

▣ 응용논문

한국형 척추교정기의 개발을 위한 인간공학적 접근
- An Ergonomics Approach for Developing Korean
Style Chiropractic Table -

정 화 식
Jung, Hwa Shik

Abstract

Spinal injuries are common these days and are increasing due to the increasing sports activities, auto-related accidents, and occupational incidences. Most of spinal injuries of strain and sprain are associated with trauma and resulted in loss of optimal musculoskeletal system in spinal column area. Some of these injuries requires surgical treatments. Fortunately, some people with spinal disorder are achieving outstanding results with the chiropractic care which utilizes muscle stimulation and strengthening, traction therapy, and spinal adjustments. These treatments using chiropractic table can ease pain by restoring alignment, improving mobility, and relieving pain and stiffness in neck and spinal areas. The purpose of this study was thus to gather the comprehensive information about spinal injuries, to define the specific dimensions, and to recommend functions of chiropractic table specially suited for Korean. This study was an integrated approach in applying the concepts of biomechanical correction of the musculoskeletal system. Also, this study was to utilize a knowledge of physics, ergonomics, and rehabilitation to the development of spine cure medicine.

1. 서론

최근 산업사회의 발달로 인한 산업재해, 교통사고, 그리고 스포츠·레저 활동의 증가로 인한 척추손상(Spinal Cord Injuries) 환자가 증가하고 있는 추세이다. 이러한 척추손상 중에는 특별한 사고에 의해서 발생하는 것뿐만 아니라 일상생활에서 무리한 운동이나 부적절한 자세로 무거운 물건들을 운반하거나 들어올릴 때 발생하는 척추손상도 많은 비중을 차지하고 있다. 일반적으로 척추손상의 70%는 외상에 의한 것이며 30%는 질병에 의한 것으로 보고되고 있으며 이들 중 외상으로 인한 척추 손상은 우리 나라의 경우 조사자(안재인, 1979; 이강목, 1980; 전영순 등, 1990)에 따라 다르나, 산업사고로 인한 척추 손상이 45.5%로 가장 많고 다음은 교통사고 및 추락사고 등으로 인한 척추손상이 각각 23.6%와 20.9%를 차지하며 그 외 스포츠 부상과 질병 등에 의한 손상이 나머지를 차지한다고 보고되고 있다(남용현 등, 1985).

* 동신대학교 산업공학과

** 이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

잘 알려진 바와 같이 척추 관련 질환 중 요통(Low Back Pains)은 전 인구의 60~80%가 일생에 한번 이상 경험하는 가장 흔한 질환의 하나이다. 요추질환(Lumbar Spine Disorders)으로 인한 산업노동력의 손실은 산업현장에서 크게 나타나고 있는데 우리 나라 전체 산업노동력의 약 20%가 요추질환으로 인한 고통을 받고 있다. 미국의 경우 이로 인한 노동력 손실 비용은 전체 산업재해 중 45%를 차지한다고 알려져 있다.

현재 우리 나라 척추재해 및 척추질환 환자 발생에 대한 체계적이고 정확한 조사와 보고가 이루어지고 있지는 않지만 최근 몇 년간의 산업재해 통계자료에 의하면 척추재해의 비율이 1993년에 4.92%에서 1997년에는 10.19%로 크게 증가하고 있다. 이러한 척추재해는 사회 활동이 요구되는 어느 연령층에서나 폭넓게 발생하고 있고 이러한 재해로 인하여 평생 장애자로 남는 경우가 빈번하게 나타나고 있다. 이로 인하여 결국 직장을 잃게될 뿐만 아니라 장애가 있는 상태로의 사회복귀에는 현실적으로 많은 어려움이 따르고 있어 신체적, 정신적 심리적 재활의 통합적 의료재활 대책이 절실히 강구되는 시점이다(오병훈, 1985).

이러한 이유 때문에 우리 인체의 가장 중요한 부분이라 할 수 있는 척추손상에 따른 치료 및 재활에 대한 관심이 높아지고 있으며 척추질환 환자에 대한 다각도의 치료법이 연구되어지고 있다. 현재 국내 척추질환의 치료에는 외과적 수술(Surgical Operation) 방법이 주로 시도되고 있으며, 이 외의 방법으로는 물리적 치료 및 재활의 일환으로 견인식(Traction) 치료기를 사용하는 방법과 지압술(Manual Therapeutics)에 의한 방법이 사용되고 있다. 이러한 치료법은 비용과 치료효과 측면에서 높은 성과를 거두지 못함으로써 최근까지 의학협회에서 치료 기기로서 인정되지 않았던 척추교정기(Chiropractic Table)를 이용한 교정치료법이 증가되고 있는 상태이다.

현재 국내에 사용되고 있는 척추교정기는 대부분이 외국제품의 수입에 의존하고 있는 실정 이어서 이들 제품이 한국인 피시술자 및 시술자의 체형에 적합하지 않은 것으로 조사되고 있다. 또한 좌식 생활을 많이 하는 한국인의 생활습관 때문에 요추(Lumbar Spine)부위의 척추질환이 서구인들보다 많이 발생(석세일 등, 1989)하지만 이 요추부위들을 보다 집중적이고 다각적인 방법으로 치료할 수 있는 척추교정기에 대한 연구개발이 미흡한 실정이며 의료계에서의 관심도가 낮은 현실이다. 흉추질환 환자는 요추질환 환자에 이어 두 번째로 많이 발생하고 있다. 한편 우리 나라의 척추교정 시술자는 요추와 흉추 부위를 분리해서 치료할 수 있는 4단식(4 Sections)을 선호하고 있다. 그러므로 한국인의 체형 및 척추질환 발생 현황에 따른 인간공학적 척추교정기의 연구개발이 요구되고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 각종 재해 및 일상생활에서 발생하는 척추재해 관련 통계자료와 척추질환의 유형들을 조사하고 문제점을 도출하여 이를 치료할 수 있는 척추교정기의 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 하며, 척추교정기의 설계에 있어서 생체역학 및 인간공학적 연구(Winter, 1979; Sanders, 1992; Hall, 1998)를 통하여 인간의 신체 부위별 해부학적 기능을 파악하고 척추질환의 유형에 따른 치료방법을 규명하고자 한다. 이를 위하여 현재 척추교정기를 사용하여 치료하는 시술자를 대상으로 심층 인터뷰와 척추교정기 제조업자를 대상으로 한 방문 조사 과정을 거쳐 한국인의 척추질환 현상과 체형에 맞는 척추교정기의 설계요건, 구조와 기능, 신체 부위별 적용 치료법 및 장래 기술개발 필요성에 대해 서술하였다.

2. 한국형 척추교정기 개발의 필요성

2.1 국내 척추재해 발생 및 척추교정기 사용 현황

현재까지 우리 나라에서 발생하는 척추질환 환자에 대한 통계자료는 각 종합병원 등에 내원한 환자에 대해서만 부분적으로 보고되고 있으나 보다 종합적이고 체계적인 조사가 이루어지

고 있지 않고 있다. 매년 노동부에 보고되고 있는 산업재해현황은 표 1에서 보는바와 같다. 1993년부터 1997년까지 최근 5년간 산업재해보상보험법 적용사업장에서 발생한 조사대상재해 상해 부위별 현황에 따르면 평균 척추재해 발생률은 전체 산업재해 중 6.6%를 차지하며 1993년을 기준으로 하였을 때 척추재해자수는 219명(5.18%)에서 1994년 172명(5.05%)으로 감소하였다가 1995년부터 다시 증가하는 추세를 나타내고 있다. 특히 1997년에는 355명(10.19%)으로 크게 증가했음을 알 수 있다(노동부, 1993-1997). 이는 안전관리 기준의 강화와 자동화 사업장의 증가 등으로 인한 전체 산업 재해율은 1993년 1.30%에서 1997년 0.81%로 감소하고 있으나, 산업재해로 인해 등부위를 포함한 척추재해자의 발생 비율은 다른 신체 부위에 비해 급격히 증가하고 있다는 것을 나타낸다. 척추와 관련된 재해는 일단 발생하면 다른 신체부위에 비해 치료 및 재활기간이 많이 소요되어 산업 생산성에 막대한 영향을 미칠 뿐만 아니라 막대한 경제적 손실이 수반된다는 것은 잘 알려진 사실이다.

표 1. 최근 5년간 조사대상재해 상해 부위별 현황(발생자수(%))

년도	머리 안면부	눈	목	어깨 팔	손 손가락	등 척추	몸통	다리 발 발가락	전신	기타	계
1993	559 (13.23)	34 (0.80)	30 (0.71)	200 (4.73)	1,607 (38.02)	219 (5.18)	186 (4.40)	412 (9.75)	324 (7.67)	656 (15.52)	4,227 (100.0)
1994	457 (13.4)	13 (0.38)	15 (0.44)	116 (3.4)	1,775 (52.04)	172 (5.05)	137 (4.02)	243 (7.12)	263 (7.71)	220 (6.45)	3,411 (100.0)
1995	430 (13.26)	24 (0.74)	15 (0.46)	130 (4.01)	1,592 (49.12)	192 (5.92)	160 (4.94)	229 (7.06)	297 (9.16)	172 (5.31)	3,241 (100.0)
1996	346 (13.93)	7 (0.28)	14 (0.56)	77 (3.1)	1,257 (50.62)	165 (6.64)	130 (5.24)	145 (5.84)	213 (8.58)	129 (5.20)	2,483 (100.0)
1997	562 (16.13)	10 (0.29)	22 (0.63)	87 (2.5)	1,539 (44.17)	355 (10.19)	152 (4.36)	230 (6.60)	293 (8.41)	264 (7.58)	3,484 (100.0)

척추재해와 관련하여 전영순 등(1990)이 보고한 산업재해 환자의 재활 현황에 관한 연구에 따르면 20대에서 40대까지의 사회적 활동이 많은 연령층에서 척추 재해 발생률이 대부분을 차지하고 있는데 이 연령층의 왕성한 사회활동에 기인한 것으로 판단되며 여성의 경우 남성보다는 발생비율은 낮지만 가사노동과 출산 후유증 등이 발병 원인으로 보고되고 있다(이석우, 1992).

척추재해의 원인별 분류는 각 척추부위에 따른 발생한 빈도를 나타낸 것으로 표 2에서 보는 것과 같이 척추재해의 주원인은 추락이 제일 많은 72건(45.9%), 협착 34건(21.7%), 타박상 26건(16.6%)의 순서이며, 척추 각 부위별 척추재해는 경추(Cervical Spine) 16.6%, 흉추(Thoracic Spine) 39.5%, 요추(Lumbar Spine) 42.0%, 천추(Sacrum) 1.9%로 나타났다(전영순 등, 1990). 이는 우리 나라에서 발생하는 척추 재해가 흉추와 요추 부위에 많으며 특히 요추부위가 가장 손상을 많이 받는다는 것을 알 수 있다.

표 2. 원인별 척추부위에 따른 척추재해 현황

구 . 분	추락	협착	타박상	교통 사고	충돌	찰과상	과로	감전	합계(%)
경추(Cervical Spine)	14	4	3	2	2	-	-	1	26(16.6)
흉추(Thoracic Spine)	24	17	7	6	3	3	2	-	62(39.5)
요추(Lumbar Spine)	34	12	16	3	1	-	-	-	66(42.0)
천추(Sacrum)	-	1	-	1	1	-	-	-	3(1.9)
합 계(%)	72(45.9)	34(21.7)	26(16.6)	12(7.7)	7(4.4)	3(1.9)	2(1.2)	1(0.6)	157(100)

최근 국내에서 척추교정기를 사용하고 있는 한방병원, 재활병원, 척추교정원, 활기원 등 총 63곳을 대상으로 직접 방문하여 심층 인터뷰한 결과를 통하여 현재 척추교정기를 사용하여 치

료하는 척추질환의 유형 및 특성과 사용자 측면에서 국내외 척추교정기에 대한 사용상의 문제점을 조사하였다.

먼저 척추교정기를 사용하여 치료하는 척추질환은 주로 척추의 변형과 척추의 추체간 변형 등이 있다(임상철, 1994; Guttmann, 1976). 본 조사에 따르면 척추의 변형으로서 척추 정중양의 측으로부터 척추가 측방으로 만곡 또는 편위(Side-to-side Curvature)되어 있는 척추측만증(Scoliosis), 불량한 자세와 상처 및 질병으로 인해 흉추부위가 후방만곡(Hunchback)을 이루고 있는 척추후만증(Kyphosis), 그리고 요추부위가 비정상적으로 전만만곡(Swayback)된 척추과전만증(Hyperlordosis) 등이 나타나고 있는데 이중 척추후만증이 가장 많이 나타나는 변형이었다. 또한 척추의 추체간 변형에도 기기를 사용하여, 추간판(Intervertebral Discs)의 내용물이 전·후방 및 추체로 돌출 되면서 방사통과 감각이상, 저림 등의 증상이 나타나는 추간판탈출증(Herniated Discs), 관절의 과도한 운동으로 관절부위의 인대, 근육 등의 손상과 부종(Strain)이 발생하게 되는 염좌(Strain)를 치료한다. 또한 척추 후궁의 협부에 편측 혹은 양측성 결손이 있는 척추분리증(Spondylolysis) 및 척추분리증이 진행되어 추체가 전방으로 전위된 상태의 전방전위증(Spondylolisthesis), 중양의 척추관 및 신경근이 나가는 추간공이 좁아져 요통과 하지에 여러 가지 신경 증상을 일으키는 경우의 척추관협착증(Spinal Stenosis) 등을 시술하고 있다.

조사대상에 대한 인터뷰 결과는 추간판 탈출증과 염좌가 가장 많이 나타나고 있으며 이들 변형에 대한 치료는 회복기간이 많이 소요되는 수술요법보다는 척추교정기를 이용한 물리적 치료 및 재활 요법이 선호되고 있으며 의료현장에서도 이 같은 이용증가 추세를 인식하고 있었다.

특히 척추교정기를 이용한 치료는 요통을 포함한 요추부위 추간판탈출증, 염좌, 척추관협착증 등의 치료 및 재활에 가장 많이 사용되었다. 따라서 본 연구는 최근의 척추교정기 사용률의 증대를 고려하여 이의 효율적인 사용 방식을 제안하고 우리 실정에 맞는 한국형 척추교정기의 개발에 대하여 심층적인 조사 연구를 수행 하고자 한다.

2.2 국내외 척추교정기 현황과 사용상의 문제점에 따른 개발 필요성

국내외 척추교정기 현황과 사용상의 문제점에 따른 한국형 척추교정기 개발의 필요성에 대하여 척추교정기를 많이 사용하고 있는 한방병원, 재활병원, 척추교정원, 활기원 뿐만 아니라 국내에서 척추교정기를 제작하고 있는 5개 생산업체를 대상으로 현재 척추교정기에 대한 사용상·제작상의 문제점들에 대해 조사하였다.

조사대상의 척추교정기 생산업체들은 국내 척추교정기의 내수시장이 크지 않고 기존 척추교정기의 개선 및 신규개발에 대한 투자의 효율성이 낮다고 판단하여 몇몇 중·소기업에서만 소량 주문 생산을 하고 있어 자체 개발보다는 대부분 외국제품을 모방하여 제작하고 있는 실정이다.

척추교정기 사용자를 대상으로 한 조사에 따르면 대부분의 척추교정기는 발목쿠션을 제외한 3단식과 4단식이 있으며 3단식은 요추와 흉추를 치료하는 쿠션(Cushion)이 붙어있고 4단식은 요추와 흉추가 따로 분리되어 치료하도록 되어있다. 시술시 흉추와 요추를 동시에 치료하는 3단식은 시술자의 힘이 많이 요구될 뿐만 아니라 치료에 있어서 좋은 성과를 올리기 어렵기 때문에 조사대상의 시술자 대부분이 흉추와 요추를 각각 따로 치료할 수 있는 4단식을 선호하고 있었다.

현재 국내에서 생산되는 제품에는 4단식 드롭(Drop) 유압식 신전기, 4단 자동 드롭 테이블, 회전식 타올 운동기 등으로 분류 될 수 있으며 이들의 주요 특징은 치료 부위에 따라 주로 경추쿠션(150~200mm), 흉추쿠션(200mm), 요추쿠션(250mm), 골반부쿠션(300mm) 등으로 구성되어 있으며 쿠션매트는 일반 침대 시트의 33%의 높이로 제작되고 있다. 척추교정기의 각 쿠션 부분은 독립해서 수직으로 들어올린 후 그 상태에서 각 부위별로 드롭운동이 가능하게 되어

있다. 또한 치료 시 상하를 벨트로 고정시킨 상태에서 골반부 운동을 지속적으로 가능하게 하는 교정동작을 수행할 수도 있다. 골반 및 하체 부위에 대한 신전 및 좌우회전, 측방운동, 상하 운동도 가능하다.

외국제품은 미국 Titan사의 수동식 Apollo로와 자동식 Nova, Lloyd Table Company의 Galaxy Mcmanis Elevation Table, Leander Eckard와 Leander TK-90 등이 있다. 주요특징은 굴곡(Flexion)의 범위, 속도, 시간 등을 정확하게 조절가능하며 환자의 체중에 따라 치료 시 요추만곡 상태를 자연스럽게 유지시킬 수 있어 급만성 디스크 치료에 효과적이고 자동 굴곡이 행해지는 동안 조절이 가능하다. Williams Healthcare Systems의 Zenith Cox Table과 Zenith II Table은 가장 많이 사용되고 있는 3단식 드롭과 4단식 드롭의 유형이다. 그림 1은 발목 쿠션을 포함한 5단식 외국제품의 평면도와 치수를 나타낸 그림이다.

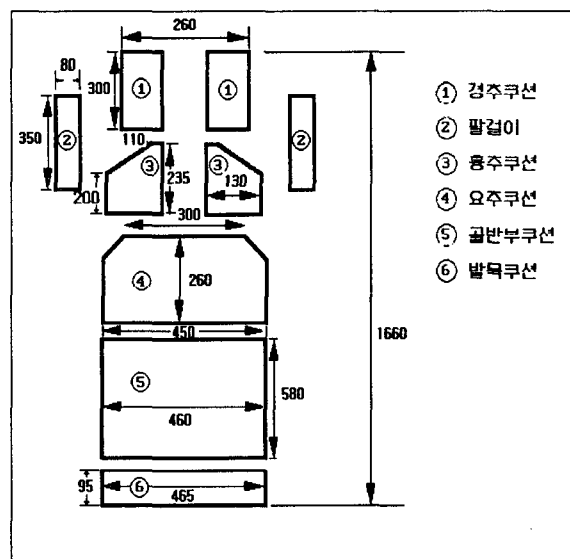


그림 1. 5단식(5 Sections) 척추교정기 제원(mm)

표 3에서보면 국내의에서 생산되는 척추교정기의 총길이는 통상 1660-1850mm로 연장 가능하게 되어 있다. 각 부위별 치수를 비교하여보면 큰 차이를 보이지 않고 있지만 척추교정기의 최저 높이는 우리 나라 사람들의 평균키가 서구인 시술자에 비해 작은 관계로 국내생산 제품의 최저높이가 더 낮게 설정되어 있다. 그리고 서구인의 경우 신체관절이 유연한 반면 우리 나라 사람들은 그에 비해 유연성이 떨어지기 때문에 척추교정기의 드롭낙차 부위가 외국제품보다 빠른 속도의 낙차가 요구되고 있다. 한편 국내 제품은 외국제품 가격의 절반 수준에 그치고 있다. 디자인 측면은 외국제품에 비해 절대적인 열세에 있으며 성능 면에서는 시술자가 사용시 무리한 힘이 요구되고 시술자의 시술높이 조절이 어려울 뿐만 아니라 자동식인 경우 에어 콤프레서의 재사용 시간이 많이 걸리는 단점이 있는 것으로 조사되었다.

표 3. 국내제품과 외국제품의 치수 비교(mm)

구분	세로		가로	
	국내제품	외국제품	국내제품	외국제품
경추부	295	300	260	265
흉추부	280	235	500	300
요추부	250	260	500	450
골반부	605	580	500	460
발목부	90	95	510	465

외국제품은 드롭의 높낮이 조절이 용이하고 디자인이 우수하다는 장점을 가지고 있으나 국내제품에 비해 가격이 비싸고, 외국인 체형위주로 설계되어 한국인의 치료에 최적이지 못하고 필요 이상으로 기계 조작장치가 많다는 단점이 있는 것으로 조사되었다. 또한 크기(L×W×H, 1730mm×560mm×580~800mm)가 너무 커서 공간을 너무 많이 차지할 뿐만 아니라 유압식인 경우 중량(150kg 이상)이 너무 무거워 이동이 자유롭지 못함으로써 우리 실정에 맞는 꼭 필요한 기능만을 갖춘 저렴한 보급형 척추교정기의 개발이 요구되는 것으로 조사되었다.

한편, 국내에서 척추교정기를 가장 많이 사용하고 있는 척추교정원, 한방병원, 활기원 등의 시술자들에 대한 면담결과는 국내의 제품간의 사용상 많은 차이가 있음을 발견할 수 있었다. 먼저 활기원의 경우, 가격이 저가인 국내제품을 더 선호하고 있었으며 사용 목적상의 주요 차이를 보면 척추질환 치료에 있어 척추의 교정에 중점을 두는 것이 아니라 피시술자의 척추 주변의 압축된 신경과 굳어진 근육 이완에 중점을 두어 치료하고 있다. 그러나 척추교정원과 한방병원은 주로 척추의 교정에 치료의 주목적을 두고 있었다. 아직까지 척추교정기에 대한 인식이 부족한 한방병원들은 외국제품을 사용하면서도 기계 조작장치가 필요이상으로 너무 많아 그 기능에 압도될 뿐만 아니라 사용법을 자세히 몰라 치료에 별 도움을 얻고 있지 못하는 못하고 있었다. 하지만 이들 기관들의 공통적인 의견은 척추교정기를 사용함으로써 적은 힘으로 시술이 가능하다는데 대체로 만족하고 있었다. 이 같은 조사 결과는 척추교정기가 대체로 잘 활용되고 있기는 하지만 척추교정기 개발 시 사용처에 따라서 기능을 확대 또는 축소시키거나, 기기의 주요 사용 목적을 염두에 둔 사용자 중심의 제품개발이 요구되고 있다는 점을 시사하고 있다.

3. 척추교정기 각 부분별 기능 및 치수에 관한 인간공학적 분석과 제안

척추의 잘못된 위치 교정, 압축된 신경과 경직된 근육을 이완시키기 위하여 척추교정기를 이용한 척추교정에 필요한 기본동작들은 척추교정기 각각의 섹션(Cervical, Thoracic, Lumbar, Pelvic Cushion)들이 독립적으로 작용하거나 인접 섹션에 상호작용 하여 치료되고 있다.

척추교정기의 기본동작에 의한 척추의 운동 방향과 흉추·요추의 가동역은 그림 2와 같으며 척추교정기의 각 섹션의 쿠션이 수직으로 올라가고 내려가는 기능은 굴곡(Flexion)과 신전(Extension) 운동을 일으키며 일반적으로 이 기능은 치료 시 같이 병행되어 사용되고 있다. 또한 쿠션의 뒤틀림에 의한 회전(Rotation)기능, 쿠션수평의 좌·우 옆으로 작용하는 측굴(Lateral Flexion) 등의 기능으로 이루어져 있다.

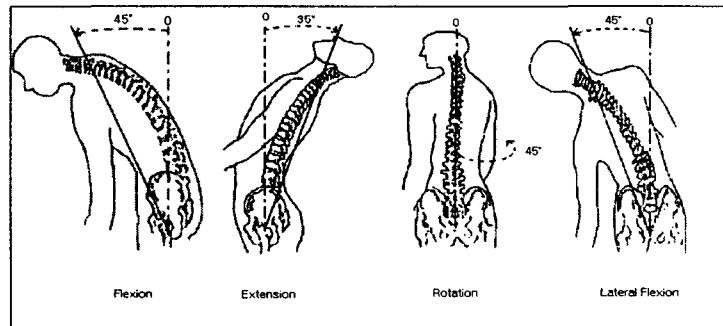


그림 2. 척추교정기의 기본동작에 의한 척추의 운동 방향과 가동역

척추교정기는 척추 각 부위별 치료를 위하여 경추, 흉추, 요추, 골반부, 발목쿠션 등의 5개

부분으로 구성되는 것이 바람직하며, 일반적으로 각 부분은 굴곡, 신전, 측굴, 그리고 회전 기능들을 독립 및 상호적으로 수행할 수 있어야 한다. 발목 쿠션의 경우 환자에 따라 길이를 조정할 수 있게 하며 이 부분은 치료할 때 단지 환자의 발목을 고정시키기 위한 목적으로 사용되기 때문에 여기서는 언급하지 않았다.

3.1 경추 쿠션(Cervical Section)

정상적으로 경추는 전만(Lordosis) 곡선을 유지한다. 이것은 직립을 유지하기 위한 이차적인 곡선으로서 자세의 균형과 또는 경추의 각 추체에 집중되는 머리의 무게를 고르게 분산시킴으로써 수직적 압박(Axial Compression)으로 인한 스트레스를 줄여주고 또한 경추의 자유스러운 운동성을 유지하는데 중요한 역할을 한다.

후두골과 환추(Atlanto-occipital)관절에서 발생하는 기본적인 운동성은 굴곡운동과 신전운동이며 이때 일어나는 움직임의 가동범위는 약 20도이다. 환추와 척추에서의 측굴 운동은 회전운동에 비해 매우 제한되어 있고 가동범위는 양쪽으로 약 5도 정도의 운동성을 보이며 경추의 C1 그리고 C2를 제외한 경추의 하단 부위는 굴곡 운동과 신전 운동에서 많은 유연성을 보이며 회전 운동과 측굴 운동은 경추의 아래 부위일수록 줄어든다. 경추 측굴 운동의 가동범위는 좌우로 약 10도이며 하단 경추로 내려갈수록 측굴 운동의 유연성은 점차로 줄어든다. 경추 회전 운동성은 측굴 운동과의 연결 운동을 발생케 한다(이주강, 1997; Gracovetsky and Farfan, 1986).

그림 3은 운동 방향에 따른 경추 전체의 가동범위를 보여주는 것으로 보통 건강한 사람의 경추관절이 가동할 수 있는 생리학적 가동 범위를 나타낸다. 경추의 소관절은 모든 가동범위의 방향으로 움직일 수 있도록 되어 있어 다른 어떤 부위의 척추보다 가동 범위가 넓다. 따라서 경추 쿠션은 일반적으로 어떠한 방향 및 각도로도 조정이 가능하며 그 방향으로 드롭을 자유로이 할 수 있어 신속한 치료 효과를 얻을 수 있도록 하여야 한다. 또한 경추는 다른 부위의 척추보다 가늘고 길면서 머리의 무게를 떠 받치며 넓은 가동 범위의 운동성을 가지고 있지만 외부의 충격에 쉽게 상처를 받을 수 있는 약점 있다. 그러므로 환자의 안면 형태에 따라 좌우 쿠션을 개폐 할 수 있고 작동레버는 쿠션의 좌우 양측에 장착되어 있게 함으로써 어느 위치에서도 무리 없이 시술이 가능해야 한다. 테이블의 경추부분에서는 흉추 견인(Traction) 및 측면 자세를 고정하는 동안 편안함을 주기 위한 수직 상하 조절 기능이 있어야 한다.

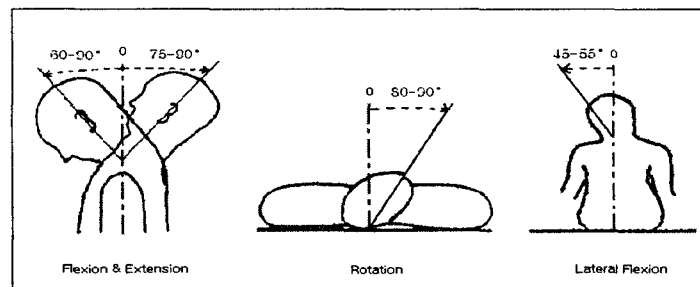


그림 3. 경추의 운동방향에 따른 가동 범위(각도)

경추의 전체 운동 범위에서 유추하여 볼 때 경추 쿠션의 운동범위는 그림 3에서 보는바와 같이 경추전체 움직임의 각도 이내에서 조절 할 수 있도록 범위를 설정하여야 한다. 한편 경추부 쿠션의 치수는 국립기술품질원(1997)의 '97국민신체표준치수를 기준으로 하여 인간공학적 측면을 고려하였다. 즉, 물건을 설계할 때 대상집단 모두에게 적합하여야 하는데 이를 위하여 설계 특징의 최대 집단치(Maximum Population Value) 또는 최소 집단치(Minimum Population Value)가 모든 사람들에게 맞는 것이라면 이 값을 적용하여 설계하는 것이 적절한 전략이다.

여기서는 성인의 상위 95 백분위수(95th Percentile)를 적용하여 이 보다 작은 사람들을 전부 수용할 수 있도록 경추부의 세로길이는 머리길이(251mm) + α , 가로길이는 머리두께(194mm) × 2 + α 로 설정하되 α 값은 시술자 및 피시술자의 여유공간 값으로 40~50mm가 된다.

경추 쿠션을 이용하여 치료할 수 있는 증상을 보면 경추과전만증, 경추분리증, 경추디스크돌출, 경추전만증, 경추확장변위, 경추굴곡변위, 경추측면굴곡변위, 경추전방전위, 경추과전만증 등이 있는데 이러한 증상의 치료는 대부분 환자가 엎드리거나 누운 자세로 경추부위를 굴곡(Flexion), 신전(Extension) 등으로 조작한 다음 시술자가 피시술자 옆부분에서 치료부위를 압박하여 치료하거나, 회전(Rotation)과 측굴(Lateral Flexion)을 이용한 척추교정기 치료 등이 있다.

경추 스트레치(Stretch)는 경추과전만증, 경추분리증, 경추디스크돌출, 경추전만증, 경추확장변위, 경추굴곡변위, 경추측면굴곡변위 등에 적용할 수 있으며 기기는 경추 확장이나 경추 측면 굴곡 운동 시행 등이 있는데 경추 스트레치를 시행하는 방법은 그림 4에서 보여주고 있다. 경추측만의 경우 경추 측방 변위에 적용하며 전체 척추골, 천골, 미골이 정상화 되도록 한다(Christensen, 1984).

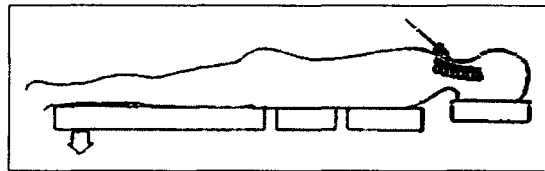


그림 4. 경추 스트레치(Cervical Distraction)

한편 척추교정기의 설계시 피시술자의 체형과 치료운동에 적합한 인간공학적 고려도 중요하지만 시술자에 대한 인간공학적 배려 또한 중요한 요소이다. Carey et al.(1995)에 의하면, 척추교정의(Chiropractor)의 60-70%가 척추교정기를 사용하여 시술할 때 경추를 포함한 어깨와 요추부위에 부담을 느끼고 있으며 평소에도 통증을 느끼고 있었다. 이는 척추교정기를 사용한 시술시 주로 테이블의 높이상 잘못된 손의 위치와 쿠션매트 하단부에 장착되어 있는 조정레버(Control Lever)를 사용할 때마다 반복적으로 허리를 굽혀야 하는 것에 기인한다. 또한 척추교정기 조절장치의 돌출로 인하여 시술자가 환자와의 거리를 최대한 밀착시키지 못하게 하는 장애물로 작용하기 때문에 생기는 요추부위의 전단운동력(Shear Force)에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 척추교정기를 사용한 시술시, 인간공학적 고려사항으로 시술자의 경추를 포함한 어깨와 요추부위에 무리를 주지 않으면서도 큰 힘을 낼 수 있는 시술자의 손의 높이는 선 자세에서 손목높이(손끝높이+손길이=성인남자 평균 833mm)에 가장 적합하므로 환자가 누웠을 때의 상부 높이로 임의 조정하여 시술하는 것과 환자와의 수평거리(Horizontal Distance)를 최대한 줄이는 것을 염두에 두어야 한다. 또한 조정장치의 위치는 될 수 있는 한 시술자가 허리를 굽히지 않고도 사용할 수 있는 발조작 제어장치(Foot Control)로 대체하는 것이 바람직하다. 이 와 같이 교정기 설계에 있어서 한국인 시술자 및 환자의 신체 특성을 고려하여야 한다.

3.2 흉추 쿠션(Thoracic Section)

흉추는 평균 45도의 후만(Kyphosis) 현상을 이루는데 1, 2번째 흉추 부터 시작하여 12번째 흉추까지 연결되고, 6, 7번째 흉추에서 후만의 정상을 이룬다. 흉추의 후만 현상은 흔히 오랫동안 앉아있는 생활습관으로 어깨를 앞으로 숙이는 자세로부터 발생한다. 흉추의 마디마디에서 발생하는 굴곡과 신전의 평균적 가동 범위는 약 6도이며 상부 흉추에서는 약 4도, 중부 흉추에서는 6도, 그리고 하부 흉추에서는 약 12도의 모습으로 가동 범위를 가지고 있다. 측굴시 흉추

의 평균적 가동 범위는 약 6도 정도이나 흉추의 하단 부위로 갈수록 가동 범위는 7~9도로 증가한다. 흉추의 측굴은 전반적으로 회전 동작과 함께 일어난다. 상부 흉추의 추체 마디에서 발생하는 평균적 회전의 모습은 약 8~9도이며 이 가동 범위는 하부 흉추로 향하면서 줄어든다.

흉추 쿠션을 이용하여 치료할 수 있는 증상은 흉추내전변위, 척추분리증, 척추저후만증 등이 있는데 이러한 증상의 치료는 대부분 환자가 엎드리거나 누운 자세로 흉추부를 굴곡, 신전, 회전, 측굴을 이용하여 치료한다. 특히 흉부 굴곡 스트레치는 그림 5와 같이 흉부내전변위, 척추분리증에 적용할 수 있으며, 기기는 어깨 확장, 어깨 수평외전, 어깨 내전 등에 사용된다. 표 4는 운동 방향에 따른 흉추 전체의 가동범위를 보여주는 것으로 흉추관절이 가동할 수 있는 생리학적 운동 범위를 나타낸다. 흉추는 척추의 어느 부위보다 가장 운동성이 적은 곳이나 흉추 기능 단위의 운동성과 인체 공학적인 모습에 변위가 발생하면 여러 임상적 문제를 일으킬 뿐만 아니라 자율 신경계에도 많은 영향을 준다. 또한 흉추와 늑골 사이의 관절은 예외적인 구조를 가진 척추로서 척추후만증 및 척추측만증과 같은 만성적으로 자세에 영향을 주는 임상적 문제가 발생하는 곳이다. 따라서 흉추 쿠션은 스프링 장력에 의해 스윙 및 전후좌우 Rotation 기능으로 바뀌며 스윙 또는 회전시 임의의 위치 및 각도에서 자유로이 조종할 수 있어야 한다. 또한 측면 만곡운동 정지 기능이 있어서 테이블 전면에서 측면, 정면으로 정지 가능하며 척추 특정부위 견인운동 기능과 복부 조절 기능이 있기 때문에 디스크 환자를 치료하기 위한 신경 운동 조절 기능을 할 수 있다.

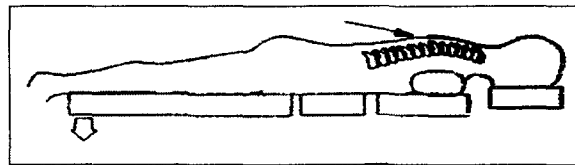


그림 5. 흉부 굴곡 스트레치(Thoracic Flexion Distraction)

표 4. 흉추의 운동방향에 따른 가동 범위(각도)

척추구분	운동방향(Motion)	정상범위(Normal Range)
흉추 (Thoracic Spine)	굴곡(Flexion)	25 - 45
	신전(Extension)	25 - 45
	측굴(Lateral Flexion-one side)	20 - 40
	회전(Rotation-one side)	30 - 45

경추 쿠션과 마찬가지로 흉추 쿠션의 운동범위는 흉추의 전체 운동범위 내에서 조절할 수 있도록 하여야 한다. 흉추부 쿠션의 치수에서 세로길이는 인간공학적 측면을 고려한 성인의 하위 5 백분위수(5th Percentile)를 적용함으로써 목염점~견갑아래 각점길이(220mm), 가로길이는 상위 95 백분위수를 적용하여 몸통너비(488mm)+ α 로 적용하는 것이 적절하며 α 값은 경추와 마찬가지로 시술자 및 피시술자의 여유공간 값으로 40~50mm가 적절하다고 판단된다. 여기서 세로길이를 하위 5 백분위수를 적용한 이유는, 만약 세로길이의 경우 최대집단치를 적용한다면 이보다 작은 사람들에게는 쿠션이 길기 때문에 치료 시 몸을 위쪽 또는 아래쪽으로 이동해야 하는 불편이 따르기 때문이다. 가로길이를 상위 95 백분위수를 적용한 이유는, 만일 최소집단치를 적용한다면 이보다 큰사람에게는 쿠션이 좁아 몸통을 전부 떠 받쳐 주지 못하기 때문이다.

3.3 요추 쿠션(Lumbar Section)

요추 마디의 굴곡과 신전의 복합된 평균 각도는 약 15도를 이루며 이 마디는 상방과 하방의

방향으로 변위 된다. 요추 마디 외측 굴곡의 평균적 가동 범위는 양쪽으로 약 6도이며 요추와 천골 마디의 외측 굴곡의 각도는 약 3도 이다. 요추의 수직축에서의 회전 현상은 매우 제한되어 있는데 특히 요추 마디의 가동 범위는 평균적으로 약 2도 정도의 매우 제한적인 가동 범위를 보인다. 요추의 상관절(Facet Joint)은 시상면(Sagittal Plane)의 모습으로 형성되어 요추의 회전 현상을 제한하고 있다. 요추에 회전 변위가 나타날 때 한 쪽의 상관 관절은 열리고 반대 쪽의 상관 관절은 닫혀지는 현상이 발생한다.

표 5는 운동 방향에 따른 요추 전체의 가동범위를 보여주는 것으로 요추관절이 가동할 수 있는 생리학적 운동 범위를 나타낸다. 이러한 요추는 몸무게의 하중으로부터 오는 부담과 일상 생활에서 요구되는 여러 인체 공학적인 문제를 담당해야 한다. 이러한 몸무게를 지탱해야 하는 인체 공학적 부담은 결과적으로 요추에 많은 임상적 문제를 발생하게 한다.

표 5. 요추의 운동방향에 따른 가동 범위(각도)

척추구분	운동방향(Motion)	정상범위(Normal Range)
요추 (Lumber Spine)	굴곡(Flexion)	40 - 60
	신전(Extension)	20 - 55
	측굴(Lateral Flexion-one side)	15 - 25
	회전(Rotation-one side)	5 - 18

요추 쿠션을 이용하여 치료할 수 있는 증상을 보면 디스크돌출, 후관절증후군, 척추전방전위증, 척추분리증, 척추과전만증, 척추측만, 좌골신경통, 요추후관절증후군, 요추전방굴곡변위, 추간연골돌출 등이 있는데 이러한 증상의 치료는 대부분 환자가 엎드리거나 누운 자세, 옆으로 누운 자세 등으로 요추부를 굴곡, 신전, 회전, 측굴 등을 이용한다.

요추 굴곡 스트레치법은 디스크돌출, 후관절증후군, 척추전방전위증, 척추분리증, 척추과전만증 등에 적용하며 기기는 몸통굴곡, 몸통확장, 몸통측면굴곡 등의 운동을 시행한다. 요추확장 스트레치법은 그림 6과 같이 특수한 확장변위, 척추과전만증에 적용하며 기기는 몸통굴곡, 몸통확장, 몸통측면굴곡등의 운동을 시행하여 치료한다. 지속적인 요추 굴곡 스트레치는 척추분리증, 요추후관절증후군, 극단적요추확장전위에 적용하며 기기는 몸통굴곡, 몸통확장, 몸통회전 및 측면굴곡 운동으로 치료한다.

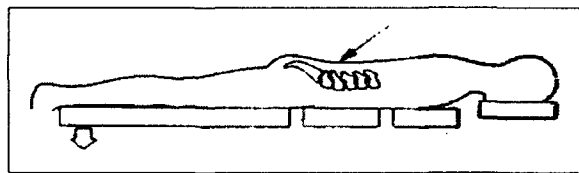


그림 6. 요추 확장 스트레치(Lumbar Extension Distraction)

요추 쿠션은 일반적으로 이들 치료에 적용하며 스프링 장력에 의해 스윙 및 전후좌우 Rotation 기능으로 바뀌며 전후스윙 또는 좌우회전 시 임의의 위치 및 각도에서 자유로이 조종할 수 있어야 한다. 또한 측면 만곡운동 정지 기능이 있어서 테이블 전면에서 측면, 정면으로 정지가 가능하며 척추 특정부위 견인 운동 기능을 할 수 있어야 한다.

요추의 전체적인 움직임의 각도를 고려할 때 요추 쿠션의 운동범위는 요추 부위의 운동범위 이내에서 조절할 수 있도록 범위를 설정하여야 한다. 요추 쿠션의 경우 세로길이는 흉추 쿠션 부위와 마찬가지로 하위 5 백분위수를 적용하여 등길이(395mm)-목옆짐~견갑아래 각점길이(220mm), 가로길이는 상위 95 백분위수를 적용하여 엉덩이너비(350mm)+ α 로 적용하여 설정한다.

3.4 골반부 쿠션(Pelvic Section)

골반은 후면에 2개의 천장관절(Sacroiliac Joint)과 전면에 치골결합(Symphysis Pubis) 등 3개의 관절로 이루어져 있다. 장골쪽의 관절면은 천골(Coccyx)쪽의 관절 면보다 조금 넓게 형성되어 있으며 천장골의 관절은 후면의 방향으로 또는 전면의 방향으로 움직임을 발생케 하며 또한 관절을 중심으로 회전이 가능하게 한다.

골반부 쿠션을 이용하여 치료할 수 있는 증상을 보면 천골확장변위, 천골굴곡변위, 천골측면굴곡변위, 전상방장골, 후하방장골, 외방장골, 내방장골 등이 있는데 이러한 증상의 치료는 요추와 같이 환자가 엎드리거나 누운 자세, 옆으로 누운 자세 등으로 골반부를 굴곡, 신전, 회전, 측굴을 이용하여 치료한다.

따라서 골반부 쿠션은 환자의 중량에 따라 유압을 조절할 수 있어 항상 일정한 힘으로 굴곡을 행할 수 있으며 측굴에 의한 척추측만증 환자의 치료가 가능하여야 한다. 골반부 쿠션의 경우 세로길이는 요추부위 쿠션과 동일하게 하위 5 백분위수를 적용하여 장골극높이(849mm)-무릅마디안쪽높이(409mm), 가로길이는 상위 95 백분위수를 적용하여 엉덩이너비(350mm)+ α 로 적용하여 설정한다.

위와 같은 분석과정을 통하여 한국형 척추교정기 각 평면부분의 설계 시 적용 신체부위 및 치수제안에 대한 내용을 표 6에 요약하였다.

표 6. 제안된 한국형 척추교정기의 제원

구분	세로(Length)		가로(Width)	
	적용 신체 부위	권장치수(mm)	적용 신체 부위	권장치수(mm)
경추부	머리길이(251mm)+ α^*	301	머리두께 $\times 2 + \alpha$	246
흉추부	목옆점~견갑아래 각점길이	220	몸통너비+ α	538
요추부	등길이-목옆점~견갑아래 각점길이	175	엉덩이너비+ α	400
골반부	장골극높이-무릅마디안쪽높이	440	엉덩이너비+ α	400

* α 값은 50mm를 적용함.

4. 토의 및 결론

본 연구는 척추교정기를 많이 쓰고 있는 척추교정원, 재활병원, 한방병원, 활기원 등 63개 기관을 대상으로 기기 사용실태, 기기 사용능력, 기기 사용상의 문제점을 조사하였다. 또한 국내에서 제조되고 있는 5개 제조업체 기기의 가동범위 및 기능상의 문제점을 조사하였으며 실제 제조공장을 방문하여 이들 업체의 기기 제조과정 및 제조능력 등을 점검하였다.

국내에서 생산되는 척추교정기는 총길이와 높이를 제외하고는 제원상으로는 외국제품과 큰 차이를 보이지 않지만 실제 시술자의 측면에서 볼 때 드롭낙차에 있어서 속도가 느리거나 작동레버의 위치가 적절하지 못하며 작동이 어렵고 시술하는데 있어 필요이상의 힘이 요구되는 단점이 있었다. 그리고 기기의 높이 조절기능이 자유롭지 못한점 또한 중요한 단점으로 지적되었다. 외국제품은 흉추구션과 요추구션의 가로 길이에 있어 상대적으로 요추가 약 50% 정도 길게 설계되어 있으나 국내제품은 흉추, 요추, 골반 쿠션 등이 동일한 치수를 보이고 있다. 이 같은 문제점은 인체특성을 고려하지 않고 제작 편의성에 기인 한 것으로 보며 이 문제점의 해결은 인간공학적인 각 쿠션의 상대적 부위 치수를 산정 하여야 하며 한국인의 표준신장을 고려하여야 할 것으로 조사되었다. 따라서 한국적인 척추교정기의 설계는 국내 척추질환자의 대부분이 요추와 흉추질환자로서 이를 효과적으로 치료하기 위한 4단 드롭식이 도입되어야 한다.

또한 우리 나라 척추질환 환자의 체형뿐만 아니라 시술자의 체형에 적합한 기본모형 개발이 요구되며 높낮이, 길이, 기능작동 레버 등이 융통성 있게 조절, 배치 될 수 있어야 한다.

인터뷰 조사결과 비교적 규모를 갖춘 치료기관인 한방병원 같은 곳은 대부분 외국산 척추교정기를 구입하여 사용하고 있었고 외국산 기기의 성능에 대체로 만족하고 있는 것으로 나타났다. 이들은 교정 기기가 시술에 효과적이라고 느끼고 있어 향후 관련 기관들의 사용이 증가할 것으로 보이며 따라서 기기의 시장 규모는 커질 것으로 예상된다. 그러나 규모가 작은 척추교정원과 활기원 등은 국내제품을 사용하거나 척추교정기가 아닌 유사 단순 교정 기기를 사용하고 있었다. 조사대상 시술기관은 외국산 제품에 대해서는 가격이 국내제품 보다 2배 이상으로 너무 고가 장비라고 하였으며 기기 들의 총 길이에 있어 너무 길다거나 흉추부가 짧거나 하는 등 우리 나라의 표준체형과 맞지 않게 제작되어 불편한 점이 많다고 하였다. 또한 외국산 기기의 다양한 기능을 제대로 활용하지 못하고 있으며 매뉴얼이 영문으로 되어있어 기능을 익히는 데 어려움이 있다고 하였다. 또한 기기 사용에 대한 작동법의 시범이나 교육을 받지 못했으며 사용경험이 있는 선임자로부터 최소한의 기능만을 배웠다고 응답하기도 하였다.

조사결과를 요약하자면 척추교정기 시장은 증가 할 것이며 일정 성능을 갖추고 신뢰성 있는 저렴한 국산 기기 보급이 요구되고 있다는 것이다. 무엇보다도 우리 나라의 체형에 적합하며 시술업소 마다 사용기능이 다름으로 해서 다양한 형태의 기기 제작이 요구되고 있어 사용자별 기기 개발이 필요하다. 또한 표준화된 제품사용 매뉴얼 제작과 기기 작동법에 대한 교육도 필요한 것으로 조사되었다.

척추교정기를 제작하는 업체를 대상으로 인터뷰 및 방문 조사한 결과는 대부분 중소기업으로서 인간공학적 측면이나 임상학적인 데이터가 없이 외국제품을 모방하여 제작하고 있는 실정이었다. 이들 업체들의 전문 기계설계기사를 보유하고 있지 않았으며 기술개발 투자에 대해서는 엄두를 내지 못하고 있었다. 정밀기계로서 기기 특성이나 임상학적 중요성에 비추어 대기업의 참여로 자체 기술개발을 통하여 기능이 강화된 제품을 생산하여야 하며 현재의 수입제품 일변도를 벗어나거나 다양한 모델을 개발하여야 함에도 현재의 작은 시장규모로 인하여 현상상태에 머무는 것으로 판단되었다.

이와 같은 시장 및 업체 특성을 고려 할 때 관련 전공 교수 또는 연구원으로 구성된 산학협동 개발팀을 구성하여 중소기업 업체와 공동기술개발 또는 자체 개발하여 업체에 기술을 공여하는 방식이 필요하다. 산학협동팀은 인간공학 전문가를 비롯하여 기계설계, 인체임상, 산업디자인 전문가들로 구성하여 연구개발을 추진 할 수 있을 것이다. 본 연구는 국내 척추교정기를 사용하는 시술기관 및 제조업체를 대상으로 기기의 사용현황과 성능 및 문제점을 도출하는데 그쳤으나 향후 척추교정기의 제조, 기술개발, 사용법에 대한 세미나 등이 개최되고 구체적인 기술개발 및 교육이 추진되어야 할 것으로 본다. 또한 척추교정기 사용에 대한 임상 데이터가 전무한 것으로 조사되었는데 기기의 성능과 시술성과에 대한 검증이 필요하다. 가까운 장래에 기기의 표준화 작업이 있어야 하며 ISO 인증제도 등이 도입되어야 할 것으로 판단된다.

현재 선진국에서는 다양한 척추교정기가 생산되어 각 분야에서 사용되고 있다. 척추교정 시술기관 등은 고도 정밀성이 요구되는 고가의 척추교정기를 사용하고 있으며 일상생활에서 무리한 행동과 자세불량으로 인한 척추 이상에 대한 치료를 위하여 산업체 또는 일반가정에서도 휴대용 기기 등을 구입하고 있다. 이는 향후 척추교정기에 대한 다양한 시장이 형성될 것으로 보인다. 예컨대 스포츠팀이나 척추사용 강도가 높은 산업현장을 대상으로 근육이완이나 마사지용으로 개발 할 수도 있을 것이며 만성적인 척추환자를 위하여 가정용으로도 개발 할 수 있을 것이다.

본 연구결과는 아직까지 우리 나라에서는 이 분야에 대한 연구가 활발하지 않으므로 추후 척추교정기에 관한 연구 및 개발자에게 중요한 기초자료가 될 뿐만 아니라 보건진료학 및 재활의학 분야 등 관련분야의 기반기술 및 학문발전에 도움이 될 것이라고 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 국립기술품질원(www.nitq.go.kr); '97국민표준채워조사, 국립기술품질원, 1997.
- [2] 남용현, 전영순, 성인영, 강성관, 오정희; "척추 장애자 실태 분석." 대한재활의학회지, 9(2), 120-124, 1985.
- [3] 노동부; 산업재해분석, 노동부, 1993-1997.
- [4] 석세일, 이춘성, 노민, 김원중; "한국 성인의 하부 흉추 및 요천추부 분절 시상만곡에 관한 연구." 대한정형외과학회지, 24(1), 237-244, 1989.
- [5] 안재인; "척추손상에 관한 임상적 연구," 연세대의학논문집, 1979.
- [6] 오병훈; "척추손상의 재활." 최신의학, 28, 19-22, 1985.
- [7] 이강목; "한국에 있어서의 척추장애자 실태조사." 대한의학협회지, 23(9), 799-805, 1980.
- [8] 이석우; "척추손상 환자의 응급처치 및 초기관리," 연세대의학논문집, 1992.
- [9] 이주강; 임상적 추나 촉진법, 대한 추나학회 중앙 정기 학술세미나, 1997.
- [10] 임상철; 척추질환의 101가지, 금성사, 1994.
- [11] 전영순, 김경희, 오정희; "산업재해 환자의 재활 현황에 관한 연구." 대한재활의학회지, 14(1), 59-69, 1990.
- [12] Carey, T. S., et al.; "The Outcomes and Costs of Care for Acute Low Back Pain among Patients Seen by Primary Care Practitioners, Chiropractors, and Orthopedic Surgeons." New England Journal of Medicine, 333, 913-917, 1995.
- [13] Christensen, K.; Clinical Chiropractic Biomechanics, Educational Division Foot Levelers, Inc., Roanoke, Virginia, 1984.
- [14] Gracovetsky, S. and Farfan, H.; "The Optimum Spine." Spine, 11, 543-571, 1986.
- [15] Guttman, L.; Spinal Chord Injuries, 2nd Ed., Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1976.
- [16] Hall, Susan J.; Basic Biomechanics, McGraw-Hill, 1998
- [17] Sanders, M. S. and McCormick, E. J.; Human Factors in Engineering and Design, 7th Ed., McGraw-Hill International Editions, 1992.
- [18] Winter, David A.; Biomechanics of Human Movement, John Wiley & Sons, 1979.