



경증 두부외상을 가진 소아환자의 뇌 전산화단층시행 감소를 위한 PECARN rule 교육의 효과

정성운 · 장재호 · 조진성 · 현성열¹ · 임용수 · 양혁준 · 최재연

가천대학교 의과대학 길병원 응급의학교실, ¹외상외과학교실

The effect of introducing Pediatric Emergency Care Applied Research Network rule on reducing brain computed tomography use for children with minor head injury

Sung Wun Jung, Jae Ho Jang, Jin Seong Cho, Sung Youl Hyun¹, Yong Su Lim, Hyuk Jun Yang, Jea Yeon Choi

Department of Emergency Medicine and ¹Traumatology, Gachon University Gil Medical Center, Gachon University College of Medicine, Incheon, Korea

Purpose: Computed tomography (CT) scan is an effective modality for detecting fatal traumatic brain injury. However, radiation exposure from CT can increase the risk of cancer, and children are more vulnerable to radiation than adults. We aimed to investigate the effect of introducing the Pediatric Emergency Care Applied Research Network (PECARN) rule to the emergency department (ED).

Methods: Medical records of children younger than 2 years with minor head injury who visited ED from January 2013 to June 2015 were reviewed. We started the education of radiation hazard and the PECARN rule in January 2014. The children were divided into pre- and post- education groups. The baseline characteristics, CT rate, and clinical outcomes were analyzed. The safety and efficacy of CT were defined as patients who received head CT scan per those experiencing clinically important traumatic brain injury (ciTBI) and patients without CT scan per those without ciTBI, respectively.

Results: Of 911 patients, 360 (39.5%) visited during the post-education period. Median age was 16.0 months (interquartile range, 11.0-20.0 months), and boys accounted for 58.5%. CT rate was reduced from 40.5% to 12.8% ($P < 0.001$). There was no difference in ciTBI rates between the two groups (1.3% vs. 1.7%, $P = 0.622$). The safety was 100% in both periods and the efficacy increased from 52.9% to 88.7%.

Conclusion: We have seen a significant decrease in CT rate through the education of the PECARN rule. After its introduction, CT use was reduced, and the efficacy was improved without decrease in the safety.

Key words: Brain Injuries; Craniocerebral Trauma; Pediatrics; Radiation; Tomography, X-Ray Computed

Received: Aug 19, 2019 Revised: Oct 6, 2019
Accepted: Oct 23, 2019

Corresponding author

Jea Yeon Choi (ORCID 0000-0002-9326-5897)
Department of Emergency Medicine, Gachon University Gil Medical Center, Gachon University College of Medicine, 21 Namdong-daero 774beon-gil, Namdong-gu, Incheon 21565, Korea
Tel: +82-32-460-3901 Fax: +82-32-460-3019
E-mail: g3marine@naver.com

서 론

소아 두부외상은 사망과 장애의 중요한 원인 중 하나이다^{1,2)}. 이 중 94% 이상은 경증 두부외상(Glasgow Coma Scale [GCS] 14점 이상)이지만³⁾, 임상적으로 중요한 외상성 뇌손상(clinically important traumatic brain injury, ciTBI)을 신속히 진단하고 치료하는 것이 사망률

을 낮추는 데 필수적이다. 이를 진단하는데 가장 좋은 방법은 전산화 단층시행(computed tomography, CT)이다⁴⁾. 그러나 CT 시행으로 인한 방사선 노출이 암 발생 위험을 높이고 소아는 성인에 비해 이에 더 취약하므로, 임상에서 CT 시행을 결정하는 데 어려움이 있다⁵⁾. 두부외상 소아에서 두개 내 손상 발생률은 4%-12%이나, 2세 이하에선 더 높다고 보고됐고^{6,7)} 증상 표현 및 신경학적 검사가 제한적이므로 이를 놓치지 않도록 주의해야 한다.

이를 해결하기 위해 경증 두부외상 소아환자(환자)에서 CT 시행 기준을 제시하고자 하는 여러 연구가 있었다^{8,9)}. Pediatric Emergency Care Applied Research Network head injury prediction (PECARN) rule이 대규모 다기관 연구를 통해 타당도가 검증됐고⁴⁾, 두부외상 기준 중 2세 미만 및 이상 모두에서 민감도가 가장 높았다¹⁰⁾. 한국에서는 PECARN rule의 후향적 타당도 검증이나¹¹⁾ 소아 CT 시행에서 정량적 방사선 노출 연구는 있었으나¹²⁾, CT 시행 빈도의 변화에 관한 연구는 부족했다.

본 연구에서는 2세 미만 경증 두부외상 환자에서 PECARN rule 교육 전후 CT 시행 빈도의 변화를 분석했다. 또한 임상 결과에 차이가 있는지 확인하고, CT 시행에 영향을 미치는 요인을 확인하고자 했다.

대상과 방법

본 후향적 연구는 2013년 1월부터 2015년 6월까지 단일 대학병원 응급실을 방문한 2세 미만 급성 경증 두부외상 환자의 의무기록을 분석했다. 본 기관은 2014년 1월부터 응급실 근무 전공의 및 전문의를 대상으로 소아 방사선 노출의 위험성 및 PECARN rule을 강의 및 증례(적용 연습)를 통해 교육하고 적용하도록 권고했다. 교육은 월 1회, 회당 60분으로 3회 시행했고, 상기 전공의 및 전문의가 1회 이상 교육에 참여했다. CT 시행은 근무하는 응급실 의사의 판단에 따랐다. 2014년 1-6월을 교육 및 적용기간으로 구분하고 2013년 1-12월을 교육 전 기간으로, 2014년 7월-2015년 6월을 및 교육 후 기간으로 정의했다.

연구대상자는 퇴원 진단명에 국제질병분류 10판(International Classification of Diseases, 10th revision)에 따른 두부외상 코드(S00-S09)가 있고, 두부외상 24시간 이내 방문한 2세 미만, 초기 GCS 14-15인 환자로 정의했다. 교육 및 적용기간에 방문, 연조직 손상 단독, 신경학적(예: 뇌종양 및 뇌수술) 또는 출혈 질환 과거력이 있는 환자는 제외했다.

의무기록에서 환자의 나이, 성별, 방문 시 증상, 의식수

준, 수상기전, CT 판독(영상의학과 전문의), 응급실 진료 결과, 재방문 여부, 외래 추적관찰 결과, 수술, 입원 기간을 확인했다. 임상 결과로서, 각 기간 CT 시행 및 ciTBI 빈도를 확인하고 CT 시행의 안전성 및 효능을 평가했다. ciTBI은 PECARN rule에 준하여 정의했다⁴⁾. 안전성은 ciTBI 환자 중 CT 시행 환자로, 효능은 ciTBI가 없는 환자 중 CT 시행하지 않은 환자로 각각 정의했다¹⁾.

통계 분석은 SPSS ver. 23.0 (SPSS Inc., Chicago, IL)을 사용했다. 교육 전후 차이를 비교하기 위해 범주형 자료는 Chi-square test 또는 Fisher's exact test를, 연속형 변수는 t-test 또는 Wilcoxon rank sum test를 각각 사용했다. CT 시행 연관 인자를 알아보기 위해서 다변수 로지스틱 회귀분석을 시행했다. 통계적 유의성은 $P < 0.05$ 로 정의했다. 본 연구는 본원 임상연구심의위원회의 승인을 받고 시행했다(IRB No. GFIRB2019-172).

결 과

1. 일반적 특성

연구기간에 방문한 2세 미만 급성 두부외상 환자 총 1,471명 중, 연조직 손상 단독 507명, GCS 14점 미만 34명, 해당 과거력이 있는 19명을 제외한 911명을 분석했다. 이 중 교육 후 기간의 대상자는 360명(39.5%)이었다. 연구대상자 나이의 중앙값은 16개월(사분위수, 11-20개월)이었고, 남자가 533명(58.5%)이었다(Table 1). 나이의 중앙값은 교육 전 기간이 15개월로 교육 후 기간의 17개월보다 적었으나, 3개월 미만 환자 비율에는 유의한 차이가 없었다($P = 0.876$). 정보가 부족하여 PECARN rule을 적용하기 어려웠던 49명을 제외하고 PECARN rule에 따른 고위험군으로 CT 시행이 필요한 환자 비율도 두 군 간 유의한 차이가 없었다.

2. CT 시행 빈도 및 임상 결과

CT 시행 환자는 교육 전후 각각 223명(40.5%) 및 46명(12.8%)으로, 교육 후 기간 유의하게 감소했다($P < 0.001$) (Table 2). 두개 내 출혈은 교육 전 기간에서 7명(1.3%), 교육 후 기간에서 10명(2.7%)이었고, 두개골 골절 단독은 24명(10.8%)과 8명(17.4%)이었다. ciTBI 환자는 모두 2일 이상 입원한 경우로, 사망, 수술 및 2일 이상 기관내삽관 환자는 없었다. CT 미시행 후 재방문 환자는 총 5명으로 교육 전후 각각 2명 및 3명이었고 재방문 시

모두 CT를 시행했다. 재방문 환자 중 ciTBI 환자는 없었고, 두개골 골절 단독이 각각 2명씩 발견됐다. 외래 추적 관찰 환자 37명 중, 추가 검사, 입원, 수술이 필요한 환자는 없었다. 교육 전 기간 안전성 및 효능은 각각 100% (CT 시행 7명/ciTBI 7명) 및 52.9% (CT 미시행 288명/ciTBI 없음 544명)였고, 교육 후 기간에는 안전성 및 효

능이 각각 100% (CT 시행 6명/ciTBI 6명) 및 88.7% (CT 미시행 314명/ciTBI 없음 354명)였다.

3. CT 시행 연관 인자

CT 시행 연관 인자를 파악하기 위해 성별, 나이(3개월

Table 1. Clinical characteristics of the study patients

Variable	Total (N = 991)	Pre-education (N = 551)	Post-education (N = 360)	P value
Age, mo	16 (11.0-20.0)	15 (10.0-19.0)	17 (12.0-21.0)	0.004
Age < 3 mo	34 (3.7)	21 (3.8)	13 (3.6)	0.876
Boys	533 (58.5)	309 (56.1)	224 (62.2)	0.066
Glasgow Coma Scale				0.368
14	48 (5.3)	32 (5.8)	16 (4.4)	
15	863 (94.7)	519 (94.2)	344 (95.6)	
Symptom	198 (21.7)	122 (22.1)	76 (21.1)	0.743
Vomiting	81 (8.9)	40 (7.3)	41(11.4)	
Seizure	3 (0.3)	3 (0.5)	0 (0.0)	
Abnormal activity	24 (2.6)	16 (2.9)	8 (2.2)	
LOC ≥ 5 sec	6 (0.7)	4 (0.7)	2 (0.6)	
Hematoma	104 (11.4)	67 (12.2)	37 (10.3)	
Mechanism of injury				0.103
Blunt trauma	286 (31.4)	179 (32.5)	107 (29.7)	
Slip down	287 (31.5)	159 (28.9)	128 (35.6)	
Fall down	338 (37.1)	213 (38.6)	125 (34.7)	
High-risk*	102/942 (10.8)	66/522 (12.6)	36/340 (10.6)	0.355

Values are expressed as median (interquartile range) or number (%).

* CT is recommended by the PECARN rule.

LOC: loss of consciousness, CT: computed tomography, PECARN: Pediatric Emergency Care Applied Research Network.

Table 2. CT rate and clinical outcomes

Variable	Total (N = 991)	Pre-education (N = 551)	Post-education (N = 360)	P value
CT scans	269 (29.5)	223 (40.5)	46 (12.8)	< 0.001
CT findings				
Normal	220 (81.8)	192 (86.1)	28 (60.9)	< 0.001
Isolated skull fracture	32 (11.9)	24 (10.8)	8 (17.4)	0.087
Intracranial hemorrhage	17 (1.9)	7 (1.3)	10 (2.7)	0.100
Outcome	0.621			
Discharge	892 (97.9)	541 (98.2)	351 (97.5)	
Ward admission	14 (1.5)	8 (1.5)	6 (1.7)	
ICU admission	5 (0.5)	2 (0.4)	3 (0.8)	
ciTBI				
Death	0	0	0	NA
Neurosurgery	0	0	0	NA
Intubation, ≥ 2 days	0	0	0	NA
Admission, ≥ 2 nights	13 (1.4)	7 (1.3)	6 (1.7)	0.622

Values are expressed as number (%).

CT: computed tomography, ICU: intensive care unit, ciTBI: clinically important traumatic brain injury, NA: not available.

미만 여부), 초기 GCS, 증상 유무, 교육 시기, PECARN rule에 따른 ciTBI 고위험군 여부(CT 시행 권고)를 포함하여 다변수 로지스틱 회귀분석을 시행했다(Table 3). 분석 결과, 연관 인자는 교육(교차비(odds ratio, OR), 0.12 (95% confidence interval [CI], 0.07-0.19; $P < 0.001$), 증상 유무, 고위험군이였다.

고찰

본 기관은 2014년 이전에는 두부외상 환자에게 일정한 기준 없이 임상 의사의 판단에 의존하여 CT를 시행했다. 그러나 과학적 근거를 바탕으로 한 CT 필요성이 요구되면서, 방사선 노출의 위험성 및 PECARN rule 교육을 시행했다. 교육 전후 경증 두부외상 환자에서 CT 시행 빈도가 40.5%에서 12.8%로 감소했고, 안전성은 100%로 유지했으며 효능은 교육 후 증가했다. CT 시행 연관 요인은 교육, 증상 유무, PECARN rule에 따른 고위험군으로 CT 시행이 권고되는 경우였다. 본 연구의 의의는 CT 시행 빈도 변화와 이를 통한 안정성 및 효능을 평가했다는 것이다.

영유아의 두부외상은 보호자가 전달하는 증상과 신체검사만으로 ciTBI 여부를 판단하기 힘들고, 이 진단을 놓치면 치명적 결과를 초래할 수 있다. CT는 신속하고 간편한 검사로 장비 보급 증가, 시간이 필요한 신체검사보다 영상 검사를 선호하는 추세 등으로 인해 시행 빈도가 최근 지속적으로 증가했다⁴⁾. 그러나 최근 방사선 노출에 의한 암 유발 위험성이 보고되고, 몸의 크기가 작고 장기를 둘러싼 연조직이 적은 소아는 성인보다 방사능 노출에 더 민감한 것으로 알려졌다^{5,15)}. 또한 소아는 CT 시행 시 진정제 부작용이 발생할 수 있어¹⁶⁾ 신중한 CT 시행이 필요하다.

한국의 CT 시행 빈도는 소아 두부외상에서 17.5%-26.6%로 보고되어¹⁷⁾ 미국의 32%¹⁴⁾보다 낮아 보이지만, 조사 시기에 차이가 있고, 0-4세에선 38.1%로 높았다¹⁸⁾. 한 단일 기관에서 2세 미만 경증 두부외상 환자 CT 시행 빈도를 50.8%로 보고하여 방사선 노출에 대한 우려를 나

타내기도 했다¹¹⁾. 본 연구에서도 교육 전 CT 시행 빈도는 40.5%로 상당히 높았는데, 3개월 미만 환자의 비율이 여기에 영향을 미쳤을 수 있으나¹⁹⁾ 세부 나이에 대한 자료가 부족하여 확인할 수 없었다. 또 본원은 도시에 위치한 권역응급의료센터라는 점이 높은 CT 시행 빈도에 영향을 미쳤을 수 있다.

한국 외에서 불필요한 CT 시행을 줄이려는 여러 시도가 있었다. Kuppermann 등⁴⁾이 경증 두부외상 환자를 대상으로 한 연구에서 ciTBI는 0.9%에 불과하다고 보고했고 불필요한 CT 시행을 줄이기 위해 PECARN rule을 제시했다. PECARN rule의 유효성을 검증한 다른 연구에서는 ciTBI를 0.6%로 보고했으며²⁰⁾, 본 연구의 경우 1.4%로 비슷한 결과를 보였다. PECARN rule을 성공적으로 적용한 연구를 살펴보면, Puffenbarger 등²¹⁾은 3차 병원에서 CT 시행 빈도가 37.7%에서 16.9%로, Kobe 등²²⁾은 ciTBI 환자를 놓치지 않으면서 CT 시행 빈도가 56%에서 33%로 각각 감소했다고 보고했다. 이는 이번 연구와 유사한 결과이다. 본 연구에서 CT 시행 빈도는 40.5%에서 12.8%로 감소하여 기존 연구에 비해 감소폭이 컸는데, PECARN rule 적용을 강제하지 않고 의료진 판단에 맡겼다는 점이 영향을 미쳤을 것으로 생각한다. 본 연구에서 CT 효능이 교육 후 증가(52.9%에서 88%)한 점과 재방문 및 추적관찰 환자에서 ciTBI가 발생하지 않은 점은 안전성을 유지하며 불필요한 CT 시행이 감소했음을 시사한다.

이번 연구는 후향적으로 진행되어 몇 가지 제한점이 있다. 연구대상자를 진단명을 기준으로 선별하여, 두부외상으로 CT를 시행했지만 관련 진단명 미비로 누락됐을 수 있다. 임상 결과 확인과정에서 37명만 추적관찰이 가능하여 CT 미시행 환자의 정확한 임상 결과를 확인할 수 없었다. 또한, 후향적 PECARN rule 적용에 필요한 정보가 교육 전후 각각 29, 20건이 누락됐다. CT 시행에 영향을 줄 수 있는 보호자의 의견, 증상 정도, 기타 신체검사 결과 등에 대해 기록자와 평가자 간의 해석에 차이가 있을 수 있었다.

본 연구를 통해 응급실 의사에게 간단한 교육만으로 경

Table 3. Multivariable logistic regression analysis

Variable	Adjusted odds ratio	95% CI	P value
Education	0.12	0.07-0.19	< 0.001
Symptoms	6.99	4.56-10.74	< 0.001
High-risk*	12.64	6.71-23.81	< 0.001

The odds ratio from multiple logistic regressions that adjusted for age, sex, Glasgow Coma Scale, symptoms, education and recommended CT scan by PECARN rule.

* CT is recommended by the PECARN rule.

CT: computed tomography, CI: confidence interval, PECARN: Pediatric Emergency Care Applied Research Network.

증 두부외상 관련 CT 시행을 유의미하게 감소시킬 수 있음을 확인했다. CT 시행은 감소했으나 안전성은 유지했으며 효능은 교육 후 증가했다. CT 시행 연관 인자는 교육과 증상, PECARN rule에 따른 ciTBI 고위험군이었다. 앞으로 효과적인 교육 방법 및 시기에 대한 연구가 필요하며, 이를 통해 불필요한 CT 시행을 지속적으로 감소시킬 수 있을 것으로 기대한다.

이해관계

본 저자는 이 논문과 관련된 이해관계가 없음.

References

- Hawley CA, Ward AB, Long J, Owen DW, Magnay AR. Prevalence of traumatic brain injury amongst children admitted to hospital in one health district: a population-based study. *Injury* 2003;34:256-60.
- Hyder AA, Wunderlich CA, Puvanachandra P, Gururaj G, Kobusingye OC. The impact of traumatic brain injuries: a global perspective. *NeuroRehabilitation* 2007;22:341-53.
- Holmes JF, Palchak MJ, MacFarlane T, Kuppermann N. Performance of the pediatric glasgow coma scale in children with blunt head trauma. *Acad Emerg Med* 2005;12:814-9.
- Kuppermann N, Holmes JF, Dayan PS, Hoyle JD Jr, Atabaki SM, Holubkov R, et al. Identification of children at very low risk of clinically-important brain injuries after head trauma: a prospective cohort study. *Lancet* 2009;374:1160-70.
- Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet* 2012;380:499-505.
- Osmond MH, Klassen TP, Wells GA, Correll R, Jarvis A, Joubert G, et al. CATCH: a clinical decision rule for the use of computed tomography in children with minor head injury. *CMAJ* 2010;182:341-8.
- Sun BC, Hoffman JR, Mower WR. Evaluation of a modified prediction instrument to identify significant pediatric intracranial injury after blunt head trauma. *Ann Emerg Med* 2007;49:325-32.e1.
- Easter JS, Bakes K, Dhaliwal J, Miller M, Caruso E, Haukoos JS. Comparison of PECARN, CATCH, and CHALICE rules for children with minor head injury: a prospective cohort study. *Ann Emerg Med* 2014;64:145-52.e1-5.
- Lyttle MD, Crowe L, Oakley E, Dunning J, Babl FE. Comparing CATCH, CHALICE and PECARN clinical decision rules for paediatric head injuries. *Emerg Med J* 2012;29:785-94.
- Babl FE, Borland ML, Phillips N, Kochar A, Dalton S, McCaskill M, et al. Accuracy of PECARN, CATCH, and CHALICE head injury decision rules in children: a prospective cohort study. *Lancet* 2017;389:2393-402.
- Jung KY, Han SB, Lee JS, Kim JJ, Suh YJ, Kim JH. Availability of the Pediatric Emergency Care Applied Research Network (PECARN) rule for computed tomography scanning decision in children younger than 2 years with minor head injury. *Pediatr Emerg Med J* 2015;2:67-74. Korean.
- Hwang JY, Do KH, Yang DH, Cho YA, Yoon HK, Lee JS, et al. A survey of pediatric CT protocols and radiation doses in South Korean hospitals to optimize the radiation dose for pediatric CT scanning. *Medicine (Baltimore)* 2015;94:e2146.
- Reilly BM, Evans AT. Translating clinical research into clinical practice: impact of using prediction rules to make decisions. *Ann Intern Med* 2006;144:201-9.
- Kocher KE, Meurer WJ, Fazel R, Scott PA, Krumholz HM, Nallamothu BK. National trends in use of computed tomography in the emergency department. *Ann Emerg Med* 2011;58:452-62.e3.
- Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography: an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 2007;357:2277-84.
- Malviya S, Voepel-Lewis T, Eldevik OP, Rockwell DT, Wong JH, Tait AR. Sedation and general anaesthesia in children undergoing MRI and CT: adverse events and outcomes. *Br J Anaesth* 2000;84:743-8.

ORCID

Sung Wun Jung (<https://orcid.org/0000-0002-3085-1856>)
 Jae Ho Jang (<https://orcid.org/0000-0001-8625-9803>)
 Jin-Seong Cho (<https://orcid.org/0000-0001-6762-4692>)
 Sung Youl Hyun (<https://orcid.org/0000-0002-9419-244X>)
 Yong Su Lim (<https://orcid.org/0000-0003-4390-4010>)
 Hyuk Jun Yang (<https://orcid.org/0000-0001-8324-9749>)
 Jea Yeon Choi (<https://orcid.org/0000-0002-9326-5897>)

재정지원

본 저자는 이 논문과 관련된 재정지원을 받지 않았음.

17. Park SY, Jung JY, Kwak YH, Kim DK, Suh DB. A nationwide study on the epidemiology of head trauma and the utilization of computed tomography in Korea. *J Trauma Inj* 2012;25:152-8. Korean.
18. Kim HB, Kim DK, Kwak YH, Shin SD, Song KJ, Lee SC, et al. Epidemiology of traumatic head injury in Korean children. *J Korean Med Sci* 2012;27:437-42.
19. Bressan S, Steiner IP, Mion T, Berlese P, Romanato S, Da Dalt L. The Pediatric Emergency Care Applied Research Network intermediate-risk predictors were not associated with scanning decisions for minor head injuries. *Acta Paediatr* 2015;104:47-52.
20. Lorton F, Poullaouec C, Legallais E, Simon-Pimmel J, Chene MA, Leroy H, et al. Validation of the PECARN clinical decision rule for children with minor head trauma: a French multicenter prospective study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2016;24:98.
21. Puffenbarger MS, Ahmad FA, Argent M, Gu H, Samson C, Quayle KS, et al. Reduction of computed tomography use for pediatric closed head injury evaluation at a nonpediatric community emergency department. *Acad Emerg Med* 2019;26:784-95.
22. Kobe IO, Qureshi MM, Hassan S, Oluoch-Olunya DL. The impact of the introduction of PECARN head CT rules on the utilisation of head CT scans in a private tertiary hospital in Sub-Saharan Africa. *Childs Nerv Syst* 2017;33: 2147-52.