

Analysis of Stage-specific Dental Contact Ratios during Endotracheal Intubation and Perceived Usefulness of Visual Feedback-based Training

Gyoung-Yong Kim*, Seul-Ki Yun**

*Professor, Dept. of Paramedic Science, Korea National University of Transportation, Chungbuk, Korea

**Student, Department of Health and Medical Sciences, Graduate School, Korea National University of Transportation, Chungbuk, Korea

[Abstract]

Dental contact during endotracheal intubation is an important procedural event that may lead to dental trauma, including tooth fracture, luxation, and periodontal injury. Although dental trauma is one of the common complications associated with laryngoscopy and tracheal intubation, operators may fail to recognize actual dental contact during airway management training. This study aimed to analyze stage-specific dental contact ratios during endotracheal intubation and to evaluate participants' perceived usefulness of visual feedback-based training using a dental contact sensor. A total of 46 participants were included in the final analysis. Dental contact ratios were calculated by dividing the dental contact time at each intubation stage by the duration of the corresponding stage. Data were analyzed using descriptive statistics, chi-square tests, binary logistic regression analysis, Wilcoxon signed-rank tests, Cochran's Q tests, and Friedman tests using SPSS Statistics version 27.0. The Wilcoxon signed-rank test showed a significant difference between perceived contact time and actual total dental contact time ($Z=-3.604$, $p<.001$). Cochran's Q test showed significant differences in dental contact occurrence across intubation stages ($Q=57.384$, $p<.001$). The Friedman test also showed significant differences in stage-specific dental contact ratios ($\chi^2=78.045$, $p<.001$). The highest mean contact ratio was observed during the glottic exposure stage (57.2%), followed by tube insertion (53.6%) and 45-degree angle adjustment (41.8%). These findings suggest that dental contact occurs predominantly during specific procedural stages and that visual feedback-based training may be useful for improving dental contact awareness and preventing dental injury during airway management education.

▶ **Key words:** Endotracheal intubation, Dental contact, Dental trauma, Simulation training, Visual feedback, Airway management

-
- First Author: Gyoung-Yong Kim, Corresponding Author: Seul-Ki Yun
 - *Gyoung-Yong Kim (1021hk@hanmail.net), Dept. of Paramedic Science, Korea National University of Transportation
 - **Seul-Ki Yun (sky4503kr@naver.com), Department of Health and Medical Sciences, Graduate School, Korea National University of Transportation
 - Received: 2026. 05. 22, Revised: 2026. 07. 27, Accepted: 2026. 08. 04.

[요 약]

기관내삽관 과정에서 발생하는 치아 접촉은 치아 파절, 탈구 및 치주 손상과 같은 치아 손상의 주요 원인이 될 수 있으나, 시술자는 실제 접촉 발생 여부를 인지하지 못하는 경우가 많다. 본 연구는 기관내삽관 과정에서 단계별 치아 접촉 비율을 분석하고, 치아 접촉 센서를 이용한 시각적 피드백 기반 교육에 대한 학습자의 주관적 유용성 인식을 평가하고자 하였다. 총 46명의 자료를 최종 분석에 포함하였으며, 단계별 접촉비율은 각 단계의 치아 접촉시간을 해당 단계 소요시간으로 나누어 산출하였다. 자료 분석은 SPSS 27.0을 이용하여 기술통계, 카이제곱 검정, 이항 로지스틱 회귀분석, Wilcoxon signed-rank test, Cochran's Q test 및 Friedman 검정을 실시하였다. 분석 결과 인지접촉 시간과 실제 총 치아접촉시간 사이에는 유의한 차이가 있었고($Z=-3.604$, $p<.001$), 삽관 단계별 접촉 발생 여부에도 유의한 차이가 나타났다($Q=57.384$, $p<.001$). 단계별 치아 접촉 비율 역시 유의한 차이를 보였으며($\chi^2=78.045$, $p<.001$), 성문확인 단계에서 가장 높은 접촉 비율(57.2%)이 확인되었다. 본 연구 결과는 기관내삽관 교육에서 특정 단계 중심의 피드백 교육 전략이 필요함을 시사한다.

▶ **주제어:** 기관내삽관, 치아접촉, 치아손상, 시뮬레이션 교육, 시각적 피드백, 기도관리

I. Introduction

기관내삽관(Endotracheal intubation)은 심정지, 중증 외상 및 급성 호흡부전 환자의 기도 확보를 위한 핵심 술기이며, 병원 전 단계와 병원 단계 모두에서 중요한 역할을 수행한다[1]. 최근 American Heart Association(AHA) 가이드라인에서도 효과적인 기도관리와 숙련된 기도확보 술기의 중요성을 강조하고 있다[18]. 그러나 기관내삽관은 높은 숙련도와 정확한 후두경 조작을 요구하는 술기로, 삽관 실패, 식도삽관, 저산소증 및 치아 손상과 같은 다양한 합병증이 발생할 수 있다[1-4]. 특히 병원 전 환경은 제한된 인력, 협소한 공간, 불안정한 지면 및 이동 중 진동과 같은 환경적 제약으로 인해 기도 확보 절차의 위험성을 증가시킬 수 있다[1]. 또한 병원 전 기관내삽관은 제한된 환경, 장비 및 팀 간 의사소통 등 다양한 요인이 함께 영향을 미치는 고위험 처치로 알려져 있다[1].

기관내삽관 과정에서 발생할 수 있는 대표적 합병증 중 하나는 치아 손상(Dental trauma)이다. 치아 손상은 후두경 조작 중 후두경 날이 상악 절치에 직접 접촉하거나 지렛대처럼 사용될 때 발생하며, 전치부 파절·탈구·치주 손상 등 임상적으로도 중요한 문제로 보고되어 왔다[2-6]. 선행연구들은 시술자의 숙련도와 후두경 조작 방식이 치아에 가해지는 힘과 밀접히 관련되며[7-9], 이를 줄이기 위한 장비·자세 개선 방안들이 제시되어 왔음을 보여준다[10-13]. 관련 선행연구의 구체적 내용은 II장에서 상세히 다룬다.

한편, 기관내삽관 교육 연구는 주로 삽관 성공률과 소요 시간을 중심으로 이루어져 왔으며, 최근에는 실시간 시각

적 피드백 기반 교육의 가능성도 제시되고 있다[14-17]. 그러나 실제 삽관 과정 중 어느 단계에서 치아 접촉이 집중적으로 발생하는지, 시술자가 이를 얼마나 정확히 인지하는지에 대한 단계별 정량 분석은 부족하며, 접촉을 실시간으로 시각화하여 학습자에게 피드백하는 교육 방법에 대한 연구도 제한적이다.

기존 연구의 흐름을 종합하면, 치아 손상은 기관내삽관에서 중요한 환자안전 문제이며, 후두경 blade와 상악 절치의 접촉, 시술자의 조작 방식, 기도 난이도 및 치아 상태가 복합적으로 영향을 미친다. 그러나 실제 삽관 과정 중 어느 단계에서 치아 접촉이 집중적으로 발생하는지, 시술자가 실제 접촉 발생을 얼마나 정확히 인지하는지에 대한 단계별 정량 분석은 부족하다. 또한 시뮬레이션 기반 삽관 교육에서 치아 접촉을 실시간으로 시각화하여 학습자에게 피드백하는 교육 방법에 대한 연구도 제한적이다.

이에 본 연구에서는 기관내삽관 교육용 마네킹의 상악 절치 부위에 치아 접촉 감지 센서를 적용하여 삽관 수행 중 발생하는 치아 접촉을 시각적으로 확인할 수 있도록 하였다. 또한 삽관 과정을 후두경 삽입, 혀 우측에서 좌측 이동, 45도 각도 변경, 성문확인, 튜브삽입 및 후두경제거 단계로 세분화하여 단계별 치아 접촉 비율을 분석하였다. 이를 통해 치아 접촉이 어느 단계에서 집중적으로 발생하는지 확인하고, 시각적 피드백 기반 교육이 치아 접촉 인지 향상과 치아 손상 예방 교육 전략으로 활용될 가능성을 평가하고자 하였다.

II. Related Works

2.1 Dental trauma and laryngoscope manipulation

기관내삽관 중 발생하는 치아 손상은 후두경 blade와 상악 절치의 직접 접촉으로 발생하는 기계적 부하와 밀접한 관련이 있다. Bucx 등은 Macintosh 후두경 사용 시 상악 절치에 작용하는 힘(force)를 측정하여 후두경 조작 과정에서 상악 절치가 지렛대처럼 사용될 수 있음을 보고하였다[2].

Engoren 등은 후두경 삽입 시 상악 절치에 발생하는 변형률, 변형률 속도, 그리고 strain-time integral을 측정하여 치아 손상의 생체역학적 기전을 분석하였다[3]. 또한 술자 간 치아에 발생하는 변형률은 매우 큰 차이를 보였으며, 보호패드를 적용한 경우 치아에 발생하는 strain rate가 감소하여 치아 손상 위험을 줄일 가능성을 보고하였다[3].

Vogel 등은 기관내삽관과 관련된 치아 손상 사례를 후향적으로 분석하여 전치부 손상이 흔하고, 치아 파절과 탈구가 주요 손상 형태로 나타난다고 보고하였다[4]. Lee와 O는 전신마취와 관련된 치아 손상 연구에서 어려운 기관내삽관 예측검사와 치과적 평가가 중요하다고 보고하였으며, 치아 손상이 단일 요인보다 환자의 치아 상태, 기도 난이도, 기술 조건 등이 복합적으로 작용하여 발생할 수 있음을 제시하였다[5]. 최근 Chanthawong 등은 42,826명을 대상으로 한 대규모 사례-대조군 연구에서 기존 치아 병변, 예상되는 어려운 기도, 불량한 후두경 시야(Grade ≥ 3)가 치아 손상의 독립적 위험요인임을 확인하였다[6].

Fukuda 등은 경험자와 초보자를 대상으로 마네킹 기반 연구를 수행하여 상악 절치에 가해지는 힘을 비교하였다[7]. 이 연구는 초보자의 후두경 조작 방식이 치아 손상 위험과 관련될 수 있음을 보여준다. Zamora 등은 숙련자와 초보자의 후두경 파지와 조작 방식이 다르며, 숙련자는 후두경을 손바닥보다 손가락으로 잡고, 더 안정적인 조작을 수행하는 경향이 있다고 보고하였다[8]. 이러한 연구들은 삽관 교육에서 후두경 파지법과 조작 방향을 구체적으로 교육해야 함을 뒷받침한다. Davis 등은 시뮬레이터 기반 연구에서 기도 노출 난이도가 증가할수록 숙련도와 무관하게 절치와 설기저부에 가해지는 힘이 증가함을 보고하여, 난이도 자체가 치아 손상 위험을 높이는 독립적 요인일 수 있음을 시사하였다[9].

2.2 Dental contact reduction strategies

치아 접촉을 줄이기 위한 술기 및 장비 개선 연구도 진행되었다. Moon 등은 변형된 Macintosh blade가 어려운 기

도 상황에서 초보 시술자의 blade-tooth distance를 증가시키고 직접 치아 접촉 가능성을 낮춘다고 보고하였다[10]. 최근 메타분석에서도 비디오 후두경(video laryngoscopy)이 직접 후두경에 비해 치아 손상 위험을 유의하게 감소시키는 것으로 나타나(RR=0.32, 95% CI 0.16-0.67), 장비 개선이 치아 손상 예방에 효과적인 접근일 수 있음을 뒷받침한다[11]. Song 등은 팔뚝 또는 팔꿈치를 이용하여 환자 이마를 지지하는 새로운 후두경 조작 기법이 기존 방식보다 치아 접촉 발생률을 유의하게 감소시킨다고 보고하였다[12]. Veparala 등은 치아 결손 또는 동요치가 있는 환자에서 LeHeR 기법이 시야 확보를 개선하고 치아 외상 예방에 도움을 줄 수 있다고 제시하였다[13].

이러한 선행연구들은 치아 손상 예방을 위해 후두경 조작 방식, 환자 머리 위치, blade-to-tooth distance 및 술기 피드백이 중요하다는 점을 보여준다. 그러나 이들 연구는 대체로 치아 접촉 발생률 또는 blade-to-tooth distance를 중심으로 평가되었고, 삽관 과정 전체를 여러 단계로 구분하여 어느 단계에서 접촉이 집중되는지 분석하지는 않았다. 따라서 단계별 접촉비율 분석은 기존 연구의 한계를 보완할 수 있는 접근이다.

2.3 Simulation-based intubation education

기관내삽관 교육은 반복 훈련과 객관적 평가가 중요한 영역이다. Song 등은 119 대원을 대상으로 지면 위 자세에서 비디오 후두경과 부지 사용 효과를 분석하였고, 시뮬레이션 기반 연구를 통해 장비별 삽관 시간과 성공률을 비교하였다[14]. Shim 등은 어려운 기도 상황에서 gum elastic bougie 사용이 삽관 시간과 용이성에 영향을 줄 수 있다고 보고하였다[15]. Lee 등은 초보 인턴을 대상으로 한 마네킹 연구에서 Miller blade와 Macintosh blade를 이용한 기관내삽관을 비교하였으며, blade 종류에 따라 삽관 소요시간과 난이도에 차이가 나타날 수 있음을 보고하였다[16]. Bak은 병원 전 응급 기도삽관 절차를 FMEA 기반으로 분석하여 병원 전 삽관이 여러 단계의 위험요인을 포함하는 고위험 절차임을 제시하였다[1].

기존 시뮬레이션 연구들은 대부분 삽관 성공률과 삽관 시간 중심으로 평가되었으며, 실제 삽관 과정 중 치아 접촉 발생 여부를 단계별로 정량화한 연구는 제한적이었다. 특히 시술자가 실제 치아 접촉을 얼마나 정확하게 인지하는지, 그리고 실시간 시각적 피드백이 접촉 인지 향상에 어떤 영향을 미치는지를 분석한 연구는 부족하였다. 특히 Yamamoto 등[17]의 연구는 video laryngoscope를 이용한 실시간 시각 정보가 초보자의 술기 유지에 영향을 줄

수 있음을 보여주었다. 본 연구의 발광센서 기반 피드백은 video laryngoscope와 동일한 장비는 아니지만, 학습자가 수행 중 발생하는 문제를 즉각적으로 확인할 수 있도록 한다는 점에서 시각적 피드백 기반 교육이라는 공통점을 가진다. 따라서 본 연구는 기존의 삽관 성공률 중심 교육에서 나아가, 치아 접촉 여부와 접촉시간을 객관적으로 확인하는 환자안전 중심 교육 평가로 확장된 의미를 가진다.

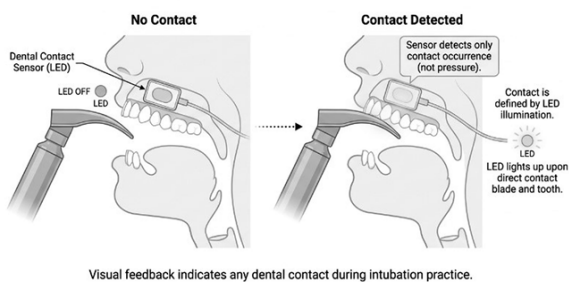
III. Methods

3.1 Study design

본 연구는 기관내삽관 과정에서 발생하는 치아 접촉의 단계별 발생 양상을 분석하고, 치아 접촉 시 발광하는 시각적 피드백 시스템의 교육적 활용 가능성 및 학습자의 주관적 유용성을 평가하기 위한 마네킹 기반 시뮬레이션 연구이다. 연구는 동일한 삽관 교육 환경에서 수행되었으며, 모든 대상자는 Macintosh 직접 후두경을 이용하여 기관내삽관을 수행하였다.

본 연구에서 사용한 센서는 상악 절치 표면에 부착되었으며, 후두경 blade가 센서 표면과 직접 접촉하여 전기회로가 닫히는 순간 LED가 점등되도록 설계하였다(Fig. 1). 센서는 치아에 가해지는 압력이나 힘을 측정하는 장치가 아니라 blade와 치아의 직접적인 접촉 여부만을 감지하는 장치이며 모든 실험에서 동일한 위치와 동일한 조건으로 센서를 부착하여 사용하였다.

(A) Sensor mechanism



(B) Circuit schematic

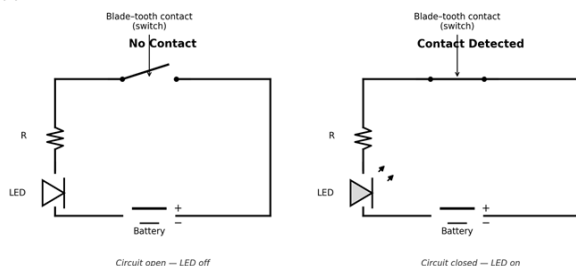


Fig. 1. Dental contact detection sensor used for visual feedback during endotracheal intubation.

3.2 Participants

본 연구는 기관내삽관 교육 경험이 있는 대상자 49명을 대상으로 수행되었으며, 결측값이 있는 자료를 제외한 총 46명의 자료를 최종 분석에 포함하였다. 일반적 특성 분석 결과, 성별은 남자 25명(54.3%), 여자 21명(45.7%)이었다. 평균 연령은 24.08세였다. 삽관 연습횟수는 90회 이상이 22명(47.8%)으로 가장 많았고, 마지막 교육 시점은 일주일 이내가 20명(43.5%)으로 가장 높은 비율을 차지하였다.

본 연구의 표본 수 산정을 위하여 G*Power 3.1 프로그램을 이용하여 사전 검정력을 분석하였다. 치아 접촉 발생 여부에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위한 카이제곱 검정을 기준으로 효과크기(effect size)는 중간 수준($w=0.3$), 유의수준(α)=0.05, 검정력(power)=0.80으로 설정하였다. 분석 결과 필요한 최소 표본 수는 44명으로 산출되었으며, 본 연구에서는 총 46명의 자료를 분석에 포함하여 적절한 검정력을 확보하였다.

3.3 Intubation stages and measurement

삽관 과정은 후두경 삽입 단계, 혀 우측에서 좌측 이동 단계, 45도 각도 변경 단계, 성문확인 단계, 튜브삽입 단계 및 후두경제거 단계의 6단계로 구분하였다. 각 단계별 소요시간은 해당 단계 시작 시점부터 다음 단계 시작 시점까지의 시간 차이로 정의하였다. 예를 들어 후두경 삽입 단계의 소요시간은 혀를 우측에서 좌측으로 이동하기 시작한 시점에서 후두경 삽입 시작 시점을 감산하여 산출하였다. 후두경제거 단계는 후두경제거 시작 시점부터 제거종료 시점까지로 정의하였다.

본 연구의 주요 종속변수는 단계별 치아 접촉비율이었다. 단계별 접촉비율은 각 단계의 치아 접촉시간을 해당 단계의 소요시간으로 나누고 100을 곱하여 산출하였다. 추가 분석 변수는 실제 치아 접촉 여부, 총 치아 접촉시간, 총 삽관시간 대비 총 접촉비율, 시술자의 치아 접촉 인지 여부, 연습횟수, 마지막 교육 시점, 후두경 파지법 및 시각적 피드백에 대한 주관적 유용성 인식 변수로 구성하였다.

3.4 Evaluation of Perceived Usefulness of Visual Feedback-based Training

시각적 피드백 기반 교육에 대한 학습자의 주관적 유용성을 평가하기 위하여 대상자의 자기보고식(self-report) 설문문을 이용하여 평가하였다. 설문문은 4점 Likert 척도로 구성되었으며, 별도의 외부 평가자 없이 대상자 본인이 직접 평정하였다. "기존 마네킹 점수"는 자신감 척도(1=전혀 자신 없다 ~ 4=매우 자신 있다) 중 "삽관 시 후두경 날이

치아에 닿지 않고 정확히 수행할 자신이 있다" 문항(단일 문항, 4점 만점)으로 산출하였다. "발광도움 점수"는 만족도·자신감 척도(1=전혀 도움이 되지 않았다 ~ 4=매우 도움이 되었다) 중 "접촉(발광) 마네킹으로 삽관연습을 한다면 기존의 마네킹보다 교육의 효과가 더 클 것이라고 생각하는가?" 문항(단일 문항, 4점 만점)으로 산출하였다. 두 문항은 각각 치아 비접촉 수행 자신감과 시각적 피드백의 교육적 도움 인식을 측정하기 위한 단일 문항으로 구성되었으며, 각각 독립적인 기술통계 결과로 해석하였다.

3.5 Statistical analysis

자료 분석은 SPSS Statistics version 27.0을 사용하였다. 대상자의 일반적 특성은 빈도, 백분율, 평균 및 표준편차로 제시하였다. 연습횟수, 마지막 교육 시점 및 파지법에 따른 실제 치아 접촉 여부 차이는 카이제곱 검정과 이항 로지스틱 회귀분석을 이용하였다. 인지접촉시간과 실제 총 치아접촉시간 비교는 정규성 검정 결과를 고려하여 Wilcoxon signed-rank test를 이용하였다.

단계별 치아 접촉 발생 여부는 동일 대상자의 기관내삽관 수행 과정에서 6단계에 걸쳐 반복 측정된 이분형 자료이므로 Cochran's Q test를 실시하였다. 또한 단계별 치아 접촉비율은 동일 대상자로부터 반복 측정된 비정규 분포 자료이므로 Friedman 검정을 적용하여 단계 간 차이를 비교하였다.

치아 비접촉 수행 자신감 점수와 시각적 피드백 기반 교육에 대한 주관적 유용성 점수는 서로 다른 개념을 측정한 단일 문항이므로 직접적인 통계적 비교를 실시하지 않았으며, 각각 평균과 표준편차를 이용하여 제시하였다. 모든 통계분석의 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였다. Friedman 및 Cochran's Q 검정에서 유의한 차이가 확인된 경우, 사후분석으로 각각 Wilcoxon signed-rank test와 McNemar test를 실시하였으며(Bonferroni 보정, $\alpha = .0033$), 결과는 compact letter display 방식으로 표에 제시하였다.

IV. Results

4.1 General characteristics

최종 분석 대상자는 총 46명이었으며, 성별은 남자 25명(54.3%), 여자 21명(45.7%)이었다. 연령은 평균 24.08세였고, 최소 21세, 최대 30세였다. 삽관 연습횟수는 30회

미만 1명(2.2%), 50회 미만 5명(10.9%), 70회 미만 12명(26.1%), 90회 미만 6명(13.0%), 90회 이상 22명(47.8%)이었다. 마지막 교육 시점은 일주일 이내 20명(43.5%), 한 달 이내 1명(2.2%), 3개월 이내 10명(21.7%), 6개월 이내 15명(32.6%)이었다.

Table 1. General Characteristics of Participants

Variables	Categories	n (%) or Mean
Sex	Male	25 (54.3)
	Female	21 (45.7)
Age	Mean	24.08
	<30	1 (2.2)
	<50	5 (10.9)
	<70	12 (26.1)
	<90	6 (13.0)
Practice frequency	≥ 90	22 (47.8)
	Within 1 week	20 (43.5)
	Within 1 month	1 (2.2)
	Within 3 months	10 (21.7)
	Within 6 months	15 (32.6)

4.2 Comparison between perceived and actual contact time

인지접촉시간과 실제 총 치아 접촉시간을 비교하기 전 정규성 검정을 실시하였다. Shapiro-Wilk 검정 결과 인지접촉시간은 정규성을 만족하지 않았으며($p < .001$), 실제 총 치아 접촉시간도 정규성을 만족하지 않았다($p = .009$). 이에 따라 두 변수의 차이는 Wilcoxon signed-rank test를 이용하여 분석하였다. 분석 결과 실제 총 치아 접촉시간은 인지접촉시간보다 유의하게 길었다($Z = -3.604$, $p < .001$). 순위 분석에서 실제 총 치아 접촉시간이 인지접촉시간보다 긴 경우는 36명, 짧은 경우는 7명, 동일한 경우는 3명으로 나타났다. 이러한 결과는 시술자가 실제 치아 접촉을 충분히 인지하지 못하는 경향을 보였음을 나타낸다.

Table 2. Comparison between Perceived and Actual Dental Contact Time

Variable	Mean	SD	K-S p	SWp	Rank	N	M. rank	sum
Perceived contact time	2.46	4.08	<.001	<.001				
Actual total dental contact time	4.08	2.97	.051	.009	Negative rank	7	24.93	174.50
					Positive rank	36	21.43	771.50
					Tie	3		

Wilcoxon signed-rank test: $Z = -3.604$, $p < .001$

4.3 Stage-specific dental contact occurrence

삽관 단계별 치아 접촉 발생 여부를 분석한 결과, 후두경 삽입 단계에서는 14명(30.4%), 혀 우측에서 좌측 이동 단계에서는 24명(52.2%), 45도 각도 변경 단계에서는 29명(63.0%), 성문확인 단계에서는 31명(67.4%), 튜브삽입 단계에서는 38명(82.6%), 후두경제거 단계에서는 11명(23.9%)에서 치아 접촉이 발생하였다. Cochran's Q test 결과 삽관 단계별 치아 접촉 발생 여부에는 유의한 차이가 나타났다($Q=57.384$, $p<.001$). 접촉 발생 빈도는 튜브삽입 단계에서 가장 높았으며, 다음으로 성문확인 단계와 45도 각도 변경 단계 순으로 나타났다. 사후분석(McNemar test, Bonferroni 보정) 결과, 45도 각도 변경·성문확인·튜브삽입 단계는 서로 유의한 차이가 없어 "접촉이 많은 단계군"으로 분류되었으며, 후두경 삽입과 후두경제거 단계는 서로 유의한 차이가 없어 "접촉이 적은 단계군"으로 분류되었다(Table 3).

Table 3. Stage-specific Dental Contact Occurrence

Intubation stage	No contact n (%)	Contact n (%)
Laryngoscope insertion	32 (69.6)	14 (30.4) ^a
Tongue shift from right to left	22 (47.8)	24 (52.2) ^{ab}
45-degree angle adjustment	17 (37.0)	29 (63.0) ^b
Glottic exposure	15 (32.6)	31 (67.4) ^b
Tube insertion	8 (17.4)	38 (82.6) ^b
Laryngoscope removal	35 (76.1)	11 (23.9) ^a

Cochran's Q = 57.384, $p < .001$. Values with the same superscript letter within the Contact column indicate no significant difference (McNemar test, Bonferroni-corrected $p > .0033$).

4.4 Dental contact ratios

삽관 단계별 치아 접촉 비율을 비교하기 위하여 Friedman 검정을 실시한 결과 단계 간 유의한 차이가 나타났다($\chi^2=78.045$, $p<.001$). 단계별 평균 치아 접촉 비율은 성문확인 단계에서 가장 높게 나타났으며(57.2%), 다음으로 튜브삽입 단계(53.6%), 45도 각도 변경 단계(41.8%), 혀 우측에서 좌측 이동 단계(31.5%) 순으로 확인되었다. 반면 후두경 삽입 단계(8.3%)와 후두경제거 단계(5.4%)에서는 상대적으로 낮은 접촉 비율이 나타났다. 전체 삽관 과정에서 평균 치아 접촉시간은 4.08초($SD=2.97$)로 나타났다. 사후분석(Wilcoxon signed-rank test, Bonferroni 보정) 결과, 성문확인 단계는 튜브삽입 단계와 유의한 차이가 없었으나($p=.159$) 그 외 모든 단계와는 유의한 차이를 보였다. 후두경 삽입과 후두경제거 단계는 서로 유의한

차이가 없어 가장 낮은 접촉비율 단계군으로 분류되었다(Table 4).

Table 4. Comparison of Dental Contact Ratios across Intubation Stages using Friedman Test

Intubation stage	Mean dental contact ratio (%)	SD
Laryngoscope insertion	8.3 ^a	16.1
Tongue shift from right to left	31.5 ^b	40.6
45-degree angle adjustment	41.8 ^b	40.9
Glottic exposure	57.2 ^c	45.6
Tube insertion	53.6 ^{bc}	40.8
Laryngoscope removal	5.4 ^a	13.8

Friedman $\chi^2 = 78.045$, $p < .001$. Values with the same superscript letter indicate no significant difference (Wilcoxon signed-rank test, Bonferroni-corrected $p > .0033$).

Distribution of dental contact ratios according to intubation stage

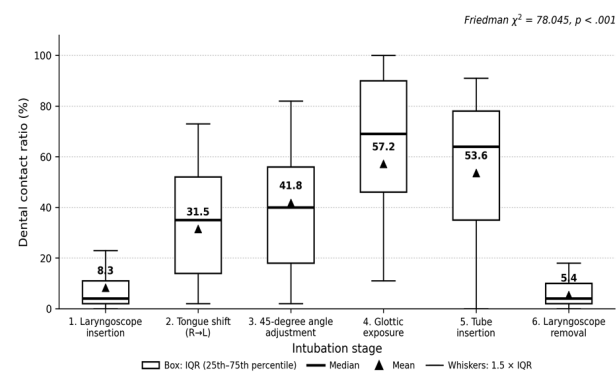


Fig. 2. Boxplot distribution of dental contact ratios according to intubation stages.

4.5 Perceived Usefulness of Visual Feedback-based Training

시각적 피드백 기반 교육에 대한 주관적 인식을 확인하기 위하여 "기존 마네킹 점수"와 "발광도움 점수"를 산출하였다. 발광도움 점수는 평균 3.74점($SD=0.49$), 기존 마네킹 점수는 평균 2.96점($SD=0.67$)으로 나타났다. 이러한 결과는 대상자들이 발광센서 기반 시각적 피드백을 교육적으로 유용하다고 인식하였음을 나타낸다(Table 5).

Table 5. Descriptive Statistics for Confidence and Perceived Usefulness of Visual Feedback

Variables	Mean	SD
Confidence score	2.96	0.67
Perceived usefulness score	3.74	0.49

4.6 Factors associated with dental contact

연습횟수, 마지막 교육 시점 및 파지법과 치아 접촉 여부의 관련성을 확인하기 위하여 교차분석을 시행하였다. 연습횟수에 따른 치아 접촉 여부는 통계적으로 유의하지 않았으나($\chi^2=8.472$, $p=.076$), 마지막 교육 시점($\chi^2=2.805$, $p=.423$)과 파지법($\chi^2=3.744$, $p=.154$)은 치아 접촉 여부와 유의한 관련성을 보이지 않았다. 이항 로지스틱 회귀분석에서도 연습횟수와 마지막 교육 시점은 치아 접촉 발생의 유의한 예측요인으로 확인되지 않았다(Table 6).

Table 6. Factors Associated with Dental Contact

Variables	Statistical test	p-value
Practice frequency	$\chi^2=8.472$	.076
Last training time	$\chi^2=2.805$	.423
Grip method	$\chi^2=3.744$	.154
Practice frequency in logistic regression	OR=0.745, 95%CI=0.209-2.649	.649
Last training time in logistic regression	OR=0.361, 95%CI=0.077-1.698	.197

V. Discussion

연구 결과 기관내삽관 중 치아 접촉은 삽관 전 과정에서 무작위로 발생하기보다 특정 단계에 집중되는 양상을 보였다. 접촉 발생 여부는 튜브삽입 단계에서 가장 높았으나, 단계별 접촉비율은 성문확인 단계에서 가장 높게 나타났다. 접촉 발생 여부와 접촉비율이 서로 다른 양상을 보인 것은 두 지표의 산출 방식이 다르기 때문으로 판단된다. 접촉 발생 여부는 각 단계에서 치아 접촉이 발생한 대상자의 빈도를 의미하는 반면, 접촉비율은 각 단계의 수행 시간을 분모로 하여 산출된 지표이다. 따라서 튜브삽입 단계는 수행시간이 상대적으로 길어 접촉이 발생한 대상자는 많았지만 단계시간 대비 접촉 지속시간은 상대적으로 짧게 나타날 수 있다. 반대로 성문확인 단계는 비교적 짧은 시간 동안 후두경 blade를 이용하여 성문 시야를 확보하는 과정이 반복되므로, 접촉이 발생한 경우 단계시간 대비 접촉 지속시간의 비율이 높게 나타난 것으로 해석된다. 이러한 이유로 본 연구에서는 단계별 치아 접촉 양상을 보다 객관적으로 평가하기 위해 접촉 발생 여부와 접촉비율을 함께 제시하여 종합적으로 해석하였다.

이는 성문 시야를 확보하기 위한 후두경 조작 과정에서 상악 절치와 후두경 blade 간 접촉이 상대적으로 집중될 가능성을 시사하며, 특히 성문확인 단계가 치아 손상 예방 교육에서 중점적으로 고려되어야 하는 구간임을 보여준다.

이러한 결과는 기존 선행연구와도 연결된다. Bucx 등은 후두경 조작 중 상악 절치에 힘이 가해질 수 있음을 보고하였으며[2], Engoren 등은 치아 손상이 단순한 접촉 여부보다 치아에 발생하는 변형률과 변형률 속도에 의해 더욱 큰 영향을 받을 수 있으며, 동일한 힘이라도 짧은 시간에 전달될 경우 치아 조직이 충분히 기계적 에너지를 분산시키지 못해 손상 위험이 증가할 수 있다고 보고하였다[3]. Zamora 등은 숙련자와 초보자 간 후두경 조작 방식의 차이를 제시하였다[8]. 이러한 결과는 성문확인 단계에서 관찰된 높은 치아 접촉비율이 실제 임상에서도 치아에 전달되는 기계적 부하를 증가시킬 가능성을 시사하며, 치아 접촉 자체를 줄이기 위한 교육의 중요성을 뒷받침한다. 특히 성문 시야 확보 과정에서는 후두경 blade를 전상방으로 들어올리는 과정에서 상악 절치를 지렛대처럼 사용하는 보상적 조작이 발생할 가능성이 있다. 이러한 결과는 성문 시야를 확보하기 위한 후두경 조작 과정에서 상악 절치 접촉 가능성이 증가할 수 있음을 보여준다. 다만 본 연구에서는 후두경에 가해지는 힘이나 손목 움직임을 직접 측정하지 않았으므로, 구체적인 생체역학적 기전은 향후 연구에서 확인할 필요가 있다. 따라서 삽관 과정 중 특정 단계에 집중된 치아 접촉 양상은 교육 현장에서 치아 접촉 예방 교육이 필요한 핵심 시점을 제시한다는 점에서 의미가 있다.

시각적 피드백 기반 교육에 대한 인식 역시 Yamamoto 등[17]의 연구와 유사한 교육적 방향성을 보였다. Yamamoto 등은 video laryngoscope를 활용한 교육이 초보자의 기관내삽관 술기 유지에 긍정적인 영향을 줄 수 있다고 보고하였다. 본 논문에서는 video image 대신 발광센서를 이용하였지만, 학습자가 자신의 술기 오류를 즉각적으로 확인할 수 있다는 점에서 실시간 피드백의 교육적 유용성을 뒷받침한다. 특히 치아 접촉은 시술자가 주관적으로 인지하기 어려운 경우가 많으므로, 발광센서를 통한 즉각적 피드백은 삽관 성공 여부 중심의 교육을 환자안전 중심 술기평가(patient safety-oriented procedural assessment)로 확장시키는 데 의미가 있다.

다만 "기존 마네킹 점수"와 "발광도움 점수"는 서로 다른 개념(치아 비접촉 수행에 대한 자신감 vs. 발광 마네킹의 교육적 도움 인식)을 측정한 단일 문항이므로 직접적인 통계적 비교는 실시하지 않았으며, 각 점수는 시각적 피드백 기반 교육에 대한 학습자의 주관적 인식 수준을 나타내는 기술통계로 해석하는 것이 적절하다. 또한 본 연구에서 제시한 결과는 발광센서 기반 시각적 피드백에 대한 학습자의 주관적 도움 인식을 평가한 것으로, 실제 치아 접촉 감소 효과를 직접 입증한 것은 아니다. 따라서 향후에는 동

일 대상자를 대상으로 반복 수행 전·후의 치아 접촉시간과 접촉비율 변화를 비교하여 시각적 피드백의 교육 효과를 객관적으로 검증하는 연구가 필요할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구의 결과는 발광센서 기반 시각적 피드백이 기관내삽관 교육에서 활용될 가능성을 제시하는 기초자료로 해석하는 것이 적절하다.

실제 총 치아접촉시간은 시술자가 인지한 접촉시간보다 유의하게 길게 나타났다. 이는 시술자가 삽관 성공에 필요한 술기 수행에 집중하는 과정에서 치아 접촉을 충분히 인지하지 못했을 가능성을 시사한다. 다만 본 연구에서는 인지 부하나 주의 배분을 직접 측정하지 않았으므로, 이에 대한 해석에는 주의가 필요하다. 또한 발광센서 기반 시각적 피드백에 대한 교육적 도움 인식 점수는 평균 3.74점으로 나타났다. 이는 대상자들이 해당 피드백을 교육적으로 유용하다고 인식하였음을 의미한다. 다만 이러한 결과는 학습자의 주관적 평가에 근거한 것으로, 실제 치아 접촉 인지 향상이나 술기 개선 효과를 직접 입증한 것은 아니다.

그러나 본 연구에서는 시각적 피드백 제공 이후 인지접촉시간과 실제 치아접촉시간 간의 차이가 감소하는지를 직접 확인하지는 못하였다. 따라서 향후에는 동일 대상자를 대상으로 반복 수행 전·후의 인지접촉시간과 실제 치아 접촉시간을 비교하여 시각적 피드백이 학습자의 치아 접촉 인지 능력 향상에 미치는 영향을 객관적으로 검증할 필요가 있다.

다만 본 논문은 마네킹 기반 시뮬레이션 연구라는 제한점이 있으므로 실제 임상 환경에서의 치아 접촉 및 치아 손상 발생과 직접적으로 동일시하기에는 한계가 있다. 또한 접촉이 발생한 모든 순간이 실제 치아 손상으로 이어지는 것은 아니므로, 향후 연구에서는 접촉시간뿐 아니라 접촉 강도, 후두경 각도, 파지법 및 시술자의 숙련도를 함께 분석할 필요가 있다.

본 연구의 표본 수 산정은 치아 접촉 예측요인 분석(카이제곱 검정)을 기준으로 이루어졌으며, 본 연구의 주요 분석인 단계별 접촉비율 비교(Friedman 검정) 및 접촉 발생 여부 비교(Cochran's Q test)에 대한 사전 검정력 분석은 별도로 수행되지 않았다는 제한점이 있다. 또한 G*Power를 이용하여 산출된 최소 표본 수는 충족하였으나, 일부 범주의 대상자 수가 매우 적고(예: 연습횟수 30회 미만, $n=1$) 범주 간 분포가 불균형하였다. 이러한 표본 특성은 예측요인 분석에서 통계적 검정력을 저하시켰을 가능성이 있으며, 연습횟수, 마지막 교육 시점 및 파지법이 치아 접촉의 유의한 예측요인으로 확인되지 않은 결과에 영향을 미쳤을 수 있다. 따라서 향후에는 보다 다양한 숙

련도 수준의 대상자를 포함한 대규모 연구를 통해 치아 접촉에 영향을 미치는 요인을 보다 정밀하게 규명할 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 삽관 과정을 단계별로 세분화하여 치아 접촉비율과 접촉 지속시간을 동시에 정량화하였다는 점에서 방법론적 차별성을 가진다. 또한 치아 접촉 여부뿐 아니라 치아에 전달되는 기계적 부하를 최소화하기 위한 교육 전략의 필요성을 제시하였다는 점에서도 의의가 있다.

VI. Conclusions

본 연구는 기관내삽관 과정 중 발생하는 치아 접촉을 단계별로 분석하고, 치아 접촉 센서를 이용한 시각적 피드백의 교육적 활용 가능성과 학습자의 주관적 유용성을 평가하고자 수행되었다. 연구 결과, 치아 접촉은 삽관 과정 전체에 균등하게 발생하지 않았으며 특정 단계에 집중되는 경향을 보였다. 특히 접촉 발생 여부는 튜브삽입 단계에서 가장 높았고, 단계별 접촉비율은 성문확인 단계에서 가장 높았다. 이는 성문 시야 확보와 튜브 조작이 동시에 요구되는 과정에서 후두경 blade와 상악 절치 간 접촉 가능성이 증가할 수 있음을 보여준다.

또한 실제 총 치아접촉시간은 시술자가 인지한 접촉시간보다 유의하게 길게 나타났다. 이는 학습자가 삽관 중 치아 접촉을 충분히 인지하지 못할 수 있음을 보여주며, 삽관 교육에서 치아 접촉을 객관적으로 인지할 수 있는 피드백 시스템의 필요성을 시사한다. 발광센서 기반 시각적 피드백에 대한 주관적 도움 인식 점수는 평균 3.74점으로 나타났으며, 이는 학습자의 치아 접촉 인지를 향상시키는 보조 교육 도구로 활용될 가능성을 제시한다. 다만 본 연구에서 제시한 결과는 학습자의 주관적 평가를 기반으로 분석되었으며, 실제 치아 접촉 감소 효과를 직접 입증한 것은 아니다.

따라서 기관내삽관 교육에서는 단순히 삽관 성공 여부만을 평가하는 것이 아니라, 성문확인과 튜브삽입 단계에서 발생하는 치아 접촉을 감소시키기 위한 구체적인 교육 전략이 필요하다. 본 연구 결과는 시각적 피드백 기반 교육 시스템이 치아 손상 예방을 위한 환자안전 중심 기관내삽관 교육 전략 개발에 활용될 가능성을 제시한다.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was conducted in 2026 with the support of Korea National University of Transportation.

REFERENCES

- [1] Y. S. Bak, "Risk analysis of prehospital emergency airway intubation procedures using failure mode and effects analysis (FMEA)," *Journal of Korea Society for Wellness*, Vol. 21, No. 1, pp. 83-97, Jan. 2026.
- [2] M. J. L. Bucx, C. J. Snijders, R. T. M. van Geel, C. Robers, H. van de Giessen, W. Erdmann, and T. Stijnen, "Forces acting on the maxillary incisor teeth during laryngoscopy using the Macintosh laryngoscope," *Anaesthesia*, Vol. 49, No. 12, pp. 1064-1070, Dec. 1994.
- [3] M. Engoren, L. R. Rochlen, M. V. Diehl, S. S. Sherman, E. Jewell, M. Golinski, P. Begeman, and J. M. Cavanaugh, "Mechanical strain to maxillary incisors during direct laryngoscopy," *BMC Anesthesiology*, Vol. 17, Article 151, October 2017. DOI: 10.1186/s12871-017-0442-z.
- [4] J. Vogel, S. Stübinger, M. Kaufmann, G. Krastl, and A. Filippi, "Dental injuries resulting from tracheal intubation: A retrospective study," *Dental Traumatology*, Vol. 25, No. 1, pp. 73-77, Feb. 2009. DOI: 10.1111/j.1600-9657.2008.00670.x.
- [5] C. Lee, and S. O, "The Effect of Screening Tests for Predicting Difficult Intubation and the Duration of Anesthesia Resident Training for Dental Trauma Associated with General Anesthesia," *Korean Journal of Anesthesiology*, Vol. 54, No. 3, pp. 289-294, Mar. 2008. DOI: 10.4097/kjae.2008.54.3.289.
- [6] S. Chanthawong, S. Nonphiaraj, L. Vongtongchith, N. Tisangka, J. Kaewaun, P. Sangsunern, T. Ruenhunsu, and L. Chairatana, "The Incidence and Risk Factors for Dental Injury in Patients Undergoing General Anesthesia: A Case-Control Study," *Therapeutics and Clinical Risk Management*, Vol. 21, pp. 1431-1441, Oct. 2025. DOI: 10.2147/TCRM.S552333
- [7] T. Fukuda, Y. Sugimoto, S. Yamashita, H. Toyooka, and M. Tanaka, "Forces applied to the maxillary incisors during tracheal intubation and dental injury risks of intubation by beginners: A manikin study," *Acta Anaesthesiologica Taiwanica*, Vol. 49, No. 1, pp. 12-15, Mar. 2011. DOI: 10.1016/j.aat.2011.02.001.
- [8] J. E. Zamora, B. J. Weber, A. R. Langley, and A. G. Day, "Laryngoscope manipulation by experienced versus novice laryngoscopists," *Canadian Journal of Anesthesia*, Vol. 61, pp. 1075-1083, Dec. 2014. DOI: 10.1007/s12630-014-0238-2.
- [9] G. Davis, R. E. Malka, A. Moore, S. L. Cook, M. Blackburn, and G. R. Dion, "Quantifying Intubation Forces on Incisors and Tongue Base Across Exposure Difficulty and Experience in a Simulator," *Cureus*, Vol. 15, No. 7, e41611, Jul. 2023. DOI: 10.7759/cureus.41611
- [10] Y. E. Moon, C. J. Kim, J. E. Kim, S. H. Hong, J. P. Jeon, H. D. Jung, and J. Lee, "Effects of the modified blade on reducing the risk of dental trauma by novice laryngoscopists in anticipated difficult airway," *Korean Journal of Anesthesiology*, Vol. 55, No. 5, pp. 549-553, Nov. 2008. DOI: 10.4097/kjae.2008.55.5.549.
- [11] P. P. Polo, R. Ramirez-Rodriguez, R. Alejandro-Salinas, J. Yangali-Vicente, O. Rivera-Lozada, and J. J. Barboza, "Video Versus Direct Laryngoscopy for Tracheal Intubation of Critically Ill Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Journal of Clinical Medicine*, Vol. 14, No. 6, 1933, Mar. 2025. DOI: 10.3390/jcm14061933
- [12] S. E. Song, J. W. Ju, J. Y. Park, D. Park, S. Yoon, K. Nam, H. J. Lee, J. H. Seo, W. H. Kim, and J. H. Bahk, "Forearm support to reduce dental contact during direct laryngoscopy: A randomized crossover trial," *Canadian Journal of Anesthesia*, Vol. 72, No. 10, pp. 1511-1520, Oct. 2025. DOI: 10.1007/s12630-025-03035-w.
- [13] P. R. Veparala, N. Samagh, K. Jangra, and H. S. Jabbal, "Left head rotation (LeHeR), an innovative approach for intubation in patients with missing and loose teeth," *BMJ Case Reports*, Vol. 17, e258012, Mar. 2024. DOI: 10.1136/bcr-2023-258012.
- [14] H. W. Song, G. H. Kang, Y. S. Jang, W. Kim, H. Y. Choi, J. G. Kim, Y. Lee, T. Y. Kim, and S. H. Bang, "Effect of the use of a video laryngoscope and bougie on the performance of endotracheal intubation on the ground by novice prehospital caregivers: A randomized simulation study," *Journal of the Korean Society of Emergency Medicine*, Vol. 32, No. 4, pp. 362-370, Aug. 2021.
- [15] G. S. Shim, S. H. Bang, and H. J. Ahn, "Effects of gum elastic bougie in intubation with difficult airway," *Korean Journal of Emergency Medical Services*, Vol. 24, No. 2, pp. 123-131, Aug. 2020. DOI: 10.14408/KJEMS.2020.24.2.123.
- [16] M. L. Lee, C. T. Kim, and H. C. Lee, "Comparison of tracheal intubation using the Miller blade versus Macintosh blade in difficult airway: A manikin study among novice intern doctors," *Korean Journal of Emergency Medical Services*, Vol. 22, No. 3, pp. 35-45, Dec. 2018. DOI: 10.14408/KJEMS.2018.22.3.035.
- [17] Y. Yamamoto, S. Kimura, H. Kuniyoshi, T. Hiroe, T. Terui, and Y. Kase, "Novice residents' endotracheal intubation skill retention on a simulated mannequin after rotating at an anaesthesiology department: A randomized controlled study," *Journal of International Medical Research*, Vol. 51, No. 10, pp. 1-9, Oct. 2023. DOI: 10.1177/03000605231206313.
- [18] American Heart Association, 2025 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care, Dallas, 2025.

Authors



Gyoung-Yong Kim received the M.S. degrees and Ph. D. Candidate in Department of emergency medical technology from KangWon National University, Korea, in 2014, 2016. He worked at Gyeonggi-do Fire and Disaster

Headquarters and Gyeonggi-do Fire Service Academy until 2019. He is currently a Professor in the Department of paramedic science, Korea National University of Transportation. He is interested in Health care and emergency care.



Seul-Ki Yun received the Associate's degree in Emergency Medical Technology from Chungcheong University, Korea, in 2013, and the M.S. degree in Emergency Medical Science from Eulji University, Korea, in

2022. Ms. Yun worked at the Emergency Medical Center, Cheongju St. Mary's Hospital, from 2013 to 2022. She has served as an Adjunct Professor at Chungcheong University since 2019, and as a Lecturer in the Department of Paramedic Science at Daejeon University and Korea National University of Transportation since 2023. She is currently pursuing the Ph.D. degree in the Department of Health and Medical Sciences, Graduate School, Korea National University of Transportation, Korea. She is interested in airway management, endotracheal intubation, simulation-based education, cardiopulmonary resuscitation, emergency medical education, and evidence-based emergency care.