이러한 현상들을 분석하기 위해 수많은 학자들이 관심을 가져 왔는데, Delong 등은 1983년 구강 내 환경을 재현하기 위해 인공타액, 온도 및 습도 조절, 그리고 저작력과 악골의 움직임 등

의 모든 요소를 고려해야 하며, 저작 주기는 준비 단계, 분쇄 단계(crush), 그리고 비벼서 가는 단계(grinding)로 나누어 재현해야 한다고 주장하였다. 이 때 마지막의 가는 단계는 치아의 해부학적 형태에 따르지만 앞의 두 단계는 음식물의 형상과 질감에 따라 영향을 받게 되며, 이를 재현하기 위해 2축 만능시험기를 사용한 바가 있다[1]. 2007년 미국전기전자공학회(IEEE) 의학분과학회에서 기존의 한 방향 또는 두 방향의 움직임에서 나아가서 여섯 축으로 사람의 저작패턴을 정확하게 재현하는 로봇 시뮬레이터를 발표한 바가 있으며, 이를 통해 치아나 각종 치과 수복물 재료의 마모양상을 분석하려는 시도를 하였다[2]. 이렇게 사람의 교합력(bite force)을 측정하려는 노력들이 있어 왔는데, 그 목적은 앞서 언급한 학자들처럼 저작의 매커니즘을 규명하는 것 외에도, 교합력의 평균 참고치를 찾아내고 이를 치과 치료에 직접 활용하는 데에 있을 것이다.

Ⅱ. 교합력 측정 방법의 변천

기능적 교합계가 복잡하게 상호작용을 하기 때문에, 여러 가지 영향 요소들을 배제하고 객관적으로 교합력을 측정하기란 쉽지 않지만, 다양한 시도가 있어 왔다. 1681년 Borelli가 치아에 기계식 저울(gnatho-dynamometer)을 연결해 200kg까지 추를 추가해 가면서 저작력을 측정한 것이 시초이다. 1893년에는 Black이 용수철 스프링을 이용한 저울로 저작력의 과학적인 검사와 분석을 하였으며, 이는 현재까지도 외상이나 악안면 성형수술 후 저작력의 차이를 분석하는 용도로 사용되고 있다[3,4]. 이후 고안된 것이 전자저울과 원리가 같은 말발굽 모양의 쇠막대와 그 가운데에 부착된 스트레인게이지로 구성된 로드셀(loadcell)이며, 1985년 Lassila 등은 로드셀을 사용하여 사람의 최대 저작력을 측정한 바가 있다. 그는 로드셀을 bite fork라고 부르기도 하였다[5].

교합력을 측정하는 또다른 방법으로 근전도(EMG, Electromyogram)를 이용하는 법도 있다. 교근(masseter muscle)과 측두근(temporalis muscle)이 힘을 발휘할 때 발생하는 미세한 파동형태의 근전도(direct EMG) 전기신호를 집적 신호(integrated EMG)로 변환하여 저작패턴과 구분하면, 최대 근전도 활성이 나타나는 시점이 최대로 저작력을 주었을 때 보다 40msec 정도의 시간차를 보인다. 실제 저작패턴과 상관성있게 결과가 나타나며 재현성이 있기 때문에 이를 임상에서 활용할 수 있다. 다만 근전도를 측정함으로써 저작력을 분석하기 위해서는 침이 달린 디스크 형태의 탐침(probe)을 피부에 부착하는 침습적 과정이 필요하다[6]. Gibbs 등이 이마에 진동 입력단과 아래턱에 진동 수신부를 두어 저작시의 소리와 진동으로 교합력을 측정하는 방법을 소개한 바가 있으나 많이 사용되지는 않는 방법이다[7].

Ⅲ. Prescale필름과 Occluzer를 통한 교합력 측정

Prescale 압력 측정시스템은 일본의 후지필름사에서 개발된 특수 필름으로서 1980년에 처음으로 Fukubayashi 등에 의해 무릎 관절부위의 접촉면적과 접촉 압력 분포를 측정하는 용도로 사용되었다. 이 시스템은 말발굽 모양의 압력-감응 필름으로 된 바이트 호일(Prescale)과 이를 이미지 스캔하여 분석하는 컴퓨터(Occluzer)로 구성되어 있다. 압력을 받은 부위는 화학 반응에 의해 붉은 점들이 생기며, 이들의 분포와 밀도를 컴퓨터로 이미지 분석하는 원리이다. 필름은 얇은 R형(97㎛ 두께)과 왁스가 입혀진 W형(800㎛ 두께)으로 나뉘며, 각각 30~130kg중/㎠의 측정범위를 가지는 30H 필름과 50~1200kg중/㎠를 인식할 수 있는 50H 필름이 있으며, 보통 R형의 50H 필름을 많이 사용한다. Shinogaya 등은 편측 제1대구치 위치에서 로드셀(bite fork)로 측정한 교

합력과 프리스케일로 측정한 수치를 비교하였는데, 전자의 경우 상하악 치아 사이에 최소한 6mm 로드셀을 위한 공간을 띄워야 하므로 반복 측정시 위치 재현성이 떨어지므로 수치의 편차가 발생하지만, 프리스케일에서 측정되는 최대 하중값의 총합과 로드셀의 하중값 사이에는 상관관계가 있음을 보고하였다[4,8]. 다른 교합측정 장치와 대별되는 이 시스템의 특징은 교합력의 총합이 객관적인 수치로 표시가 되는 것인데, 코호트 연구와 같이 다수의 사람을 대상으로 자료를 수집했을 때에 과학적인 데이터로서 이 수치를 사용하여 비교할 수 있다는 점이다. 50H 필름의 경우 교합력을 측정할 수 있는 범위가 1200kg중/㎠까지 넓으므로 다양한 환자들의 저작력 범위의 편차에 따라 센서의 감도를 컴퓨터 상에서 변경할 필요가 없고, 악궁 전체의 힘을 합하여 객관적 수치로 나타내 주기 때문에 측정하는 시점 별 데이터 사이에 차이가 적다. 따라서 대규모 연구의 수치 비교 목적으로 사용할 수 있다(Fig. 1).

Ⅳ. T-scan을 이용한 교합분석

1987년 보스턴의 Tekscan이라는 회사에서 개발된 그리드-기반 센서를 이용한 T-scan 교합 분석 시스템은 1초에 100회의 속도로(100Hz) 상하악 치아가 맞물리는 정도를 교합점의 형태, 표면 넓이, 각 치아 접촉점의 상대적인 강도 등의 형식으로 분석할 수 있다. 센서는 전기적 전도체인 잉크가 폴리에스터 필름에 x-y 그리드의 형태로 인쇄되어 있는 형태이며, 1500개가 넘는 센서의 점들로 구성되어 있다. 전도성 띠 사이의 잉크에 가해진 힘의 전기적 저항을 측정하는 원리이다. 치과 수복물의 교합 조정을 할 때 교합지를 일반적으로 많이 사용하며, Bull's-eye를 찾아서 교합조정을 쉽게 하는 경우도 있지만, 글레이징된 도재 수복물의 경우 교합지의 착색제가 잘 묻지 않으며, 특히 교합접촉점이 매우 좁은 경우 교합지를 찍은 후에도 교합점 인기가 되지 않는 경우를 자주 겪는다. 이러한 경우에 T-scan을 사용하면 전체 악궁 내에서 높은 특정 부위를 쉽게 객관적으로 찾아낼 수 있다[9](Fig. 2).

Prescale 시스템에도 유사한 기능이 있지만 교합력의 중심점 분석을 통해 손쉽게 좌우 균형을 맞추도록 교합조정을 가이드해 준다. Prescale 시스템이 교합력의 총합 수치가 표시되기 때문에 각기 다른 시점, 다른 사람 사이의 비교에 특화된 목적을 부여할 수 있다면, T-scan 시스템은 보철과 의사가 교합조정을

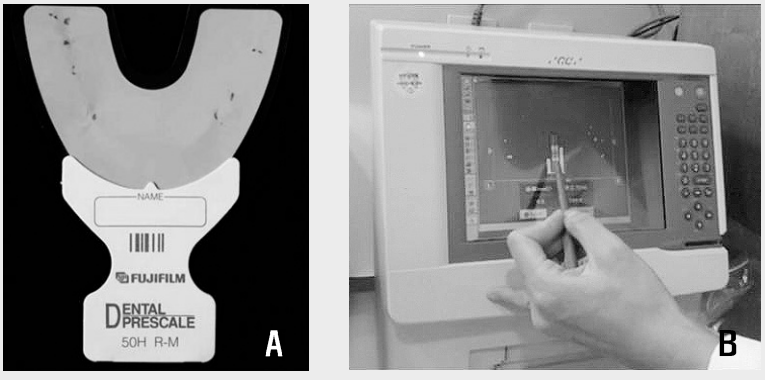

Fig. 1 Prescale 압력 측정 시스템. A: Prescale pressure-sensitive film, B: Occluzer scanning computer

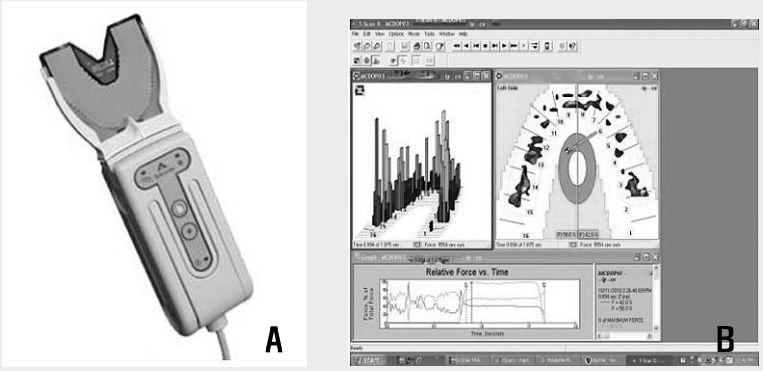

Fig. 2 T-Scan 교합측정 시스템. A: T-scan Ⅲ Scanning device, B: Occlusal analysis software

할 때에 빠르고 손쉽게 교합 불균형을 찾아내는 목적으로 사용하기에 적합하다. T-scan 센서의 원리적 특성으로 인해 압력을 측정할 때에 인접 접촉점들과의 상대적인 크기만 측정이 가능하며, 교합력의 세기가 객관적인 수치로 나타나지는 않는다. 또한 동시에 측정할 수 있는 힘의 범위가 좁기 때문에 측정하기 전에 예비로 씹어서 화면에 나타난 접촉점의 세기와 크기에 따라 민감도를 'low 1~3', 'mid 1~3', 'high 1~4'의 10단계 중에 하나로 선택한 다음에 측정을 해야 한다. 따라서 한 환자의 다른 시점간의 비교 측정 시에는 이전과 동일한 민감도로 설정하면 분석이 가능하지만, 여러 환자의 데이터를 서로 비교 분석하는 연구의 목적으로는 적합하지 않다. 다른 기간에 제작되어 판매된 센서들 간의 민감도에도 차이가 있기 때문에, 동일 환자의 치료 전 후 비교를 하기 위해서는 사용하였던 센서를 따로 보관하고 이를 사용하여야 한다[10].

이러한 제한점이 있지만, 0.01초 단위의 시간 간격으로 일어난 교합접촉의 양상을 악궁 전체에서 한 눈에 분석할 수 있는 장점이 있으며, Bachus 등이 동일한 크기의 원형 시편을 Prescale의 30H 필름과 T-scan의 센서상에 만능시험기로 눌러서 나타난 데이터의 양상을 비교한 바가 있는데, 교합접촉의 넓이와 힘의 크기를 예측할 때에는 T-scan이 좀 더 정확하다는 결론을 내린 바가 있다[11]. 따라서 임상에서 이러한 교합분석 장비를 선택할 때에는 앞에서 언급한 장비들의 장단점을 비교하여 용도에 맞는 시스템을 사용하여야 하겠다.

Ⅴ. 음식물 저작과 스트레인게이지의 진단적 응용

현재 가장 진보된 교합 분석 장비로 소개된 Prescale, T-scan 시스템은 모두 상하악 치아 사이에 기록지를 개재하여야 하므로, 사람이 실제 음식을 먹으면서 자연스럽게 치아에 가해지는 교합력을 기록하는 데에는 한계가 있으며, 전자의 경우 기록지가 1회 측정용이며, 후자는 센서가 구겨지기 때문에 측정하는 회수가 제한되어 있다. 또한 표시되는 교합력의 세기 또한 구체적인 수치로 정량화하는 측면에서는 다소 미흡하다.

스트레인게이지를 치아나 보철물 협설면에 부착하고, 여기에 전달되는 하중으로서 교합력을 역산하여 분석하는 시도가 1991년 Sakaguchi 등에 의해 있었는데, 이는 2차원 유한요소 분석을 위한 기초자료 획득을 목적으로 한 연구였고, 1999년 Toparli 등 또한 치아의 협면에 스트레인게이지를 부착한 바가 있

는데, 이 역시 MOD 아말감 와동에서 베이스 재료의 유무에 따른 치아의 역학적 강도를 유한요소 분석을 하는 것을 목적으로 하였다. 최근 2008년 Soares 등의 연구도 MOD 와동에 수복물의 종류에 따라 유한요소 분석을 위한 보조 자료를 위해 스트레인게이지를 사용한 바가 있다. 이들 연구 모두 보존과 영역에서 치아 삭제 후 잔존 치질의 강도를 측정하기 위한 목적에 초점이 맞추어져 있고, 실제적으로 교합력의 측정, 교합 분석이 이루어지지는 않았다[12,13,14]. 이화여대 임상치의학대학원에서는 치아의 측면에 스트레인게이지를 부착하고, 로드셀로 스트레인게이지의 신호 증폭비를 보정한 후, 실제 음식물을 저작할 때에 치아에 가해지는 힘을 분석하는 장치 및 방법에 관한 국내 특허 및 해외 특허(PCT) 출원을 하고 *in vitro*(모형실험), *ex vivo*(사체실험), *in vivo*(임상실험) 연구를 하여 스트레인게이지에서 측정되는 전압 및 변형율(strain)을 MPa 단위의 압력으로 변환하는 연구를 진행하였다. 이로서 동적인 성질의 교합력을 실시간으로 계측하고 종합하여 실제로 치과에서 일상적으로 사용할 수 있는 교합력 측정기를 개발할 수 있는 기초정보를 얻을 수 있었다(Fig. 3-5). 또한 현재 상용화되어 있는 두 장비를 레퍼런스로 삼아 스트레인게이지 교합분석 장치와 동시에 데이터를 획득한 후 비교 분석하여, 스트레인게이지에서 측정된 변형률과 교합력 간의 관계를 분석하여 장비의 신뢰도를 검증하였다(Fig. 6).

스트레인게이지를 이용한 교합분석이 이제까지의 측정장비와 대비되는 특징은 1~2㎝ 정도 이개되어 최대 저작력을 재는 bite fork, 상하악 치아 사이에 100~800㎛ 두께의 넓은 말굽형 교합지를 넣고 최대

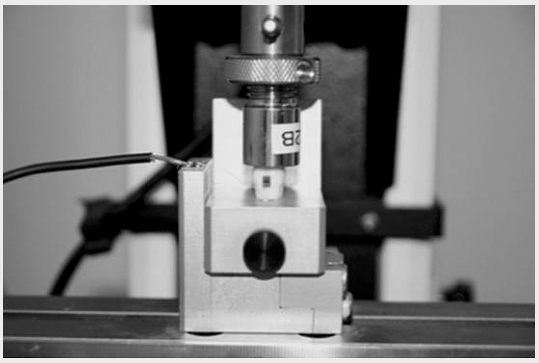

Fig. 3. 치아가 파괴될 때까지의 스트레스-스트레인 곡선을 통한 물성을 분석하기 위한 기초 실험

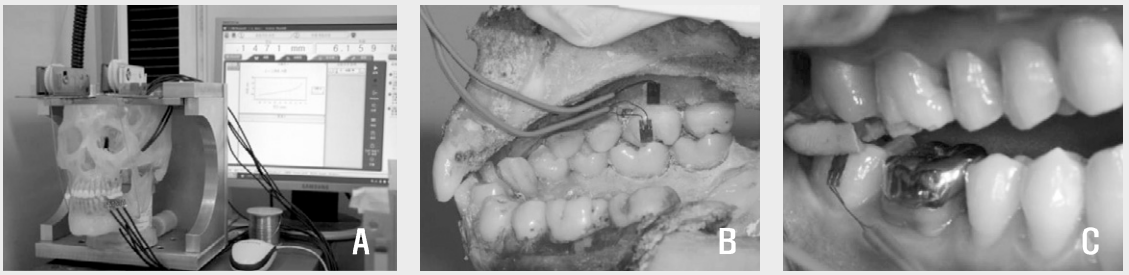

Fig. 4. 교합력 측정을 위해 스트레인게이지 신호 증폭의 보정을 위한 연구 과정. A: 만능시험기를 통한 모형실험(*in vitro*), B: 모형과 실제 치아-치주 조직에서의 연계를 위한 사체실험(*ex vivo*), C: 측정장비 개발에 필요한 제반 요건들을 찾아내기 위한 임상실험(*in vivo*).

감합위에서의 접촉점 분표 양상을 보는 Prescale과 T-scan과는 다르게, 상하악 교합공간 내에 음식물만을 자연스럽게 씹으면서 치아에 가해지는 압력을 측정할 수 있다는 점이다. 또한 측정하는 동안의 모든 움직임을 자료로 모음으로써, 다양한 구강 내 저작 운동에 따른 양상을 분석할 수 있는 것 또한 이 방법의 특징이다.

본교에서 개발한 교합력 측정 장비를 통하여 여러 임상 상황에서의 교합력 분포 양상을 분석한 바가 있는데, '임플란트 보철물의 교합 높이에 따른 임플란트 및 주위 치아에의 영향 분석' 연구에서는 선학들에 의해 논쟁이 되어 온, 임플란트 보철물의 교합을 인접치아와 균일하게 할 때와 교합지 두께만큼 낮게 한 조건에서 식빵, 당근, 육포 등의 음식물을 씹을 때 임플란트와 인접 치아에 가해지는 교합력을 분석한 실험을 하였다. 그 결과는 당근과 같이 탄력이 있으며 씹으면서 부서지는 음식의 경우, 두 가지 교합 높이에 따라 임플란트와 인접치아에 위해한 하중이 가해지지 않은 반면, 한국인이 즐겨 먹는 질기며 저작 과정 중에 얇게 펴지고 찢어지는 육포와 같은 음식은 임플란트 교합을 낮게 한 조건일 때에 인접치에 위해한 하중을 주어, 바람직하지 않은 것으로 분석한 사례가 있다.

교정 영역에서도 저작력 측정 장비로 제1소구치가 발거된 치아 모형에서 활주역학을 이용한 공간폐쇄 시 사용되는 폐쇄 코일 스프링의 탄성력 크기에 따른 최대 교합압을 비교함으로써 공간 폐쇄력이 최대 교합압에 미치는 영향에 대해 평가를 하였다. 결과는 교정용 와이어를 장착한 후 음식을 씹을 때 치아에 가해지는 교합력이 증가하는 양상을 관찰하였고, 코일 스프링을 통한 발치공간 폐쇄 시, 다시 교합력이 감소하는 현상을 관찰한 바 있다. 또한 현재 시중에서 판매되고 있는 츄잉껌을 저작할 때 치아에 가해지는 교합력을 분석하고 이에 따라 각종 껌의 성질을 분석하여 그 차이를 평가한 바가 있다(Fig. 7).

Ⅵ. 진단영역에서의 교합력 측정의 의의

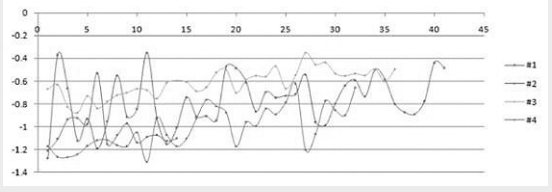

Fig. 5. 각기 다른 피험자에서 오징어 저작 시 치아에 가해진 교합력의 양상

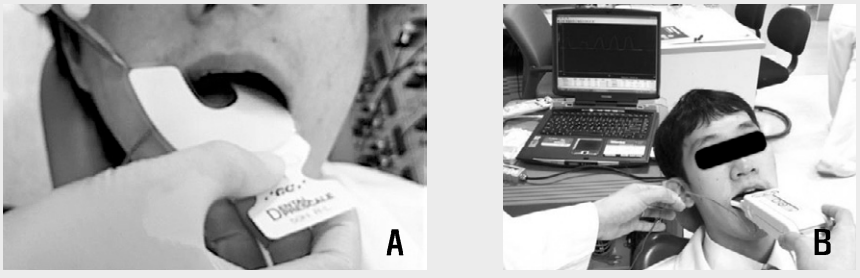

Fig. 6. 스트레인게이지 교합력 측정장비와 기존 레퍼런스 장비들과의 비교 실험. A: Prescale 시스템과의 비교 실험, B: T-scan III와의 비교 연구

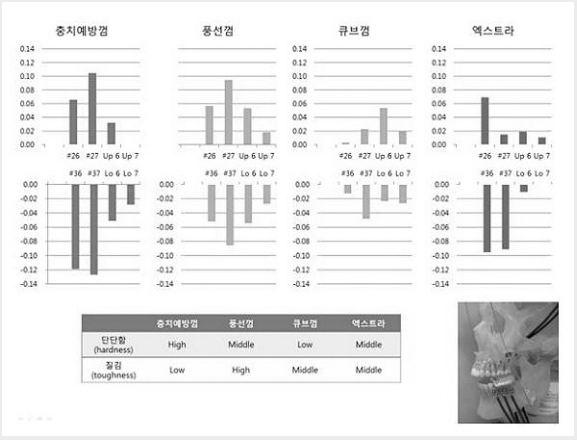

Fig. 7. 시중에 판매되는 츄잉껌을 저작할 때의 교합력 분석 실험

교합 분석 및 교합력 측정은 단순히 완성된 보철물을 구강 내에 맞추기 위한 교합 조정의 보조 도구 이상의 의미를 가질 수 있다. 금이 간 치아(crack tooth syndrome), 악관절 질환자의 교합조정 등, 원인을 쉽게 판별하기 쉽지 않은 증례에서의 진단 툴로 사용할 수 있으며, 수직고경 상실증례 등의 광범위한 보철치료나 교정 및 악교정 수술 등의 치료 전, 후의 구강기능 회복 정도를 객관적으로 자료화할 수 있다. 최근 대형 네트워크 치과에서 보조인력을 다수 동원하여 진료를 하고, 그 결과 진료의 질을 저하시키는 경우를 자주 볼 수 있다. 치료 전후의 교합 분석과 교합력 향상 여부 등에 대한 진단영역에서의 관심이 점차 커지고, 이를 통해 교합력 분석 장비가 고급 진료에 대한 수요를 창출하는 진단 도구로서 역할을 한다면, 최근 치과계의 이슈가 되고 있는 현안에 대한 돌파구가 될 수 있지 않을까 조심스럽게 기대한다.

또한 최근 노인 인구가 늘어남에 따라 치매(Alzheimer's disease)의 치료 및 예방에 관심이 높아지고 있다. 표 1에서 나타낸 바와 같이 우리나라는 65세 이상의 인구비율이 전체인구의 20%이상을 차지하는 초고령사회로 진입하는 속도가 다른 국가들에 비해 월등히 빨라 2026년에는 초고령사회에 진입할 것으로 OECD는 예측하고 있다. 이미 2006년에 초고령사회로 진입한 일본의 경우, 치매가 사회적 문제로 대두되면서 뇌인지학의 발달이 이루어졌고, 관련 연구의 결과로써 음식물을 저작하는 패턴이 뇌인지 활동을 증진시키고 치매 예방에 효과가 있다는 보고를 한 바 있다. 그러나 정확하게 저작시 발생하는 힘이 역

표 1. 인구고령화 속도의 국제적 비교 (OECD Factbook, 2009)

고령인구 비율국가	도달연도 7%	14%	20%	증가소요(년) 7%→14%	14%→20%
한국	2000	2019	2026	19	7
미국	1942	2014	2030	72	16
독일	1932	1972	2010	40	38
일본	1970	1994	2006	24	12

학적으로 어떠한 경로를 거쳐 뇌에 전달이 되며, 어느 정도 크기의 힘이 뇌인지 활동에 영향을 미치게 되는지는 역학적으로 밝혀진 바가 없으며, 이를 알아내기 위한 교합력 측정기기 역시 국내외에서 개발단계에 머물러 있는 실정이다.

저작능력과 뇌기능간의 상호연관성을 역학적으로 분석하기 위해서는 저작시 발생하는 교합력을 정확하게 측정하는 것이 가장 주요한 과제라고 할 수 있다. 그리고 여기서 측정하는 교합력은 사람이 이를 꽉 물었을 때의 최대 교합력을 의미하는 것이 아니라 생활 중에 반복적으로 발생하는 교합력, 즉, 음식을 씹을 때 발생하는 교합력을 의미하고 있다. 그러나 기존의 교합력 측정기기는 최대교합력만을 측정할 수 있거나 아니면 부정교합으로 인해 부분적으로 상, 하측 치아의 과다 마찰이 생기는 현상을 상대적인 수치를 이용하여 파악할 수 있는 목적으로 개발된 기기이므로, 본 연구에서 규명하려는 교합력을 정확하게 측정하기 어렵다. 따라서 개발중인 교합력 측정기기를 통하여 평상시 다양한 저작기능에서 발생하는 교합력을 정확하게 측정할 수 있고, 이러한 정보는 뇌기능과의 역학적 상호관계를 규명하는데 주요한 역할을 할 것으로 기대할 수 있다.

또한 측정된 교합력 데이터를 이용, 뇌기능과의 상호연관성을 규명함으로써 기존의 뇌 혈류 혹은 f-MRI를 통한 영상 분석방법에서 벗어나, 뇌기능과 관련된 질병의 원인을 역학적으로 분석하고, 이에 따른 예방책을 강구할 수 있는 중요한 기반이 될 것으로 기대할 수 있다. 더 나아가 앞으로는 정기적인 건강검진에서 교합력 측정을 통해 손쉽게 뇌기능의 노화정도를 예측할 수 있을 것으로 사료되어, 향후 국민 뇌건강 증

참 고 문 헌

1. Delong R, Douglas W. Development of an Artificial Oral Environment for the Testing of Dental Restoratives : Bi-axial Force and Movement Control. J Dent Res 1983;62:32-36.
2. Alemzadeh K, Raabe D. Prototyping Artificial Jaws for the Bristol Dento-Munch Robo-Simulator 'A parallel robot to test dental components and materials'. Proc Inst Mech Eng H 2008;222:1209-220.
3. Ortug G. A new device for measuring mastication force (Gnathodynamometer). Ann Anat 2002;184:393-6.
4. Koc D, Dogan A, Bek B. Bite force and influential factors on bite force measurements: a literature review. Eur J Dent 2010;4:223-32.
5. Lassila V, Holmlund I, Koivumaa KK. Bite force and its correlations in different denture types. Acta Odontol Scand 1985;43:127-32.
6. Ahlgren J, Owall B. Muscular activity and chewing force: a polygraphic study of human mandibular movements. Arch Oral Biol 1970;15:271-80.
7. Gibbs CH, Mahan PE, Lundeen HC, Brehnan K, Walsh EK, Holbrook WB. Occlusal forces during chewing and swallowing as measured by sound transmission. J Prosthet Dent 1981;46:443-449.
8. Shinogaya T, Bakke M, Thomsen CE, Vilmann A, Matsumoto M. Bite force and occlusal load in healthy young subjects--a methodological study. Eur J Prosthodont Restor Dent 2000;8:11-5.

참 고 문 헌

9. Garg AK. Analyzing dental occlusion for implants: Tekscan's TScan III. Dent Implantol Update 2007;18:65-70.
10. Kerstein RB. Computerized occlusal management of a fixed/detachable implant prosthesis. Pract Periodontics Aesthet Dent 1999;11:1093-102.
11. Bachus KN, DeMarco AL, Judd KT, Horwitz DS, Brodke DS. Measuring contact area, force, and pressure for bioengineering applications: Using Fuji Film and TekScan systems. Med Eng Phys 2006;28:483-8.
12. Sakaguchi RL, Brust EW, Cross M, DeLong R, Douglas WH. Independent movement of cusps during occlusal loading. Dent Mater 1991;7:186-90.
13. Toparli M, Gökay N, Aksoy T. An investigation of the stress values on a tooth restored by amalgam. J Oral Rehabil 1999;26:259-63.
14. Soares P, Santos-Filho P, Gomide H, Araujo C, Martins L, Soares C. Influence of restorative technique on the biomechanical behavior of endodontically treated maxillary premolars. Part II: strain measurement and stress distribution. J Prosthet Dent 2008;99:114-22.