대한방사선의학회지 2003;49:345 - 354

환추와 축추의 출생 후 발달에 관한 CT 연구[1]

변성수 · 김형진 · 임명관 · 김원홍 · 전용선 · 김정호 · 김성태

목적: CT를 이용하여 영아와 소아에서 환추와 축추의 출생 후 발달 과정을 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 14세 미만의 정상 소아 200명을 대상으로 하여 전향적으로 CT 소견을 분석하였다. CT의 분석은 환추와 관련된 2개와 축추와 관련된 5개 등 총 7개의 연골결합 또는 골화점을 대상으로 융합의 정도에 따라 grade 1 - 5의 등급으로 분류하였고 이를 저등급 결합(grade 1 - 3)과 고등급 결합(grade 4 - 5)으로 구분하여 각각의 발달 과정을 분석하였다.

결과: 환추의 neurocentral synchondrosis는 5세 미만에서는 모두 저등급 결합을 보였고, 9세 이상에서는 모두 고등급 결합을 보였다. 환추의 posterior synchondrosis는 3세 미만에서는 97%에서 저등급 결합을 보인 반면, 3세 이상에서는 99%에서 고등급 결합을 보였다. 축추의 neurocentral synchondrosis는 3세 미만의 소아에서는 모두 저등급 결합을 보였고, 5세 이상에서는 97%에서 고등급 결합을 보였다. 축추의 posterior synchondrosis는 6개월 미만에서는 2명 모두 저등급 결합을 보였고, 2세 이상에서는 모두 고등급 결합을 보였다. 축추의 dento - central synchondrosis는 3세 미만에서는 93%에서 저등급 결합을 보였고, 5세 이상에서는 96%에서 고등급 결합을 보였다. 축추의 intradental synchondrosis는 모든 소아에서 고등급 결합을 보였다. terminal ossicle은 2세 미만에서 11%, 5세 이상에서는 99%에서 골화가 관찰되었다. terminal ossicle과 하부 치상돌기와의 융합은 5세 미만에서는 49명 모두 저등급 결합을 보였으나, 9세 이상에서는 97%에서 고등급 결합을 보였다.

결론: CT는 환추와 축추의 출생 후 정상 발달 과정을 이해하는데 유용하며, 이에 대한 지식은 이 부위에 발생할 수 있는 선천성 기형을 이해하고 골절과의 감별을 용이케 하는데 큰 도움이 될 것이다.

두경부접합부(craniocervical junction)는 기능적으로 신체위에서 머리의 움직임을 지지해 주는 역할을 하는 해부학적 구성 단위로 대후두공(foramen magnum)을 둘러싸는 후두골(occpital bone), 환추(atlas, C1), 축추(axis, C2) 등의 골구조물, 환추 - 후두관절(atlanto - occipital joint)과 환축관절(atlantoaxial joint) 등의 관절 및 이들을 지지하는 인대로 구성되어 있다(1).

환추는 추체와 극돌기(spinous process)가 없으며 짧은 전궁(anterior arch)과 긴 후궁(posterior arch)으로 구성되어 있는데, 발생학적으로 1개의 전방 골화중심(ossification center)과 2개의 외측 골화중심에서 발달된다(Fig. 1A). 축추는 위로 돌출된 치상돌기가 특징적으로 5개의 일차 골화중심으로부터 발달하는데, 추체에 1개, 신경궁 및 치상돌기에 각각 2개가 위치한다(Fig. 1B). 출생 시 환추와 축추의 골화중심들은 연골결합(synchondrosis)에 의하여 연결되어 있는데, 융합 이전의 연골결합들은 단순방사선촬영검사에서 방사선투과성의 선 또는 띠 형태로 관찰되어 골절 또는 골이형성 (osseous dysplasia)과의 감별에 주의를 요한다. 출생 후 이 연골결합들은 각각 다른 시기에 인접한 골화중심과 점차적으로 융합이 이루어진다.

이러한 융합 이전의 연골결합은 불안정하여 외상에 의한 골절을 일으킬 수 있는 잠재적 위험이 있고, 두경부접합부의 발달 이상도 드물지 않다. 따라서, 두경부접합부의 출생 후 정상 발달에 관한 지식은 이 부위에 발생할 수 있는 선천성 기형을 이해하고 골절과의 감별진단을 용이하게 하는데 필수적이다. 두경부접합부의 출생 후 발달 과정에 관한 국내외적 방사선학적 연구는 흔치 않으며(2 - 4), 특히 이에 대하여 CT를 이용한 체계적인 연구는 국외적으로도 Calvy 등(4)에 의한 연구

[1]인하대학교 의과대학 방사선과학교실
이 논문은 2003년도 인하대학교 교수연구진흥비 (#30198 - 01)로 지원 받아 발표한 연구실적물임.
이 논문은 2003년 7월 2일 접수하여 2003년 9월 17일에 채택되었음.

가 고작이다. 이 연구의 목적은 한국인 소아에서 CT를 이용하여 환추와 축추의 출생 후 연령에 따른 정상 발달 과정을 알아보기 위함이다.

대상과 방법

뇌 또는 안면부 CT를 촬영하였던 14세 미만의 소아 중 선천성 두개기저부(skull base) 및 경추 기형이나 이상 발달이 없는 200명을 대상으로 하여 환추와 축추의 발달 양상에 관한 전향적 연구를 시행하였다. 200명 중 남아가 119명, 여아가 81명이었고 연령분포는 33일에서 13세까지였다(Table 1). CT는 HiSpeed Advantage 나선식 스캐너(GE Medical Systems, Milwaukee, Wis, U.S.A.)를 사용하였고, 고공간해상연산법(high spatial frequency algorithm)으로 2-3 mm의

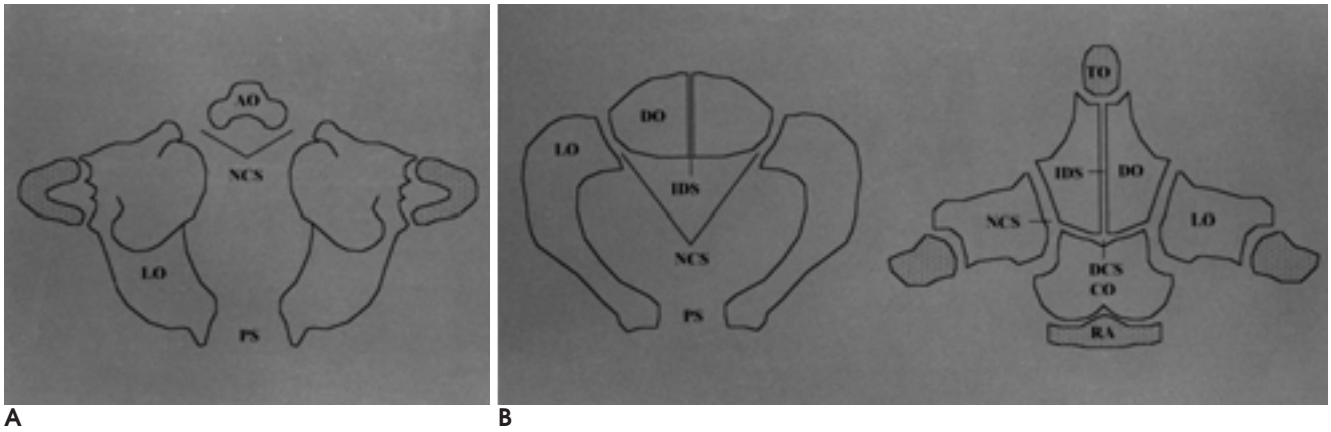

Fig. 1. Schematic drawing of the ossification centers and synchondroses of the developing atlas (**A**) and axis (**B**). The secondary ossification centers are denoted by dotted areas. AO = anterior ossification center, CO = central ossification center, DO = dens ossification center, DCS = dentocentral synchondrosis, IDS = intradental synchondrosis, LO = lateral ossification center, NCS = neurocentral synchondrosis, PS = posterior synchondrosis, RA = ring apophysis, TO = terminal ossicle.

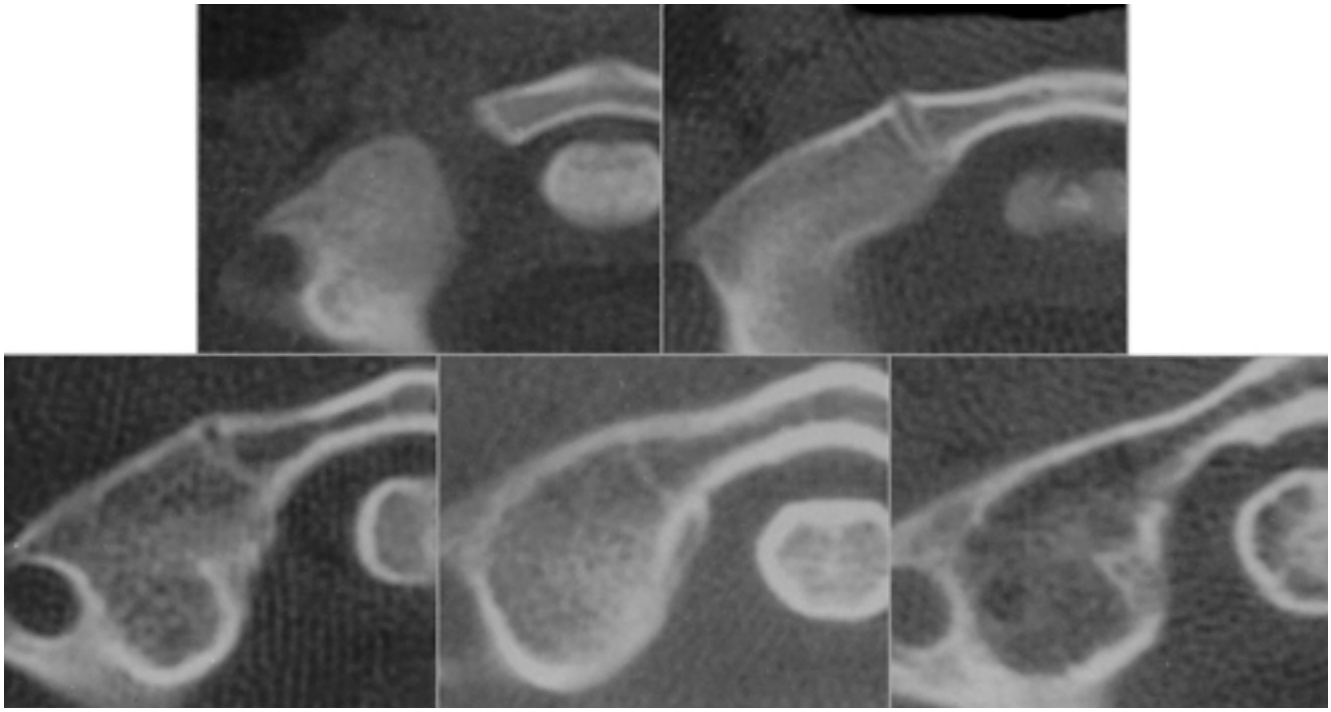

Fig. 2. Five-tier scheme for grading fusion of synchondrosis at CT.
Grade 1 (top left), Margins of the synchondrosis are clearly separated on all CT sections; Grade 2 (top right), Clear separation of the synchondrosis is seen on most sections, but some areas are indistinct or suspicious for osseous bridge; Grade 3 (bottom left), Area of fusion or bridging across a portion of the synchondrosis is definitely seen; Grade 4 (bottom middle), Complete fusion of the synchondrosis with remnant sclerotic margins is seen; Grade 5 (bottom right), Complete closure is seen with no apparent vestige remaining.

절편 두께와 테이블 이동속도로 촬영하였다. 65명에서는 축상스캔(axial scan)과 관상스캔(coronal scan)을 모두 얻었고, 35명에서는 축상스캔만을, 그리고 100명에서는 관상스캔만을 시행하였다. 축상스캔은 두개기저부로부터 C2 - C3 추간판까지 추간판면과 평행하게 영상을 획득하였고, 관상스캔은 환아를 복와위 상태에서 경부를 과신전(hyperextension) 시킨 후 환추와 축추가 완전히 포함되도록 하여 추간판면과 수직되게 영상을 획득하였다. 획득한 영상은 2 - 3 mm 간격으로 bone window setting으로 영상을 재구성하였다.

CT의 분석은 환추와 관련된 neurocentral synchondrosis와 posterior synchondrosis 등 2개의 연골결합과 축추와 관련된 neurocentral synchondrosis, posterior synchondrosis, dentocentral synchondrosis 및 intradental synchondrosis 등 4개의 연골결합, 그리고 이차 골화중심(secondary ossification center)인 terminal ossicle 등 총 7개의 구조물에 대하여 연령에 따른 발달과정을 분석하였다. 이 중 환추의 neurocentral synchondrosis와 환추와 축추의 posterior synchondrosis는 축상스캔을 시행한 100명의 환아에서 분석이 가능하였고, 축추의 dentocentral synchondrosis와 terminal ossicle은 관상스캔을 시행한 165명의 환아에서 분석이 가능하였으며, 축추의 neurocentral synchondrosis와 intradental synchondrosis는 축상 또는 관상스캔을 시행한 200명 모두에서 분석이 가능하였다.

연골결합의 융합 정도는 Madeline과 Elster(5)가 두개기저부의 봉합선과 연골결합의 발달과정에 관한 연구에서 사용하

Table 1. Subjects Demography

Age	No. of subjects	
	Boys	Girls
< 6 m	2	0
< 12 m	7	5
< 24 m	16	6
< 3 y	11	6
< 5 y	10	11
< 7 y	23	17
< 9 y	25	23
< 14y	25	13
Total	119	81

Table 2. Grade Fusion of Neurocentral Synchondrosis of the Atlas

Age	No. of subjects					Total
	Low-grade fusion			High-grade fusion		
	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5	
< 6 m	2	0	0	0	0	2
< 12 m	8	0	0	0	0	8
< 2 y	11	0	0	0	0	11
< 3 y	8	0	0	0	0	8
< 5 y	4	2	0	0	0	6
< 7 y	3	5	4	3	3	18
< 9 y	1	3	10	8	3	25
< 14 y	0	0	0	6	16	22
Total	37	10	14	17	22	100

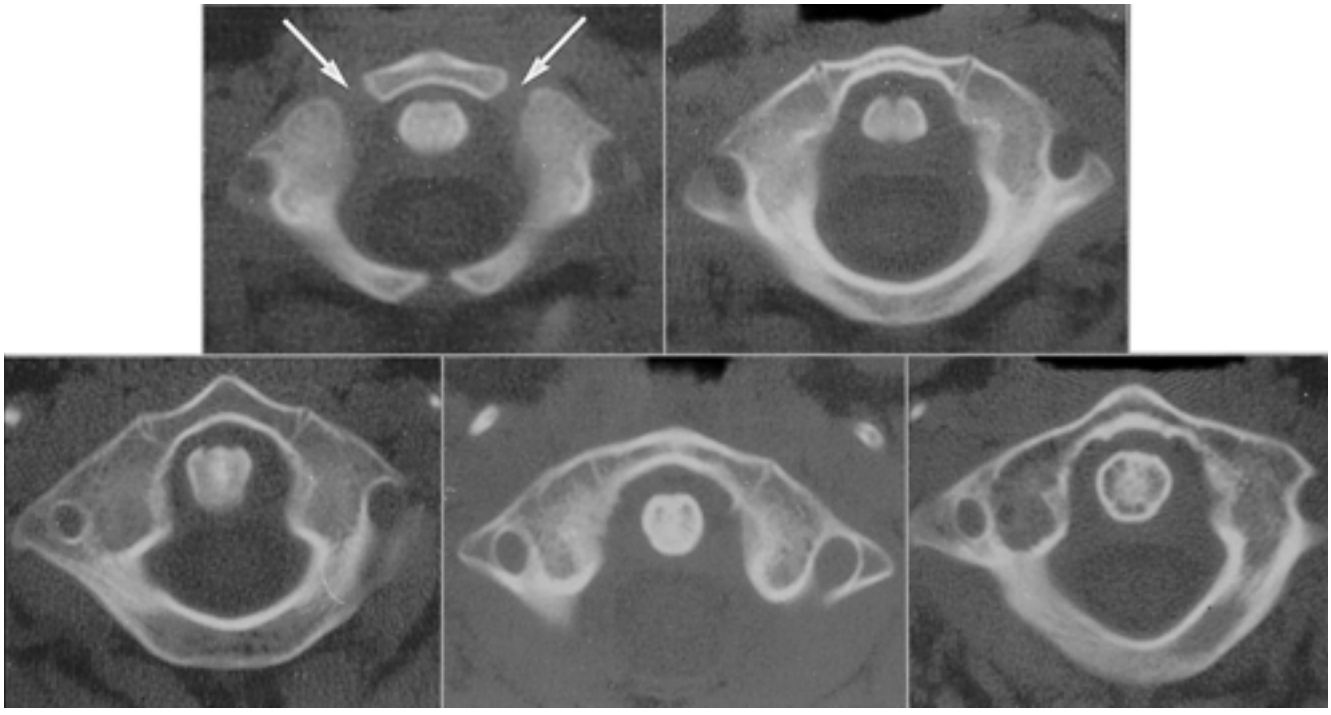

Fig. 3. Postnatal development of the neurocentral synchondrosis of the atlas.
Axial CT scans obtained from 16-month-old boy (top left), 7-year-old boy (top right), 7-year-old boy (bottom left), 9-year-old boy (bottom middle), and 12-year-old boy (bottom right) show grade 1, 2, 3, 4, and 5 fusion of the neurocentral synchondrosis (arrows) of the atlas, respectively.

였던 방법과 동일하게 CT 소견을 grade 1-5의 5 등급으로 분류하여 각각의 연골결합의 발달 정도를 분석하였다(Fig. 2). 즉, grade 1은 모든 CT 스캔에서 연골결합이 뚜렷이 분리되어 보이는 경우, grade 2는 연골결합의 대부분이 뚜렷이 분리되어 있지만 일부분이 불분명하게 보이거나 골가교 (osseous bridge)의 형성이 의심되는 경우, grade 3은 연골결합에서의 부분적 골융합이 확실히 보이는 경우, grade 4는 연골결합의 골융합은 완전히 형성되어 있으나 그 부위에 골경화로 인한 흔적이 남아 있는 경우, 그리고, grade 5는 연골결합의 골융합이 완전히 이루어져 있고 또한 아무런 흔적이 보이지 않는 경우로 정의하였다. 축추의 terminal ossicle에 있어서는 terminal ossicle이 보이지 않는 경우 grade 0으로 따로 분류하였다. CT상 보이는 각 연골결합의 융합 정도에 관한 등급 판정은 2명의 방사선과 의사의 의견 합치로 결정되었다. 이와 같이 CT 스캔에서 각 연골결합의 융합 정도의 등급을 결정한 후 성별 및 연령별로 각각의 연골결합에서의 저등급 결합(grade 1-3)과 고등급 결합(grade 4-5)의 분포를 비교 분석하였으며 terminal ossicle의 경우 grade 0-3을 저등급 결합으로 분류하였다.

결 과

환추의 neurocentral synchondrosis (Table 2, Fig. 3)

환추의 neurocentral synchondrosis는 환추의 전궁(anterior arch)의 양측에 위치하는데 축상스캔에서 잘 관찰되어 본 연구에서는 축상스캔을 시행한 100명에서 융합의 등급을 평가하였다. 5세 미만의 소아 35명 모두 grade 1 (*n*= 33) 또는 grade 2 (*n*=2)로 판정되어 저등급 결합을 보였다. 5세 이상 9세 미만에서는 43명 중 26명(60%)에서 저등급 결합, 나머지 17명(40%)에서는 고등급 결합을 보였다. 9세 이상에서는 12명 모두 고등급 결합을 보였다.

환추의 posterior synchondrosis (Table 3, Fig. 4)

환추의 posterior synchondrosis는 후궁(posterior arch)의 중앙에 위치하는데 축상스캔에서 잘 관찰되어 본 연구에서는 축상스캔을 시행한 100명에서 융합의 등급을 평가하였다. 3세 미만의 소아 29명 중 28명(97%)이 grade 1 (*n*=27) 또는 grade 2 (*n*=1)의 저등급 결합을 보였고, 1명(3%)에서만 grade 4의 고등급 결합을 보였다. 반면, 3세 이상에서는 71명 중 70명(99%)이 grade 4 (*n*=3) 또는 grade 5 (*n*=67)의 고등급 결합을 보였고, 1명(1%)에서만 grade 1의 저등급 결합을 보였다.

축추의 neurocentral synchondrosis (Table 4, Fig. 5)

축추의 neurocentral synchondrosis는 추체와 양측 신경궁의 골화중심과의 사이에 한 쌍으로 위치하는데 축상 및 관상스캔 모두에서 잘 관찰되어 본 연구 대상인 200명 모두에서 융합의 등급을 평가하였다. 3세 미만의 소아 53명 모두 grade 1 (*n*=33), grade 2 (*n*=19), 또는 grade 3 (*n*=1)의 저등급 결합을 보였다. 3세 이상 5세 미만에서는 21명 중 10명 (48%)이 grade 2 (*n*=6) 또는 grade 3 (*n*=4)의 저등급 결합이었고, 11명 (52%)은 grade 4 (*n*=5) 또는 grade 5 (*n*=6)의 고등급 결합을 보였다. 5세 이상에서는 126명 중 4명을 제외한 122명 (97%)이 grade 4 (*n*=14) 또는 grade 5 (*n*=108)의 고등급 결합을 보였다.

축추의 posterior synchondrosis (Table 5, Fig. 6)

축추의 posterior synchondrosis는 신경궁의 후측 중앙에 위치하는데 축상스캔에서 잘 관찰되어 본 연구에서는 축상스캔을 시행한 100명에서 융합의 등급을 평가하였다. 6개월 미만의 영아 2명은 각각 grade 1과 grade 2의 저등급 결합을 보였고, 6개월 이상 2세 미만의 소아 19명 중 7명(37%)에서

Table 3. Grade Fusion of Posterior Synchondrosis of the Atlas

Age	No. of subjects					Total
	Low-grade fusion			High-grade fusion		
	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5	
< 6 m	2	0	0	0	0	2
< 12 m	8	0	0	0	0	8
< 2 y	10	0	0	1	0	11
< 3 y	7	1	0	0	0	8
< 5 y	1	0	0	1	4	6
< 7 y	0	0	0	2	16	18
< 9 y	0	0	0	0	25	25
< 14 y	0	0	0	0	22	22
Total	28	1	0	4	67	100

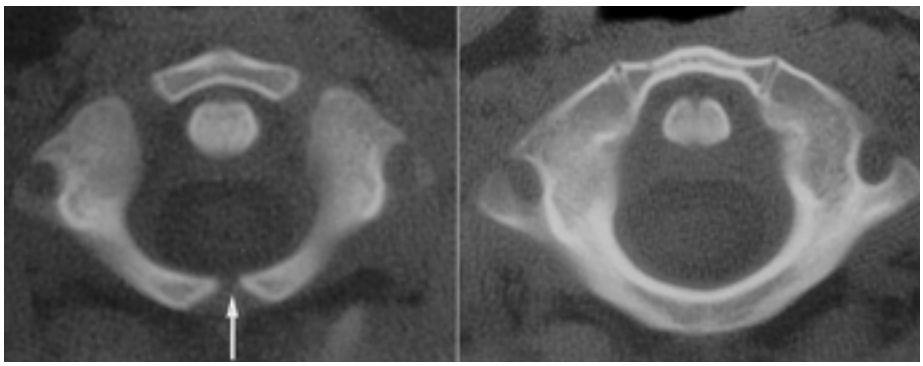

Fig. 4. Postnatal development of the posterior synchondrosis of the atlas. Axial CT scans obtained from 16-month-old boy (left) and 7-year-old boy (right) show grade 1 and 5 fusion of the posterior synchondrosis (arrow) of the atlas, respectively.

Table 4. Grade Fusion of Neurocentral Synchondrosis of the Axis

Age	No. of subjects					Total
	Low-grade fusion			High-grade fusion		
	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5	
< 6 m	2	0	0	0	0	2
< 12 m	9	3	0	0	0	12
< 2 y	16	6	0	0	0	22
< 3 y	6	10	1	0	0	17
< 5 y	0	6	4	5	6	21
< 7 y	1	1	2	11	25	40
< 9 y	0	0	0	2	46	48
< 14 y	0	0	0	1	37	38
Total	34	26	7	19	114	200

Table 5. Grade Fusion of Posterior Synchondrosis of the Axis

Age	No. of subjects					Total
	Low-grade fusion			High-grade fusion		
	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5	
< 6 m	1	1	0	0	0	2
< 12 m	3	1	1	0	3	8
< 2 y	2	0	0	1	8	11
< 3 y	0	0	0	0	8	8
< 5 y	0	0	0	0	6	6
< 7 y	0	0	0	0	18	18
< 9 y	0	0	0	1	24	25
< 14 y	0	0	0	0	22	22
Total	6	2	1	2	89	100

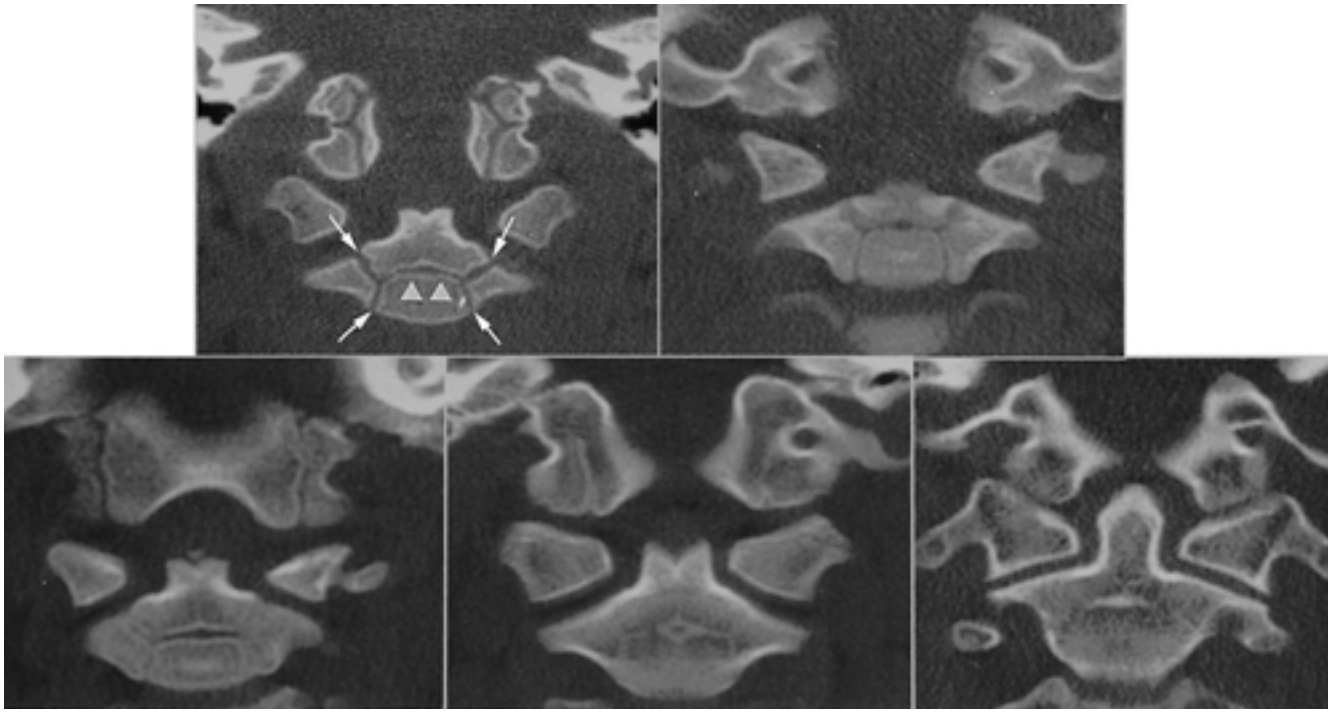

Fig. 5. Postnatal development of the neurocentral and dentocentral synchondroses of the axis.
Coronal CT scans obtained from 15-month-old boy (top left), 22-month-old boy (top right), 2-year-old boy (bottom left), 5-year-old boy (bottom middle), and 10-year-old boy (bottom right) show grade 1, 2, 3, 4, and 5 fusion of the neurocentral synchondrosis (arrows) of the axis, respectively. Fusion of the dentocentral synchondrosis (arrowheads) in these children was judged as grade 1, 2, 1, 3, and 4, respectively.

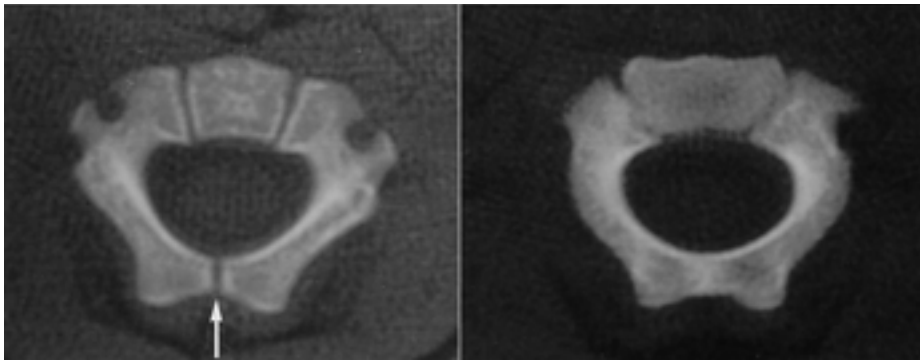

Fig. 6. Postnatal development of the posterior synchondrosis of the axis.
Axial CT scans obtained from 7-month-old boy (left) and 4-year-old girl (right) show grade 1 and 4 fusion of the posterior synchondrosis (arrow) of the axis, respectively.

grade 1 (*n*=5), grade 2 (*n*=1), 또는 grade 3 (*n*=1)의 저등급 결합을 보인 반면 12명 (63%)에서는 grade 4 (*n*=1) 또는 grade 5 (*n*=11)의 고등급 결합을 보였다. 2세 이상의 소아 79명은 모두 grade 5의 고등급 결합을 보였다.

축추의 dentocentral synchondrosis (Table 6, Fig. 5)

축추의 dentocentral synchondrosis는 치상돌기 (odontoid process)와 추체 사이에 위치하는데 관상스캔에서 잘 관찰되어 본 연구에서는 관상스캔을 시행한 165명에서 융합의 등급을 평가하였다. 3세 미만에서는 41명 중 38명 (93%)에서 grade 1 (*n*=25) 또는 grade 2 (*n*=13)의 저등급 결합을 보였고, 3명 (7%)에서만 grade 4의 고등급 결합을 보였다. 3세 이상 5세 미만에서는 18명 중 12명 (67%)이 grade 1 (*n*=2), grade 2 (*n*=7), 또는 grade 3 (*n*=3)의 저등급 결합을 보였고, 6명 (33%)이 grade 4 (*n*=5) 또는 grade 5 (*n*=1)의 고등급 결합을 보였다. 5세 이상에서는 106명 중 4명을 제외한 102명 (96%)에서 grade 4 (*n*=87) 또는 grade 5 (*n*=15)의 고등급 결합을 보였는데, 고등급 결합 중 grade 4가 차지하는 비율이 특히 높았다.

축추의 intradental synchondrosis (Table 7, Fig. 7)

축추의 intradental synchondrosis는 치상돌기를 형성하는 2개의 막대기 모양의 일차 골화중심 사이에 위치하는데 축상 및 관상스캔 모두에서 관찰할수 있어 본 연구 대상인 200명 모두에서 융합의 등급을 평가하였다. 200명 모두 grade 4 (*n*=22) 또는 grade 5 (*n*=178)의 고등급 결합을 보여 환추와 축추의 모든 연골결합 중 가장 빨리 융합됨을 알 수 있었다.

축추의 terminal ossicle (Table 8, Fig. 8)

축추의 terminal ossicle은 이차 골화중심으로서 치상돌기의 첨부 상부에 위치하는데 관상스캔에서 잘 관찰되어 본 연구에서는 관상스캔을 시행한 165명에서 융합의 등급을 평가하였다. terminal ossicle은 출생 시 연골로서 존재하여 CT로도 관찰되지 않는데 본 연구에서 가장 일찍 관찰된 연령은 7개월이었다. 2세 미만 27명 중 3명 (11%), 2세 이상 5세 미만 32명 중 22명 (69%), 그리고 5세 이상 106명 중 5년 6개월 된 1명을 제외한 105명 (99%)에서 grade 1 이상의 골화가 관찰되었다. terminal ossicle과 하부 치상돌기와의 융합의 등급은 5세 미만에서는 49명 모두 grade 0 (*n*=34), grade 1 (*n*= 23), 또는 grade 2 (*n*=2)의 저등급 결합을 보였으나, 5세 이상 9세 미만에서는 72명 중 38명 (53%)이 grade 0 (*n*=1), grade 1 (*n*=21), grade 2 (*n*=10), 또는 grade 3 (*n*=6)의 저등급 결합을 보였고 34명 (47%)에서 grade 4 (*n*=14) 또는 grade 5 (*n*=20)의 고등급 결합을 보였다. 9세 이상에서는 34명 중 grade 1을 보인 1명을 제외한 33명 (97%)이 grade 4 (*n*=8) 또는 grade 5 (*n*=25)의 고등급 결합을 보였다.

고 찰

척추의 발달은 체절 (somite)로부터 골분절이 형성된 후, 각 골분절 세포들이 간엽성 척추 (mesenchymal spine)를 형성하는 전연골기 (precartilaginous stage), 연골화중심 (chondrification center)이 나타나는 연골기 (stage of chondrification), 그리고 골화기 (stage of ossification)의 3 과정의 순서로 진행된다. 이 중 제 1 및 제 2 경추인 환추와 축추는 다른 척추와는 상이하면서 독특한 태생학적 발달 과정을 가진다. 출생 시 환추와 축추에는 각각 3개와 5개의 일차 골화중심이 보이는데, 인접한 골화중심은 유리연골 (hyaline cartilage)로 구성된 연골결합에 의하여 연결되어 있다. 이 연골결합은 골성장 시 존재하는 일시적인 관절 형태로 출생 후 인접한 골화중심과 점차적 융합이 이루어진다 (6).

태생학적으로, 환추는 제 4 후두 골분절 (sclerotome)과 제

Table 6. Grade Fusion of Dentocentral Synchondrosis of the Axis

Age	No. of subjects					Total
	Low-grade fusion			High-grade fusion		
	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5	
< 6 m	0	0	0	0	0	0
< 12 m	7	0	0	1	0	8
< 2 y	14	4	0	1	0	19
< 3 y	4	9	0	1	0	14
< 5 y	2	7	3	5	1	18
< 7 y	1	1	2	25	4	33
< 9 y	0	0	0	34	5	39
< 14 y	0	0	0	28	6	34
Total	28	21	5	95	16	165

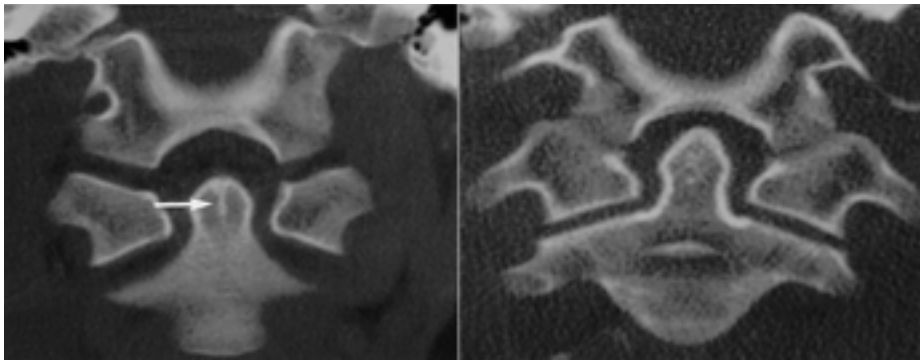

Fig. 7. Postnatal development of the intradental synchondrosis of the axis. Coronal CT scans obtained from 9-year-old boy (left) and 10-year-old boy (right) show grade 4 and 5 fusion of the intradental synchondrosis (arrow) of the axis, respectively.

1경추 골분절의 원시 간엽(primitive mesenchyme)으로부터 기원한다. 축추의 발달은 이보다 더 복잡하여 체부는 제2 및 제 3 경추 골분절로부터 기원하고, 치상돌기(dens, odontoid process)의 대부분은 제 1 및 제 2 경추 골분절에서 유래하는 반면 치상돌기의 말단부는 제 4 후두 골분절로부터 기원한다 (2, 3, 7, 8).

환추는 1개의 전부(anterior center)와 2개의 측부(lateral center, neural center)로 구성된 3개의 일차 골화중심에서 발달한다. 전자는 전궁을 형성하는 것으로 단순방사선촬영상 출생 시 20%에서만 골화된 것으로 관찰되고 1세가 되어서야 모든 영아에서 골구조물로 관찰되는 반면, 후자는 태생 7개월경에 형성되어 출생 시 모두에서 뚜렷한 골구조물로 관찰되며 여기에서 외측괴와 후궁이 발달하게 된다(2, 4, 7). 환추에는 전부 골화중심의 양측에 각각 1개의 neurocentral synchondrosis가 있으며 측부 골화중심의 사이에 1개의 posterior synchondrosis가 위치한다(Fig. 1A). 축추는 5개의 일차 골화중심과 1개의 이차 골화중심으로부터 발달하는데, 축추의 체부와 외측괴는 1개의 중심부(central center)와 2개의 측부로 구성된 3개의 일차 골화중심에서 발달하며, 치상돌기는 중심부 골화중심의 상부에 나란히 위치한 1쌍의 일차 골화중심(dens center)으로부터 발달한다. 이 골화중심은 태생 6개월경 나타나며 출생 시에는 중앙부에서 거의 융합이 이루어진다고 한다. 치상돌기의 첨부는 출생 시 연골 형태로 존재하다가 출생 후 terminal ossicle이라는 이차 골화중심이 형성되어 하

Table 7. Grade Fusion of Intradental Synchondrosis of the Axis

Age	No. of subjects					Total
	Low-grade fusion			High-grade fusion		
	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5	
< 6 m	0	0	0	1	1	2
< 12 m	0	0	0	1	11	12
< 2 y	0	0	0	1	21	22
< 3 y	0	0	0	3	14	17
< 5 y	0	0	0	2	19	21
< 7 y	0	0	0	4	36	40
< 9 y	0	0	0	5	43	48
< 14 y	0	0	0	5	33	38
Total	0	0	0	22	178	200

Table 8. Grade Fusion of Terminal Ossicle of the Axis

Age	No. of subjects						Total
	Low-grade fusion			High-grade fusion			
	Grade 0	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5	
< 6 m	0	0	0	0	0	0	0
< 12 m	7	1	0	0	0	0	8
< 2 y	17	2	0	0	0	0	19
< 3 y	5	9	0	0	0	0	14
< 5 y	5	11	2	0	0	0	18
< 7 y	1	18	5	3	1	5	33
< 9 y	0	3	5	3	13	15	39
< 14 y	0	1	0	0	8	25	34
Total	35	45	12	6	22	45	165

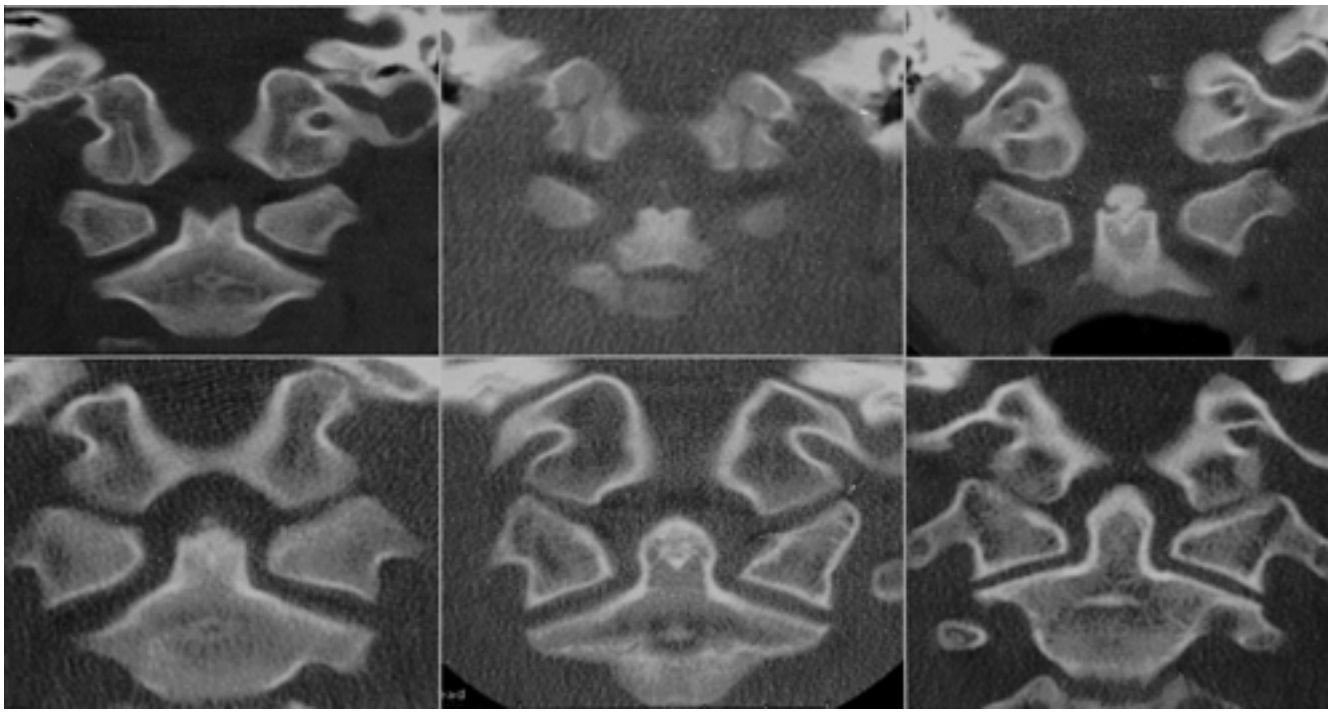

Fig. 8. Postnatal development of the terminal ossicle of the axis.
Coronal CT scans obtained from 5-year-old boy (top left), 7-month-old boy (top middle), 8-year-old boy (top right), 7-year-old boy (bottom left), 12-year-old boy (bottom middle), and 10-year-old girl (bottom right) show grade 0, 1, 2, 3, 4, and 5 fusion of the terminal ossicle with the remainder of the dens of the axis, respectively.

부의 치상돌기와 융합하는 것으로 알려져 있다(3, 4, 9). 축추에는 중심부와 양측 측부 골화중심 사이에 각각 1개의 neurocentral synchondrosis가 있으며 측부 골화중심의 사이에 1개의 posterior synchondrosis가 위치한다. 축추의 중심부와 치상돌기 연골결합 사이에는 dentocentral synchondrosis가 있으며 치상돌기 연골결합 사이에는 intradental synchondrosis가 위치하게 된다(Fig. 1B).

환추와 축추의 출생 후 발달에 관한 방사선학적 연구는 그리 흔치 않으며(2-4), 특히 이에 대한 체계적인 CT 연구는 Calvy 등(4)에 의한 연구가 고작이다. Ogden(2, 3)은 14세까지의 소아 36명의 사체로부터 분리한 환추와 축추의 단순방사선촬영 소견을 연령별로 분석하여 출생 후 발달 과정에 관한 연구를 보고하였다. Calvy 등(4)은 다른 목적으로 CT를 시행한 18세까지의 환자 중 두경부접합부가 스캔범위에 포함된 129명을 대상으로 두경부접합부의 출생 후 발달에 대한 후향적 연구를 시행하였으며, 1.5-10 mm 절편두께로 축상스캔만을 획득하였고 일부에서는 soft tissue window로만 영상화하였다. 반면, 본 연구에서는 두경부접합부의 발달 과정을 관찰하기 위한 전향적 CT 연구를 시행하였고, 스캔방법도 2-3 mm의 세절편과 축상 및 관상스캔을 함께 획득하였으며 고공간해상연산법과 bone window로 영상화하여 Calvy 등에 의한 연구방법보다 좋은 재현성을 구현할 수 있으리라 생각된다. 또한, 자료 분석에서도 연골결합의 융합 과정을 등급화하여 보다 체계적인 결과를 도출하도록 노력하였다. 따라서, 본 연구와 이전의 연구들과의 상이한 결과는 이러한 연구방법 및 분석방법의 차이에 기인한 것으로 생각된다.

환추의 neurocentral synchondrosis는 일반적으로 7세 경 융합되는 것으로 알려져 있는데(10, 11), Ogden(2)은 6세까지 이 연골결합이 닫힌다고 하였으며, Calvy 등(4)의 연구에서는 7세 1개월의 소아에서도 융합이 되지 않았던 경우가 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 5세 미만에서는 모두 저등급 결합을 보였고, 5세 이상 9세 미만에서는 60%에서 저등급 결합을, 나머지 40%에서는 고등급 결합을 보였으며, 9세 이상에서는 모두 고등급 결합을 보여 이전의 연구에 비하여 융합 시기가 다소 늦은 결과를 나타내었다.

환추의 posterior synchondrosis는 neurocentral synchondrosis보다 융합 시기가 빨라 일반적으로 3세 경 융합이 이루어진다고 하나(11), 이보다 늦은 5-6세에 융합된다는 보고도 있다(7). Ogden(2)은 5세까지 이 연골결합이 닫힌다고 하였으며 Calvy 등(4)은 4년 2개월의 소아에서도 융합되지 않은 경우를 보고하였다. 본 연구에서는 3세 미만에서는 97%에서 저등급 결합을 보인 반면, 3세 이상에서는 99%에서 고등급 결합을 보여 다른 연구들과 비슷한 결과를 나타내었다. 이 연골결합의 결손이 크거나 섬유성 변화가 발생하면 요천추 부위에서 흔하게 일어나는 잠재성 이분 척추증(spina bifida occulta)을 만들게 되기도 한다(2).

축추의 neurocentral synchondrosis는 일반적으로 3-6세 경 융합되는 것으로 알려져 있다(7, 11). Ogden(3)은 5세까지 이 연골결합의 폐쇄가 가속화되어 9-10세 경에는 모든 소아에서 완전 융합이 이루어진다고 하였으나, Calvy(4) 등은 15세에서도 CT상 융합되지 않은 연골결합을 보인 경우가 있다고 하였다. 이에 비하여, Filtzer(12)는 이 연골결합이 3세에는 거의 모두 존재하고 4세에서는 50% 가량 존재하며 6세가 되어서는 모두 융합되어 보이지 않는다고 보고하였다. 본 연구에서는 3세 미만의 소아에서는 모두 저등급 결합을 보였고, 3세 이상 5세 미만에서는 약 반수에서 저등급 결합(48%)과 고등급 결합(52%)을 보였으며, 5세 이상에서는 97%에서 고등급 결합을 보여 3-4세에 가장 활발한 융합 과정이 진행되는 것을 알 수 있었고, 또한 환추의 neurocentral synchondrosis 보다 빠른 융합 과정을 보여 주었다.

축추의 posterior synchondrosis는 일반적으로 2-3세 경 융합된다고 알려져 있다(13). Ogden(3)은 이 연골결합이 3세까지 융합된다고 보고하였으나, Barnes 등(7)은 6세가 되어야 융합되는 것으로 기술하였다. 본 연구에서는 6개월 미만에서는 2명 모두 저등급 결합을 보였고, 6개월 이상 2세 미만에서는 37%에서 저등급 결합을, 63%에서 고등급 결합을 보여 이 시기가 가장 왕성한 융합 과정을 나타냄을 알 수 있었다. 반면, 2세 이상의 소아 모두에서는 고등급 결합을 보여 환추의 neurocentral synchondrosis 보다 빠른 융합 과정을 보여 주었다.

축추의 dentocentral synchondrosis는 일반적으로 3-6세 경 융합된다고 알려져 있다(11). Ogden(3)은 3세 경부터 이 연골결합의 융합이 시작되어 5-6세가 되면 융합이 완성된다고 하였고, Barnes 등(7)도 4-6세 사이에 융합이 이루어진다고 하였다. 본 연구에서도 3세 미만에서는 93%에서 저등급 결합을 보인 반면, 3세 이상 5세 미만에서는 67%에서 저등급 결합을, 33%에서 고등급 결합을 보였고, 5세 이상에서는 96%에서 고등급 결합을 보여 3-4세에서 가장 활발한 융합 과정을 나타내어 이전의 연구결과와 비슷하였다. dentocentral synchondrosis는 11세까지도 단순방사선촬영에서 융합선이 관찰될 수 있으며 따라서 성장판 손상(physeal injury)의 형태로 이곳을 침범하는 골절과의 감별에 주의를 요한다(3, 7, 11). 14세 미만을 대상으로 한 본 연구에서 dentocentral synchondrosis는 다른 연골결합에 비하여 고등급 결합 중 grade 4가 차지하는 비율이 특히 높았다. 14세 이후에서 grade 5로의 전환은 해당 연령군이 대상에 포함되지 않아 확실한 시기를 알 수 없었다.

축추의 intradental synchondrosis는 모든 연골결합 중 가장 빨리 융합되는데 일반적으로 출생 시 이미 대개 융합이 이루어진다고 한다(4, 11). Ogden(3)은 출생 후 3-4개월 이내에 이 연골결합이 완전히 융합된다고 하였으나, Calvy 등(4)은 1세-2년 4개월의 소아 8명 중 3명에서 이 연골결합을 CT에서 관찰하였다고 보고하였으며, 또한 Barnes 등(7)과 Hensinger 등(9, 13)도 두 개의 치상돌기 골화중심 사이에 불완전한 융합으로 인하여 1-2세까지는 방사선투과성 단열(cleft)로 보이는 경우가 흔하다고 하였다. 본 연구에서는 연령에 관계없이 200명 모두 고등급 결합을 보여 환추와 축추의 모든 연골결합 중 가장 빨리 융합됨을 알 수 있었다. 이 연

구에서 다른 연구결과와 달리 저등급 결합이 없었던 것은 대상 중 1세 미만, 특히 6개월 미만의 영아가 적었기 때문이었을 것으로 생각된다.

출생 시 치상돌기의 첨부는 골화되지 않고 영상검사에서 V자 모양의 움폭한 모양을 나타내는데 이 곳에 다른 장골의 골단(epiphysis)에 비유되는 연골이 있다. 이 연골로부터 출생 후 2세 경 이차 골화중심인 terminal ossicle이 발달되어 10 - 12세 때 하부의 치상돌기와 융합하여 비로소 완전한 치상돌기가 형성된다(4, 11). Ogden(3)은 5 - 8세에 terminal ossicle이 처음 관찰되고 사춘기에 하부 치상돌기와 융합된다고 하였고, Filtzer(12)는 5 - 11세의 정상 소아 70명 중 26%에서만 단순방사선촬영으로 terminal ossicle을 관찰할 수 있다고 보고하였다. 그러나, Calvy 등(4)은 축상스캔을 이용한 CT 연구에서 2 - 9세의 23명 중 13명에서 terminal ossicle을 관찰하였다고 하였고, Barnes 등(7)은 terminal ossicle의 골화는 빠르면 1세부터 시작하여 3세 경까지는 대개 골화가 이루어지며 8 - 12세 사이에 치상돌기와 융합된다고 하여 Ogden과 Filtzer와의 결과와는 많은 차이를 보였다. 관상 CT스캔을 이용한 본 연구에서 terminal ossicle이 가장 일찍 관찰된 연령은 7개월이었고, 2세 미만에서 11%, 2세 이상 5세 미만에서는 69%, 그리고 5세 이상에서는 99%에서 골화가 관찰되어 Calvy 등과 Barnes 등과의 결과와 유사하였다. 이를 terminal ossicle과 하부 치상돌기와의 융합의 등급으로 재분석 하였을 때, 5세 미만에서는 49명 모두 저등급 결합을 보였으나, 5세 이상 9세 미만에서는 약 반수에서 각각 저등급 결합 (53%)과 고등급 결합(47%)을 보였고, 9세 이상에서는 97%에서 고등급 결합을 보여 이 역시 Barnes 등(7)의 보고와 유사하였다.

이 연구의 제한점으로는 연구대상 중 1세 미만의 숫자가 적어 출생 후 1년 이내에 일어나는 변화를 충분히 보여주지 못하였다는 것인데, 축추의 intradental synchondrosis를 제외한 나머지 연골결합들은 대부분 1 - 2세 이상에서 활발한 융합이 일어나기 때문에 결과에 큰 영향을 미치지 않았을 것으로 생각된다. 또 다른 제한점으로는 이 연구가 연골결합의 관점에서만 환추와 축추의 발달 과정을 분석하였기 때문에 두경부접합부의 선천성 기형을 평가하는 데 필요한 출생 후 후두골과 환추 및 축추 사이의 상호 발달 관계가 고려되지 않았으며, 관절의 출생 후 발달에 대한 분석도 시행되지 않았다는 점으로 향후 CT나 자기공명영상술 등의 단층촬영술을 이용하여 이에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

결론적으로, CT는 여러 연골결합의 다양한 발달과정을 잘 보여 줌으로써 환추와 축추의 출생 후 연령에 따른 골화 양상을 파악하는데 매우 유용하였다. 이러한 환추와 축추의 출생 후 정상 발달에 대한 지식은 이 부위에 발생할 수 있는 선천성 기형을 이해하고 골절과의 감별을 용이케 하는데 큰 도움이 될 것이다. 비록 이 연구에는 제한된 수의 영아만이 포함되었지만, 연구자들은 이 연구가 향후 환추와 축추의 출생 후 발달에 관한 연구에 있어 기초 자료로 사용되기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. Smoker WR. Craniovertebral junction: normal anatomy, craniometry, and congenital anomalies. *Radiographics* 1994;14:255-277
2. Ogden JA. Radiology of postnatal skeletal development. XI. The first cervical vertebra. *Skeletal Radiol* 1984;12:12-20
3. Ogden JA. Radiology of postnatal skeletal development. XII. The second cervical vertebra. *Skeletal Radiol* 1984;12:169-177
4. Calvy TM, Segall HD, Gilles FH, et al. CT anatomy of the craniovertebral junction in infants and children. *AJNR Am J Neuroradiol* 1987;8:489-494
5. Madeline LA, Elster AD. Suture closure in the human chondrocranium: CT assessment. *Radiology* 1995;196:747-756
6. Williams PL, Lawrence HB, Martin MB, etc. In Bannister LH, Berry MM, Collins P, et al (eds). *Gray's anatomy* 38th ed. New York;Churchill Livingston, 1995:265-271
7. Kim FM. Developmental anomalies of the craniocervical junction. *Magn Reson Imaging Clin Am* 2000;8:651-674
8. Menezes AH. *Embryology, deveopment, and classification of disorders of the craniovertebral junction*. In Dickman CA, Spetzler RF, Sonntag VKH, eds. *Surgery of the craniovertebral junction.* New York;Thieme, 1998:3-12
9. Hensinger RN, Fielding JW, Hawkins RJ. Congenital anomalies of the odontoid process. *Orthop Clin North Am* 1978;9:901-912
10. Howard SA. *Anatomy of the Cervical Spine*. In Howard SA, Simpson JM, eds. *Surgery of the cervical spine*. London;Martin Dunitz Ltd, 1994:1-39
11. Lustrin ES, Karakas SP, Ortiz AO, et al. Pediatric cervical spine: normal anatomy, variants, and trauma. *Radiographics* 2003;23:539-560
12. Cattell HS, Filtzer DL. Pseudosubluxation and other normal variations in the cervical spine in children. A study of one hundred and sixty children. *J Bone Joint Surg Am* 1965;47:1295-1309
13. Hensinger RN. Osseous anomalies of the craniovertebral junction. *Spine* 1986;11:323-33

J Korean Radiol Soc 2003;49:345 - 354

Postnatal Development of the Atlas and Axis: CT Study[1]

Sung Su Byun, M.D., Hyung-Jin Kim, M.D., Myung Kwan Lim, M.D., Won Hong Kim, M.D., Yong Sun Jeon, M.D., Jeong-Ho Kim, M.D., Sung Tae Kim, M.D.

[1]*Department of Radiology, Inha University College of Medicine*

Purpose: To evaluate normal postnatal development of the atlas and axis by means of CT scanning.

Materials and Methods: We prospectively analyzed CT scans of the developing atlas and axis of 200 normal children aged less than 14, investigating the CT appearance of these regions with particular attention to two synchondroses related to the atlas and four synchondroses and one ossification center related to the axis. Fusion varying was categorized as either low (grade1 - 5) or high (grade4 - 5), according to the varying degrees of fusion at each synchondrosis or ossification center.

Results: Neurocentral synchondrosis of the atlas was low grade in all children less than five, and high grade in all aged nine or more, while posterior synchonrosis of the atlas was low grade in 97% of children less than three and high grade in 99% aged three or more. As for the axis, neurocentral synchondrosis was low grade in all children less than three, and high grade in 97% of children aged five or more. PS of the axis was low grade in both children less than 6 months, and high grade in all aged two years or more. Dentocentral synchondrosis of the axis was low grade in 93% of children less than three and high grade in 96% of those aged at least five. Intradental axial synchondrosis was high grade in all children. Fusion of the terminal ossicle with the remainder of the dens was low in all children less than five and high in 97% of those aged nine or more.

Conclusion: CT can help determine the parameters of normal postnatal development of the atlas and axis. A knowledge of normal ossification patterns of these regions may help provide an understanding of developmental anomalies and also help prevent confusion with fractures.

Index words : Atlas and axis
Atlas and axis, growth and development
Atlas and axis, CT

Address reprint requests to : Hyung-Jin Kim, M.D., Department of Radiology, Inha University Hospital
7-206, 3rd Street, Shinheung-dong, Joong-gu, Incheon, 400-711, South Korea.
Tel. 82-32-890-3402 Fax. 82-32-890-2743 E-mail: hyungkim@inha.ac.kr