



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원 저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리와 책임은 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



상악 전치 및 견치의 개별 치아
움직임에 따른 상순 연조직의 변화
양상

연세대학교 대학원
치의학과
조신영

상악 전치 및 견치의 개별 치아
움직임에 따른 상순 연조직의 변화
양상

지도교수 정 주 령

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2025년 6월

연세대학교 대학원
치의학과
조신영

상악 전치 및 견치의 개별 치아 움직임에 따른
상순 연조직의 변화 양상
조신영의 석사 학위논문으로 인준함

심사위원장 김경호 (서명)

심사위원 정주령 (서명)

심사위원 이지현 (서명)

연세대학교 대학원
치 의 학 과

2025년 06월

감사의 글

논문이 완성되기까지 많이 부족한 제게 모든 과정에서 아낌없는 도움을 주시고, 많은 지도와 인내, 관심으로 이끌어주신 정주령 교수님께 진심으로 감사드립니다. 바쁘신 와중에도 세심한 조언과 훌륭한 가르침을 주신 김경호 교수님과 이지현 교수님께 진심으로 감사드립니다.

제게 교정학에 대한 많은 가르침을 베풀어 주신 유형석 교수님, 이기준 교수님, 차정열 교수님, 최윤정 교수님, 최성환 교수님, 박선형 교수님, 최재훈 교수님, 김하림 교수님께도 깊이 감사드립니다.

의국 생활을 하며 많이 부족한 저를 이끌어 준 오채희, 김지훈, 이현아, 김한결, 이현지, 조병수 선배님과, 함께 수련 받고 있는 소중한 동기 김연희 선생, 항상 고맙고 진정으로 아끼는 주희돈, 임재현, 이지인, 성진모 선생에게 많은 감사를 전합니다.

마지막으로 언제나 제 편에 서서 묵묵히 응원해주고 늘 힘이 되는 사랑하는 부모님과 동생, 둔광오빠에게 정말 감사하다는 말을 전합니다.

2025년 6월
저자 쯔

차례

그림 차례	iii
표 차례	iv
국문 요약	v
I. 서론	1
II. 연구 대상 및 방법	4
1. 연구대상 및 자료	4
2. 연구방법	6
가. CBCT 촬영 및 영상 분석, 캐스트 분석	6
나. 전치부 후방이동에 따른 연조직의 변화 범주	8
다. 치아이동량, 치료전후 악궁 형태 변화 계측	9
라. 연조직 변화량 계측	11
마. 윗입술 면적 변화 측정	14
바. 통계 분석	15
III. 결과	16
1. 전치부 후방이동을 동반한 교정치료 후의 연조직 변화 범위	16
2. 교정치료에 따른 전치부 개별 치아 이동양과 연조직 변화 비율	17
3. 치료 방법에 따른 전치부 개별 치아 이동양과 연조직 변화 비율, 폭경 변화 비교	18
4. 치아이동량에 따른 연조직 후방이동 및 반응 효율의 치아별 특성	20
5. 견치부위의 전후방 치아이동량에 따른 치아이동량 대비 연조직 이동량 비율 비교	22
6. 견치부위 수평방향, 상하방향 치아이동량에 따른 연조직 이동량 비교	23
IV. 고찰	25



V. 결론	28
참고문헌	30
영문요약	34

그림 차례

Figure 1. Flow chart of patient selection for distalization and extraction groups.	5
Figure 2. Voxel-based superimposition of pre- and post-treatment CBCT data on the anterior cranial base using OnDemand3D software.	7
Figure 3. Classification of the range of Soft Tissue changes following anterior retraction based on CBCT superimposition.	9
Figure 4. Rugae-based superimposition and anatomical landmark identification for 3D measurement of tooth movement.	11
Figure 5. Method of measuring soft tissue movement at the labial side of maxillary anterior teeth on superimposed CBCT images.	13
Figure 6. Upper lip area measurement from CBCT data using volume rendering and contour-based calculation in OnDemand3D software.	14
Figure 7. Representative cases illustrating different patterns of labial soft tissue retraction in axial CBCT view.	17
Figure 8. Relationship between tooth movement and soft tissue movement in each maxillary anterior tooth.	21

표 차례

Table 1. Comparison on hard and soft tissue changes between distalization and extraction groups at T0 and T1.	6
Table 2. Summary of tooth movement, labial soft tissue displacement, and movement ratios in central, lateral incisors and canine.	18
Table 3. Summary of tooth movement, labial soft tissue displacement, and movement ratios in distalization and extraction groups.	19
Table 4. Changes in arch width and upper lip area after treatment in distalization and extraction Groups.	19
Table 5. Comparison of soft tissue-to-tooth movement ratio in the canine region according to the amount of tooth movement.	22
Table 6. Comparison of soft tissue retraction according to the horizontal direction movement of the maxillary canine.	23
Table 7. Comparison of soft tissue retraction according to the vertical direction movement of the maxillary canine.	24

국문 요약

상악 전치 및 견치의 개별 치아 움직임에 따른 상순 연조직의 변화 양상

연세대학교 대학원 치의학과

조신영

(지도 교수 : 정주령)

교정치료는 정상적인 교합을 확립함과 동시에 안모의 심미성을 개선하는 것을 주요 목표로 한다. 이러한 치료의 성공을 위해서는 치아 이동 뿐 아니라 입술 및 주변 연조직의 변화를 예측하고 이해하는 것이 중요하다. 최근 CBCT 및 디지털 모델 분석 기술의 발달로 교정 치료에 따른 얼굴 연조직 반응을 평가하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

입술 주변 연조직은 중절치 뿐 아니라 측절치나 견치와 같은 치아의 지지를 받고 있으며, 임상적으로 교정 치료를 통해 profile 뿐 아니라, 입술, 구각과 비순구 영역까지 포함하는 광범위한 3 차원 변화가 일어나지만, 기존 연구들은 중절치의 치아 이동을 연조직의 변화의 주된 지표로 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 포괄적인 교정치료를 시행한 젊은 성인 여성을 대상으로 상악 전치부의 개별 치아이동이 윗입술을 포함한 입술 주위 연조직의 3 차원적 변화에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

연세대학교 강남세브란스병원 치과교정과에서 교정치료를 완료한 30 세 이하의 성인 여성 환자 48 명을 대상으로 치료 전후 CBCT 및 디지털 캐스트를 활용하여 상악 전치부의 개별 치아 이동양과 폭경 변화 등의 경조직의 변화와 소구치 발치등의 치료 요인이 입술 및 주변 연조직에 미치는 변화를 정량적으로 분석하였으며, 그룹 간 비교와 치아별 회귀 그래프 분석을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전치부 후방이동을 동반한 교정치료를 완료한 대상자 48명 중 38명 (79.2%, 후방이동군 16명과 발치군 22명)에서 연조직 변화는 외측 입꼬리 주변까지 광범위하게 발생하였다.
2. 중절치의 치아이동량은 3.97 ± 2.01 mm로 가장 컸으며, 견치와 측절치는 각각 3.17 ± 2.03 mm 와 2.81 ± 1.99 mm로 유사한 수준이었다. 치아이동량 대비 연조직 변화(연조직/치아이동) 비율은 측절치(0.6), 견치(0.5) > 중절치(0.3) 순이었다($p < 0.001$).
3. 연조직/치아이동 비율은 후방이동군의 경우 중절치, 측절치, 견치에서 각각 0.3, 0.6, 0.8 이었고, 발치군에서는 각각 0.4, 0.6, 0.5 였다. 후방이동군과 발치군의 중절치 및 측절치의 연조직이동/치아이동 비율이 유사하였으나, 견치의 경우 후방이동군에서 발치군보다 더 높은 연조직/치아이동 비율이 관찰되었다($p < 0.05$).
4. 치아별 연조직/치아이동 비율을 분석한 결과, 중절치와 측절치는 치아이동양에 비례하여 연조직이 약 0.36배 후방 이동하는 경향을 보였고, 예

측 가능성이 높았다. 반면 견치는 동일한 치아 후방이동에도 연조직 이동이 다양하게 나타나 예측이 어려웠다. 견치의 연조직/치아이동 비율을 확인한 결과, 약 3mm 이하의 후방이동의 경우 치아이동양에 비례하는 연조직 후방이동이 보였지만, 그 이상의 후방이동에서는 연조직 반응이 정체(plateau)되었다.

5. 상악 견치의 후방 이동량을 3mm 기준으로 재분류한 결과, 이동량이 3mm 이하와 3mm초과한 그룹에서의 연조직/치아이동 비율은 각각 0.7과 0.4로 유의하였다($p < 0.001$).
6. 발치군의 경우 후방이동군에 비해 입술 연조직의 후방이동양 및 입술 볼륨의 감소가 유의하게 컸다($p < 0.001$). 후방이동군의 경우, 견치 및 구치간 폭경(intercanine width)이 증가하였으나, 발치군의 경우 견치간 폭경은 증가, 구치간 폭경은 감소하여 악궁 형태의 차이가 확인되었다($p < 0.001$).
7. 연조직은 견치(#13, #23)의 수평(x축), 상하(z축) 이동 방향과 상관없이 후방으로 이동하는 경향을 보였다.

핵심이 되는 말 : 상악 전치부, 연조직 반응, 입술 주위 연조직, 상악 견치

상악 전치 및 견치의 개별 치아

움직임에 따른 상순 연조직의 변화 양상

연세대학교 대학원 치의학과

조신영

(지도 교수 : 정주령)

I. 서론

교정치료의 주요 목표는 기능적으로 정상적인 교합을 확립하고 심미적으로 조화로운 안모를 형성하는 것으로 (Proffit WR et al., 2014), 치성 및 골격성 부정교합이나 안모 개선을 위해 치아 배열뿐 아니라 소구치 발치나 임시골성고정원(TADs, Temporary Anchorage Devices)등을 동반한 다양한 치료 옵션이 적용되고 있다(Choi et al., 2011). 또한 성인 환자군의 증가로 교정치료를 통한 안모의 심미적 완성도를 높이려는 임상의들의 관심이 커지고 있다(Ackerman JL et al., 1999, Baek ES et al., 2018). 전통적으로 교정치료의 진단 및 치료 계획은 상하악 중절치의 위치 설정과 측모의 심미성을 중심으로 평가되는 경우가 일반적이다(Ricketts RM.,1961). 측모두부방사선사진 상의 중절치의 전후방 위치와 돌출도는 주요 지표로 활용되었으며, ANB

angle°]나 E-line과 같은 기준을 통해 안모의 조화를 추론하였다(Burstone CJ., 1958, Holdaway RA et al., 1983). 그러나 이러한 이차원적 분석은 안모를 구성하는 다양한 경조직, 연조직 변화를 3차원적으로 표현하고 적용하기에는 한계가 존재한다.

얼굴의 매력도는 측모보다는 전면 사진이나 30~45도 회전된 측모에서 미소와 같은 기능과 더불어 더욱 뚜렷하게 전달되고 입술 주변 연조직은 얼굴에서 시각적 중심에 위치하고 치아의 위치변화에도 많은 영향을 받는다(Kim SH et al., 2018). 특히 여성의 경우 남성에 비해 심미적 기대치가 높고, 노화나 교정 치료에 따른 입술 및 볼 부위의 변화가 더 뚜렷하다고 보고되고 있어 (Lee JS et al., 2025), CBCT나 스캐너 등을 활용하여 교정치료에 따른 입술 및 주변 연조직의 반응을 3차원적으로 정량화하고 예측하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 교정치료 시에는 입술 뿐 아니라, 구각부나 비순구를 포함하는 광범위한 변화가 3차원적으로 일어날 수 있으며, 상하악의 중절치의 이동양 뿐 아니라 성별, 나이, 기준의 골격성 부정교합 유무, 연조직의 두께 등과 같은 다양한 개체 요소 또한 교정치료에 따른 입술과 얼굴 연조직의 3차원적인 변화에 영향을 줄 수 있다고 보고되고 있다 (Nam JH et al., 2023, Park YS et al., 2022, Baek ES et al., 2018).

다만, 입술 연조직은 중절치 뿐 아니라 측절치나 견치 등의 지지를 받고 있으며, 교정치료는 상악 중절치의 이동에만 국한되지 않지만, 기존의 연구들에서는 주로 중절치의 전후방적 이동양과 입술 및 주변 연조직의 변화를 연계시켜 평가하는 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에서는 포괄적 교정치료를 시행한 젊은 성인 여성 을 대상으로 상악 전치부와 견치 부위의 치아이동량, 악궁 형태 변화, 발치 여부 등의 다양한 치료 인자가 윗입술을 포함한 입술 주위 연조직의 3차원적 변화에 미



치는 영향을 정량적으로 분석하고자 한다. 이를 통해 교정치료 시 측모의 연조직 반응을 보다 체계적으로 규명하고, 향후 치료계획 수립 시 환자의 안모 개선에 도움이 되는 근거 기반 접근을 가능하게 하고자 한다.

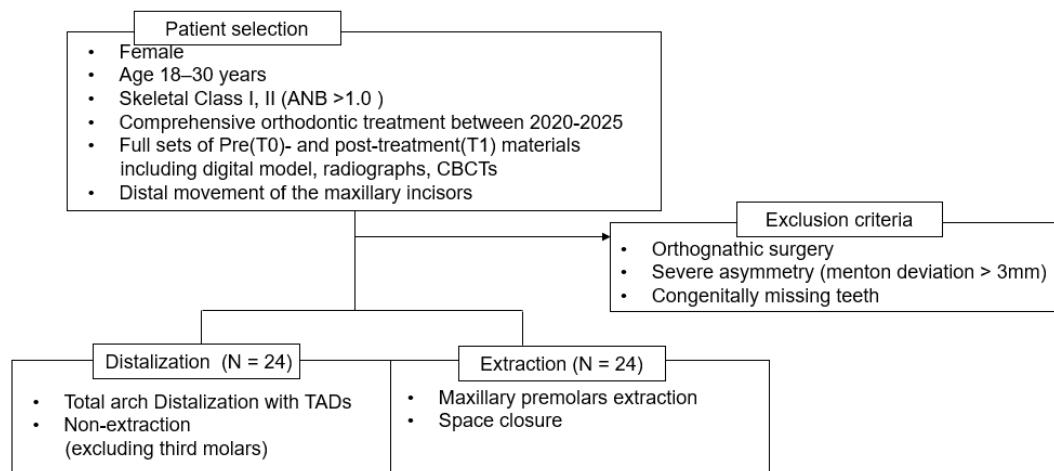
II. 연구 대상 및 방법

1. 연구대상 및 자료

본 연구는 후향적 연구로, 연구대상 수집 및 자료 수집에 앞서 연세대학교 강남세브란스병원 기관생명윤리위원회(IRB)의 승인을 받은 후 연구를 진행하였다 (IRB No. : 3-2024-0323). 교정치료에 따른 3 차원적 입술 연조직에 관한 이전 연구에 근거하여(Baek ES et al., 2018) 치아이동에 따른 연조직의 변화를 감지하기 위한 최소 대상자 수는 G Power software (version 3.1.9.4; Franz Faul University, Kiel, Germany)을 사용하여 80%의 검정력, 0.8 효과 크기, 유의 수준 0.05 적용 시 약 24 명으로 계측되었다. 2020년 1월부터 2025년 3월까지 연세대학교 강남세브란스병원 치과교정과에서 포괄적 교정치료를 완료한 환자 중, 치료 전후의 CBCT 와 측모 두부 방사선사진(lateral cephalogram), 구강 내 스캔 혹은 디지털 캐스트자료를 모두 보유한 만 18세 이상 30세 이하의 젊은 성인 여성으로, 골격성 1급 혹은 2급 부정교합으로 진단된 환자(ANB>1.0) 중, 상악 전치부 후방이동을 시행한 환자를 대상으로 하였다. 후방이동 시 소구치 발치 여부는 전치부 치아이동량에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 폭경 변화나 구치부 치아이동 양상 또한 상이할 수 있다. 이에 본 연구에서는 임시 콜성 고정원(Temporary Anchorage Device, TAD)을 이용하여 상악 전치열의 후방이동을 유도한 후방이동군(N=24)과 상악 제 1 소구치 발치를 시행한 후 전치부 공간 폐쇄 및 후방이동을 통해 치료를 완료한 발치군(N=24, 상·하악 제 1 소구치를 모두 발치 N=23, 상악 제 1 소구치 편측발치 N=1)을 각각

구성하였다. 악교정 수술을 받은 경우, menton deviation 이 3mm 를 초과하는 심한 골격적 비대칭이 있는 경우, 선천적으로 결손치가 있는 경우는 대상에서 제외하였다(Figure 1).

Figure 1. Flow chart of patient selection for Distalization and Extraction groups.



측모두부방사선사진을 이용하여 치료 전후 대상자의 특성을 파악하였다. 치료 전(T0) 후방이동군과 발치군의 경조직 계측치(SNA, SNB, ANB, SN to MP)는 유사하였다. 다만, E-line 대비 상하순 돌출도는 발치군이 후방이동군에 비해 유의하게 높았다($p<0.05$). 치료 후(T1) 두 군 모두 SNA, SNB, ANB($^{\circ}$)의 유의한 감소가 관찰되었으며, E-line에 대한 입술의 위치 또한 유의하게 나타났다(Table 1).

Table 1. Comparisons on Hard and soft tissue changes Between Distalization and Extraction Groups at T0 and T1

	Pre-treatment(T0)				P-value	Post-treatment(T1)				
	Distalization		Extraction			Distalization	Extraction		P-value	
	Mean	SD	Mean	SD		Mean	SD	Mean		
SNA (°)	82.06	3.64	81.53	2.91	0.581	81.20	4.14	80.75	2.88	0.668
SNB (°)	77.34	3.49	76.37	3.39	0.333	76.93	3.77	75.96	3.89	0.388
ANB (°)	4.72	2.18	5.16	1.66	0.433	4.27	2.08	4.79	2.28	0.413
SN to MP (°)	37.23	5.14	38.56	6.99	0.458	37.71	5.06	38.56	7.61	0.653
Wits appraisal (mm)	0.32	3.25	1.85	2.89	0.092	-0.93	2.13	-0.74	2.80	0.788
U1 to SN (°)	107.96	5.35	110.17	5.20	0.154	102.35	6.69	97.07	8.06	0.018
IMPA (°)	98.72	5.37	98.44	6.26	0.865	94.11	6.24	92.32	8.86	0.421
Interincisal angle (°)	116.08	5.28	112.84	5.88	0.050*	125.83	6.90	132.06	8.15	0.007
Upper lip to E-plane (mm)	0.92	1.73	2.47	1.93	0.005*	0.08	1.42	0.11	1.44	0.934
Lower lip to E-plane (mm)	1.74	1.53	3.83	1.89	<0.001*	0.52	1.25	0.25	1.57	0.504
Nasolabial angle (°)	90.72	11.28	87.47	7.47	0.246	90.15	10.80	95.88	7.39	0.038*
Intercanine width(ICW, mm)	35.82	2.31	34.69	2.63	0.121	37.04	1.58	36.87	1.02	0.658
Intermolar width(IMW, mm)	47.90	2.15	44.73	2.23	<0.001*	49.23	1.90	43.91	1.31	<0.001*
Upper lip area(mm ²)	365.65	47.11	344.33	44.20	0.113	336.96	52.04	297.10	42.18	0.005*

2. 연구방법

가. CBCT 촬영 및 영상 분석, 캐스트 분석

치료 전후 CBCT 촬영은 Pax Zenith 3D (Vatech, Seoul, Korea)를 사용하여 촬영되었으며, 모든 스캔은 숙련된 방사선 기술자가 수행하였다. 환자는 촬영 시 최대 교두간섭위(maximum intercuspal position)에서 입술을 가볍게 닫고 얼굴을 이완한 상태로 서 있도록 하였다. 한 번의 스캔은 총 633 개의 이미지를 획득하였으며, 촬영 매개변수는 105 kV, 5.4 mAs로 설정되었고, 촬영 시간은 24 초, 해상도(voxel size)는 0.3 mm, 시야 범위(FOV, field of view)는 24 × 19 cm로 설정하여 안면부, 악골 및

전두두개골 기저부를 포함하도록 하였다. 획득된 DICOM 데이터는 OnDemand 3D 소프트웨어(Cybermed Co., Seoul, Korea)를 이용하여 3 차원 영상으로 재구성되었다. 치료 전후 CBCT 데이터는 OnDemand3D 소프트웨어의 fusion 모듈을 이용하여 전두두개골 기저부(anterior cranial base)의 안정적인 구조를 기준으로 자동 복셀 대 복셀(voxel-by-voxel) 정합을 통해 중첩(superimposition)하였다. 초기 정렬은 수동으로 수행하였으며, 이후 소프트웨어가 전두두개골 기저부 영역에서 각 복셀의 회색 강도(gray level intensity)를 비교하여 자동 정합을 수행하였다(Weissheimer et al., 2015)(Figure 2).

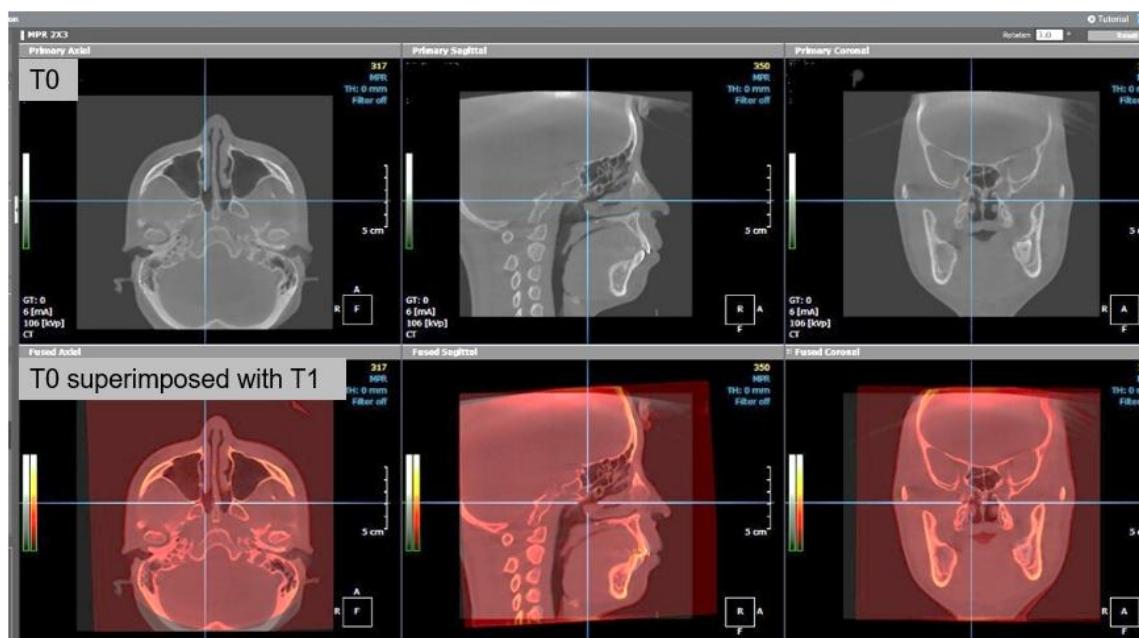


Figure 2. Voxel-based superimposition of pre- and post-treatment CBCT data on the anterior cranial base using OnDemand3D software.

본 연구에서는 디지털 모델 스캐너(DOF Freedom HD; DOF, Seoul, Korea)로 스캔한 디지털 캐스트와, 구강 내 스캐너(iTero 5D element®; Align Technology, Santa Clara, Calif)를 이용해 직접 스캔한 디지털 캐스트를 수집하였다.

나. 전치부 후방이동에 따른 연조직의 변화 범주

치료 전후의 연조직 변화는 상악 전치부의 협측 연조직을 포함하는 연속적인 CBCT 축상면 상에서 시각적으로 평가하였다. 분석을 위한 기준선은 초진(T0) 시점의 CBCT에서 양측 견치의 협측면의 가장 외측 경계를 따라 설정하였으며, 치료 후(T1) 영상에서 연조직의 협측 경계가 기준선 밖에서 초진보다 후방으로 0.5mm 이상 후퇴된 경우, 광범위한 연조직 변화(extensive soft tissue displacement)가 일어난 것으로 평가하였다. 연조직 변화 범위는 다음과 같이 세 가지 유형으로 분류하였다. 연조직 변화가 중절치와 양측 견치 사이로 한된 경우는 “제한된 연조직 변화(limited change)”, 양측 견치를 넘어 치열궁 외측 경계까지 연조직 변화가 일어난 경우는 “치열궁 외측 경계까지 확장된 연조직 변화(extended

change)”, 이보다 더 외측 측모부위까지 연조직 변화가 일어난 경우는 ‘측모부위까지 확대된 연조직 변화(wide-spread change)’로 분류하였다(Figure 3).

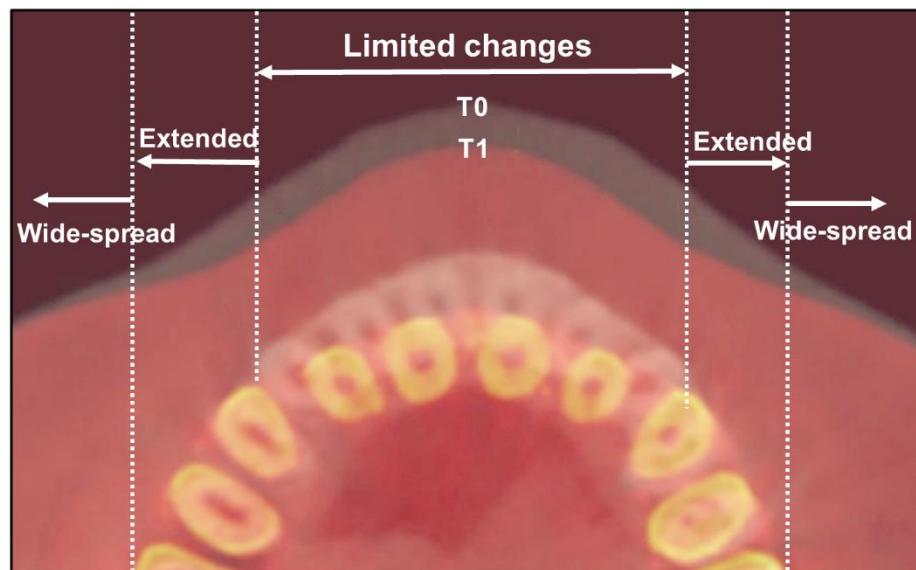


Figure 3. Classification of the range of Soft Tissue changes following anterior retraction based on CBCT superimposition

Limited change, soft tissue changes limited to within the boundaries of the canines

Extended change, soft tissue changes extended to the lateral boundaries of the dentition

Wide-spread change, changes extended beyond the lateral margins of the dentition into the lateral facial region

다. 치아이동량, 치료 전후 악궁 형태 변화 계측

초진(T1) 및 말진(T2) 디지털 캐스트에서 상악 모델을 3D Slicer 5.6.2 (<http://www.slicer.org>) 소프트웨어의 ROI registration(Region of Interest registration) 기능을 이용하여 rugae 를 기준으로 중첩하였다(Jing Liu et al., 2022). ROI registration 은 일정한

해부학적 구조를 기준으로 하여 초진 및 말진 데이터 간의 정확한 정렬을 가능하게 하며, 본 연구에서는 상악 구개부의 rugae 영역을 기준으로 초진 및 말진의 rugae 영역에 일대일 대응하도록 4 개~6 개의 ROI point 를 설정하고, value of radius 를 조절하여 중첩을 수행하였다.

XYZ 평면 상에서 치아이동량의 계측을 위해, 치료 전 모델(T0)을 치료 후 모델(T1)에 중첩 정렬한 후, 좌표계는 T1 모델을 기준으로 설정하였다. 디지털 캐스트는 상악 제 1 대구치의 중심 교두(cusp tip)와 상악 중절치의 절단연(incisal edge)을 기준으로 구개면(palatal surface)에 평행하도록 수평 정렬하였으며, 중절치 사이 접촉점(contact point)을 기준으로 정중시상면(midsagittal plane)을 설정하였다(Jang W et al., 2024). 이후 x 축은 좌우 방향(mediolateral), y 축은 전후 방향(anteroposterior)으로 정의하였고, 수평 기준면은 x 축과 y 축이 이루는 평면(horizontal plane)으로 설정하였다. z 축은 해당 평면에 수직인 상하 방향(vertical direction)으로 정의되었으며, 두 시점의 캐스트를 중첩하여 동일한 좌표계에서 좌표 차이를 비교하여 각 축 방향(x, y, z)의 치아이동량을 산출하였다.

상악 중절치, 측절치, 견치에 대해 해부학적으로 재현 가능한 기준점을 설정하였다. 중절치 및 측절치는 각각의 incisal tip, 견치(canine)는 canine tip 을 기준점으로 삼았고, 모든 기준점은 교정 전(T0)과 교정 후(T1)에서 각각 3 차원적으로 좌표를 측정하였으며 이동량은 두 시점 간의 x 축(좌우방향), y 축(전후방), z 축(상하방향) 좌표 차이(mm)를 산출하여 계산하였다(Figure 4). ICW(intercanine width) 및 IMW(intermolar width)의 폭경 변화도 3D Slicer 5.6.2 (<http://www.slicer.org>) 소프트웨어를 통해 계측하였다 (Huanca Ghislazoni et al., 2013).

모든 계측은 단일 측정자에 의해 수행되었으며, 계측의 신뢰도를 확보하기 위해 반복 계측을 시행한 후 평균값을 사용하였다.

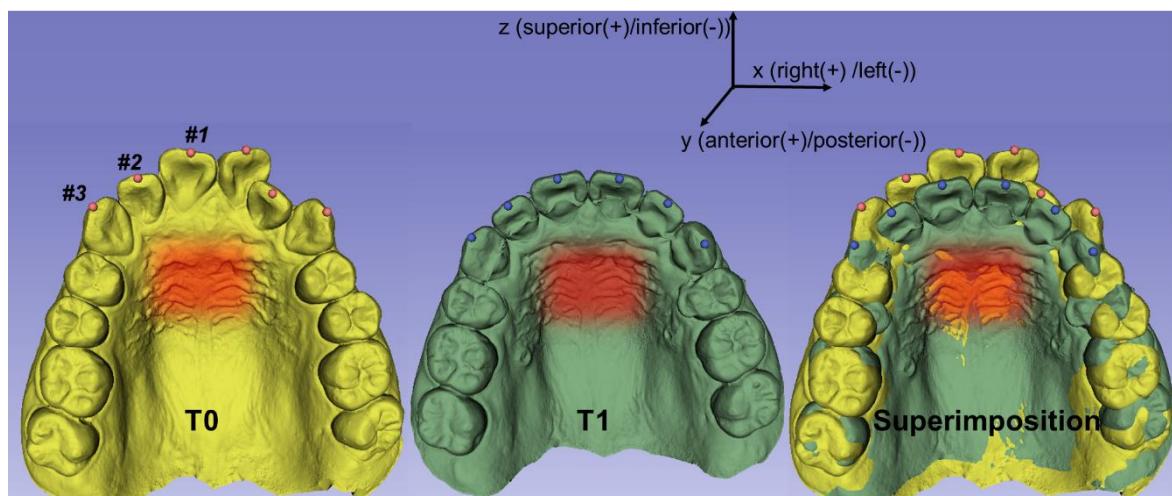


Figure 4. Rugae-based superimposition and anatomical landmark identification for 3D measurement of tooth movement.

The reference points were defined as the incisal tips of the central and lateral incisors and the cusp tips of the canines. For each point, 3D coordinates were recorded at T0 and T1, and the amount of movement was calculated as the difference in x-(mediolateral), y-(anteroposterior), and z-(vertical) axes between the two time points.

라. 연조직 변화량 계측

연조직 변화는 먼저 전후 CBCT 데이터를 OnDemand 소프트웨어에서 전두개골 기저부를 기준으로 superimposition 을 시행하여 추출한 후, 3D Slicer 5.6.2 (<http://www.slicer.org>) 소프트웨어를 이용하여 CT-Bone 으로 Volume rendering 하여

reorientation 을 수행하였다. 중첩된 3D CBCT 영상에서 수평 기준 평면(horizontal reference plane)은 양측 porion 과 좌측 orbitale 를 통과하는 Frankfort 평면(FH plane)에 평행하게 설정되었다. 연조직 변화양은 FH plane 과 평행하면서, T1 의 상악 우측 중절치(#11)의 치경부 높이(CEJ level)에 해당하는 plane 상에서 계측하였다. 본 연구는 상순 연조직 변화의 정량적 분석을 주요 목적으로 하였으며, 이를 위해 연조직 기준점의 설정이 핵심적인 요소였다. 일반적으로 측모 두부 방사선사진에서는 Ls(Labialis superior)를 상순 돌출의 대표 지점으로 활용하지만, CBCT 에서는 동일 지점을 명확히 재현하기 어렵다는 한계가 있다. 따라서 치료 종료 시점(T1)의 상악 우측 중절치(#11)의 치경부(cervical level, CEJ)를 기준점으로 설정하였다. 이 지점은 연조직의 가장 돌출된 부위인 Ls 와 해부학적으로 매우 근접한 위치에 있어, Ls 를 간접적으로 반영할 수 있는 해부학적 기준점으로 활용하였다.

해당 plane 상에서 치아 랜드마크는 각 치아의 근관 중심점으로 설정하였고, 그 점에서 순측 연조직 방향으로 투과선을 연장하였다. 투과선과 연조직 표면이 만나는 교점을 계측점으로 설정하고, 그 선형 거리를 측정하였다. 이러한 방법을 통해 각 치아의 위치에 대응하는 순측 연조직의 변화량을 정량적으로 측정하였다(Figure 5).

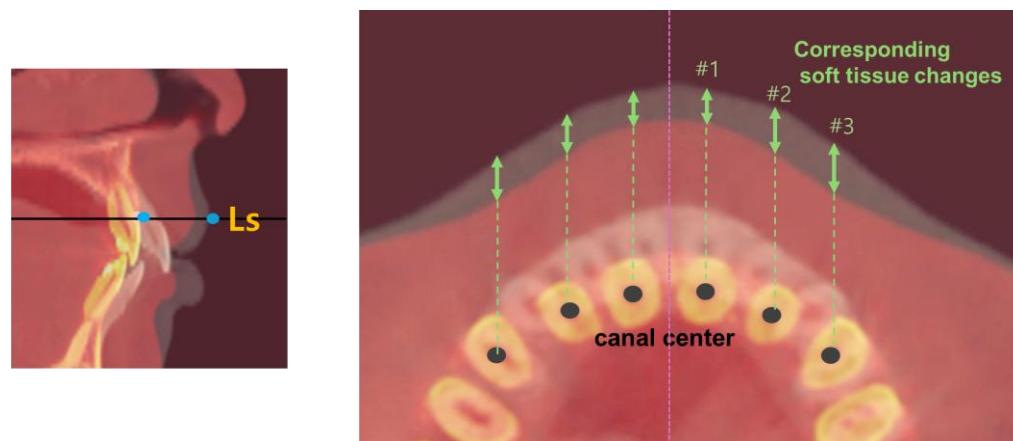


Figure 5. Linear measurements of soft tissue changes corresponding to individual tooth movement of the maxillary anterior teeth.

The amount of soft tissue retraction was measured at the level of Ls for each corresponding tooth.

치아이동 대비 연조직 이동 비율은 각 치아에서 계측된 연조직 이동량과 치아이동량을 이용하여 계산하였으며, 두 값 모두 후방 이동(음수)인 경우에 한해 산출하였다. 치아이동과 연조직 이동의 방향이 서로 다르거나, 하나라도 양수일 경우에는 생물학적 반응성으로서의 해석이 어려워 분석에서 제외하였다(총 9 개). 또한, 치아이동량 또는 연조직 이동량이 0 으로 측정된 경우 역시 비율의 해석이 불가능하거나 계측 한계에 따른 오차 가능성이 있어 포함하지 않았다. 이에 총 144 개의 치아 데이터 중 14 개가 제외되었다. 각 치아별(#13~#23)로 비율을 개별적으로 산출한 후, 좌우 동일한 치아쌍(#11~21, #12~22, #13~23)으로 묶어 평균값을 구하고, 치아군별(견치, 측절치, 중절치)로 분석에 활용하였다. 이러한 분석은 연조직 변화의 시각적 범위를 기준으로 한 앞선 분류와는 다른

관점에서 수행된 것으로, 치아이동에 대한 연조직의 정량적 반응성을 평가하기 위한 것이다.

마. 윗입술 면적 측정

윗입술의 면적 변화는 치료 전(T1), 후(T2) CBCT 데이터를 OnDemand 소프트웨어에서 분석하였다. 먼저, CBCT 영상을 OnDemand 의 3D module에서 연조직 표면을 3 차원 볼륨 렌더링 방식으로 재구성하였다. 윗입술 영역을 수동으로 윤곽선(tracing)으로 설정한 후, OnDemand 소프트웨어의 면적 측정 기능을 활용하여 해당 윤곽선 내부의 픽셀 값을 기반으로 면적을 자동 계산하였다(Figure 6).

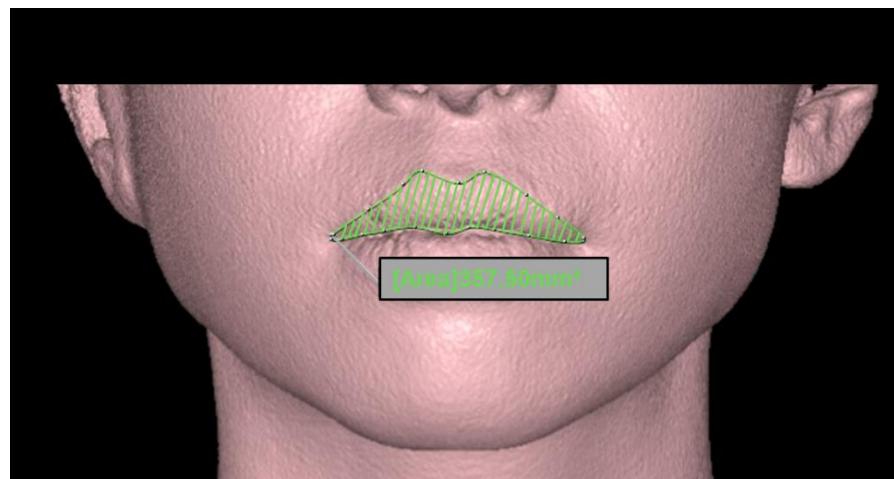


Figure 6. Measurement of the Upper lip area

Upper lip volume was measured from CBCT data contour-based calculation in OnDemand3D software

바. 통계 분석

연구 대상자 각 그룹의 경조직 및 연조직 특성을 비교하기 위해, 모든 계측 변수에 대해 정규성 검정을 실시한 후, 그 결과에 따라 독립표본 t 검정 또는 Mann-Whitney U 검정을 적용하였다. 이 중 연조직 이동량과 치아이동 대비 연조직 이동 비율(S/Y)은 값의 분포가 0에 가까운 사례나 극단값을 포함하는 등 대상자 간 변동성이 커 정규성을 충족하지 않았으며, 이에 비모수 검정을 사용하였다. 세 치아군(중절치, 측절치, 견치) 간의 치아이동량, 연조직 이동량, 연조직/치아이동 비율의 차이는 일원분산분석(ANOVA) 또는 Kruskal-Wallis 검정을 통해 평가하였으며, 사후 비교는 Bonferroni 보정이 적용된 다중 비교를 사용하였다. 치아별 치아이동량과 연조직 이동량 간의 관계는 단순 선형 회귀분석을 통해 분석하였으며, 견치의 경우 연조직/치아이동 비율과 치아이동량 간의 비선형적인 경향을 확인하기 위해 이차 회귀모형(quadratic regression)을 추가로 적용하였다. 조사자 내 신뢰도 평가를 위해 전체 연구 대상 중 무작위로 20명을 선정하였고, 동일한 평가자가 2주 간격으로 30개 항목을 재측정하였다. 각 변수별로 ICC(3,1)을 산출하여 반복 측정 간의 신뢰도를 검증하였다. 30개 변수 중 25개에서 ICC(3,1) 값이 0.90 이상으로 나타나 매우 높은 신뢰도를 보였으며, 나머지 변수들도 모두 0.75 이상으로 높은 수준의 신뢰도를 확인하였다.

통계분석은 SAS version 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA)과 SPSS Statistics 버전 21(IBM, Armonk, NY, USA)을 이용하였고 모든 검정에서 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

III. 결과

1. 전치부 후방이동을 동반한 교정치료 후의 연조직 변화

범위

교정적 후방이동에 따른 광범위한 연조직 변화는 총 48 명 중 38 명(79.2%)에서 확인되었으며, 후방이동군과 발치군 각각 16 명(67.7%)과 22 명(91.7%)이었다. 연조직 변화가 견치보다 근심으로 국한된 경우는 총 48 명 중 10 명(20.8%)으로, 후방이동군 8 명(33.3%), 발치군 2 명(8.3%)이었다. 치열궁 외측 경계까지 확장된 경우는 총 18 명(37.5%)으로, 후방이동군 7 명(29.2%), 발치군 11 명(45.8%)이었다. 치열궁 외측을 넘어 측모 부위까지 확대된 경우는 총 20 명(41.7%)으로, 후방이동군 9 명(37.5%), 발치군 11 명(45.8%)이었다.



Figure 7. Representative cases illustrating different patterns of labial soft tissue retraction in axial CBCT view

2. 교정치료에 따른 전치부 개별 치아 이동양과 연조직 변화

비율

상악 견치, 측절치, 중절치 부위 간의 치아이동량, 연조직 이동량, 그리고 연조직/치아이동 비율의 차이를 비교분석하였다. 중절치의 치아이동량은 3.97 ± 2.01 mm로 가장 컸으며, 견치(3.17 ± 2.03 mm)와 측절치(2.81 ± 1.99 mm)는 유사한 수준이었다. 연조직 후방 이동량은 세 치아군 모두 유사한 수준을 보였으며, 중절치에서 1.2 mm (0.1 ~ 5.1 mm), 측절치에서 1.5 mm (0.1 ~ 5.2 mm), 견치에서 1.7 mm (0.0 ~ 4.6mm)의 중앙값을 보였다. 연조직/치아이동 비율은 측절치(0.6) > 견치(0.5) > 중절치(0.3) 순이었다(Table 2).

Table 2. Summary of Tooth Movement, Labial Soft Tissue Displacement, and Movement Ratios in canine, lateral incisors, central incisors

	Central Incisor (N=96)		Lateral Incisor (N=96)		Canine (N=96)		p-value	post-hoc analysis (Bonferroni method)
	Mean	SD	mean	SD	mean	SD		
Tooth Movement (mean \pm SD)	3.97a	2.01	2.81b	1.99	3.17b	2.03	< .001	a>b
Soft Tissue Movement (Median, Min–Max)	1.2 (0.1 – 5.1)		1.5 (0.1 – 5.2)		1.7 (0.0 – 4.6)		0.075	NS (all)
Ratio (S/Y, Median, Min–Max)	0.3 (0.0 – 2.9)	b	0.6 (0.1 – 3.1)	a	0.5 (0.0 – 6.1)	a	< .001	a>b

3. 치료 방법에 따른 전치부 개별 치아 이동량과 연조직

변화 비율, 폭경 변화 비교

전체 치아를 대상으로 분석한 결과에서 치아별 이동량과 연조직 반응의 차이가 관찰되었으나, 치료 방법에 따라 폭경의 변화, 치아이동의 양 등에 차이가 존재할 수 있기 때문에, 치료 방법을 기준으로 군을 나누어 비교 분석하였다.

후방이동군에서의 상악 전치부의 후방 이동량과 연조직 변화양은 중절치에서 2.69 ± 1.24 mm 와 0.99 ± 0.94 mm, 측절치에서 1.89 ± 1.32 mm 와 1.07 ± 0.96 mm, 견치에서 1.77 ± 0.94 mm 와 1.25 ± 0.97 mm 였으며, 치아이동양에 비해 연조직 변화양은 상대적으로 작았다. 치아이동량 대비 연조직 변화 비율은 중절치 0.3 (0.0–1.7), 측절치 0.6 (0.1–1.5), 견치 0.8 (0.2–3.9)로 견치의 연조직 변화 비율이 중절치와 측절치 비율보다 유의하게 높았다($p < 0.001$).

발치군에서는 상악 전치부의 후방 이동량과 연조직 변화양은 중절치에서 5.26 ± 1.67 mm 와 2.14 ± 1.27 mm, 측절치에서 3.72 ± 1.77 mm 와 2.29 ± 1.08 mm, 견치에서 4.58 ± 1.43 mm 와 2.37 ± 1.26 mm 였다. 치아이동량 대비 연조직 변화 비율은 중절치 $0.4 (0.1-0.9)$, 측절치 $0.6 (0.3-1.8)$, 견치 $0.5 (0.1-1.2)$ 로 나타났다.(Table 3).

발치군의 경우, 후방이동군보다는 유의하게 더 큰 경조직, 연조직 이동이 관찰되었지만($p < 0.001$), 견치 부위에서의 치아이동량 대비 연조직 이동의 비율은 후방이동군이 발치군에 비해 유의하게 높았다($p=0.045$)(Table 3).

Table 3. Summary of Tooth Movement, Labial Soft Tissue Displacement, and Movement Ratios in Distalization and Extraction Groups

	Tooth movement				Soft tissue movement				soft tissue to tooth movement ratio				
	Distalization		Extraction		p value	Distalization		Extraction		p value	Distalization	Extraction	p value
	mean	SD	mean	SD		mean	SD	mean	SD		Median(Min-Max)		
Central incisor	2.69	1.24	5.26	1.67	<0.001*	0.99	0.94	2.14	1.27	0.001*	0.3(0.0-1.7)	0.4(0.1-0.9)	0.694
Lateral incisor	1.89	1.32	3.72	1.77	<0.001*	1.07	0.96	2.37	1.26	<0.001*	0.6(0.1-1.5)	0.6(0.3-1.8)	0.523
Canine	1.77	0.94	4.58	1.43	<0.001*	1.25	0.97	2.29	1.08	<0.001*	0.8(0.2-3.9)	0.5(0.1-1.2)	0.045*

치료 전후로 견치간 폭경은 발치 여부와 관계없이 모두 증가하였으며, 두 군 간 차이는 유의하지 않았다($p = 0.121$). 반면, 구치간 폭경은 후방이동군에서 증가한 반면 발치군에서는 감소하여 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). (Table 4).

Table 4. Changes in Arch Width and Upper Lip Area After Treatment in Distalization and Extraction Groups

	Distalization		Extraction		P-value
	mean	SD	mean	SD	
ICW (T2-T1)(mm)	1.22	1.49	2.17	2.55	0.121
IMW (T2-T1)(mm)	1.33	1.08	-0.76	1.58	<0.001*
Ulip (T2-T1)(mm ²)	-28.69	31.1	-47.23	33.47	0.053

4. 치아이동량에 따른 연조직 후방 이동 및 반응 효율의 치아별 특성

발치군의 경우 후방이동군보다 유의하게 더 큰 경조직 및 연조직 이동이 관찰되었고($p < 0.001$), 견치 부위에서는 치아이동량 대비 연조직 이동의 비율이 오히려 후방이동군에서 유의하게 더 높았다($p = 0.045$). 중절치나 측절치와는 달리, 견치 부위에서는 치아이동량 등의 요인에 의해 연조직 반응의 비율이 달라질 수 있을 것이다. 이에 따라, 단순히 치료 방법에 따른 차이를 보는 것을 넘어서, 실제 치아이동량 자체가 연조직 반응에 어떤 영향을 주는지를 확인하고자 하였다. 이를 위해 발치 여부와 무관하게 상악 전치부 각 치아의 y축 방향 후방이동량과 연조직 후방이동량 간의 관계를 분석하였으며, 특히 견치에서는 연조직/치아이동 비율과 치아이동량 간의 비선형 관계를 추가로 평가하였다(Figure 8a–8d).

Figure 8. Relationship between tooth movement and soft tissue movement in each maxillary anterior tooth.

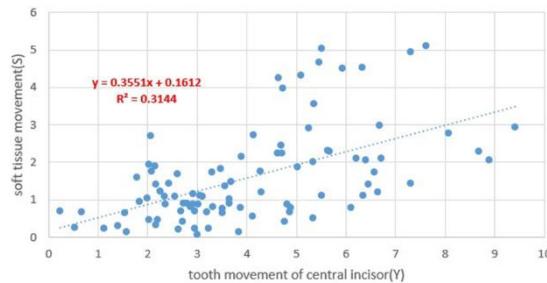


Figure 8a. Relationship between tooth movement and soft tissue movement in central incisor

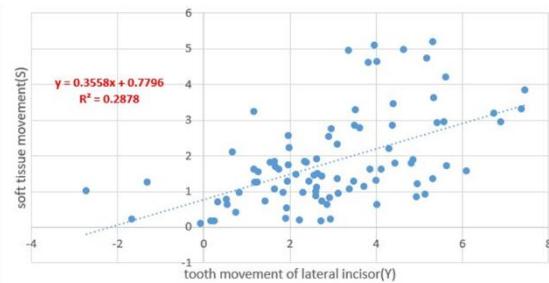


Figure 8b. Relationship between tooth movement and soft tissue movement in lateral incisor

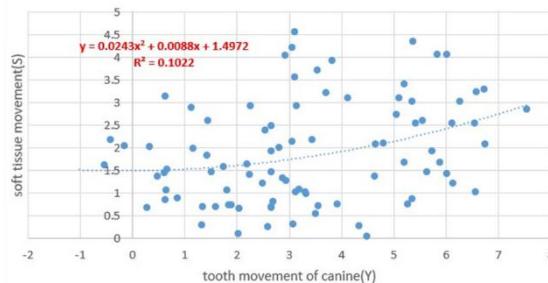


Figure 8c. Relationship between tooth movement and soft tissue movement in canine

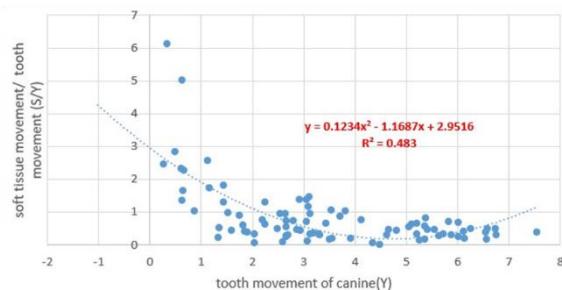


Figure 8d. Relationship between tooth movement and soft tissue movement/tooth movement ratio in canine

분석 결과, 중절치(Figure 8a)와 측절치(Figure 8b)는 치아이동량 증가에 따라 연조직 이동량도 비교적 안정적으로 증가하는 선형 관계를 보였으며, 1mm의 치아이동에 대해 약 0.36mm의 연조직 후방이동이 동반되는 경향이 확인되었다. 특히 중절치는 데이터 분산이 가장 작아 예측 가능성이 높았다. 반면, 견치는 치아이동량과 연조직 이동량 사이에 뚜렷한 경향성이 관찰되지 않았고, 동일한 치아이동량에서도 연조직 반응이 0mm에서 4mm까지 다양하게 후방 이동하여 예측이 어려웠다(Figure 8c). 그러나 견치의 연조직/치아이동 비율에 대한 분석에서는 치아이동량이 후방으로 3mm를 초과하는 시점부터 비율이 감소하며

plateau 에 도달하는 패턴이 확인되었고, 그 이하의 구간에서는 높은 민감도로 연조직이 반응하였다(Figure 8d).

5. 견치부위의 전후방 치아이동량에 따른 치아이동량 대비 연조직 이동량 비율 비교

치아이동량에 따른 연조직 반응 효율 분석에서 견치의 연조직/치아이동 비율은 치아이동량이 후방으로 3mm 미만 이동하는 구간에는 높은 민감도로 연조직이 반응하다가, 후방이동량이 3mm 를 초과하는 시점부터 비율이 감소하며 plateau 에 도달하는 패턴이 확인되었다. 이에 발치 여부와는 상관없이 상악 견치의 (#13, 23)의 치아이동량을 3mm 기준으로 재분류하여 재검토를 시행하였다. 견치 이동양이 적은 그룹($\leq 3\text{mm}$)에서 이동양이 많은 그룹 대비, 연조직 변화 비율이 유의하게 더 높은 것을 확인하였다(non-parametric method: 0.70 vs. 0.40, $p<0.001$)(Table 5).

Table 5. Comparison of soft tissue-to-tooth movement ratio in the canine region according to the amount of tooth movement

Group	N	soft tissue-to tooth movement ratio		p-value
		Median	Min-Max	
tooth movement				
$\leq 3\text{mm}$	47	0.7(0.0-6.1)		$<.001^*$
tooth movement				
$> 3\text{mm}$	49	0.4(0.0-1.5)		
total	96	0.5(0.0-6.1)		

6. 견치부위 수평방향, 상하방향 치아이동량에 따른 연조직

이동량 비교

상악 견치(#13, 23)의 경우 중절치와는 달리 교정 치료에 따른 수평(x 축) 이동이 동반되어, 견치간 폭경이 평균 1.70 ± 2.12 mm 만큼 증가하였으며 (후방이동군: 1.22 ± 1.49 mm, 발치군: 2.17 ± 2.55 mm, $p = 0.121$), 발치 여부에 따라 견치 이동 양상이나 악궁의 형태 또한 달라질 수 있다. 이에 견치의 측방이동양에 따른 연조직의 변화여부를 확인하였다.

상악 견치(#13, #23)의 수평(x 축) 이동 방향에 따라 연조직 후방 이동량을 비교한 결과, 협측(buccal)으로 이동한 경우 평균 1.81 ± 1.22 mm, 구개측(palatal)으로 이동한 경우 평균 1.63 ± 1.03 mm 의 연조직 이동이 나타났으며, 양 그룹 간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p = 0.540$)(Table 6).

Table 6. Comparison of soft tissue retraction according to the horizontal direction movement of the maxillary canine.

Group	N	soft tissue movement(mm)		p-value
		Mean	SD	
Buccal movement	77	1.81	1.22	0.540
Palatal movement	19	1.63	1.03	
total	96	1.77	1.18	

상악 견치(#13, 23)의 수직 방향 이동이 연조직 후방 이동에 미치는 영향을 분석한 결과, 상방(superior)으로 이동한 그룹($n=50$)에서는 평균 1.92 ± 1.23 mm 의 연조직 후방 이동이 관찰되었고, 하방(inferior)으로 이동한 그룹($n=46$)에서는 1.61 ± 1.12 mm 의 이동이 확인되었다. 상방 이동 시 다소 큰 연조직 반응이 관찰되었으나, 두 그룹 간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p = 0.203$)(Table 7).

Table 7. Comparison of soft tissue retraction according to the Vertical direction movement of the maxillary canine.

Group	N	soft tissue movement(mm)		p-value
		Mean	SD	
superior movement ($\Delta z < 0$)	50	1.92	1.23	0.203
inferior movement ($\Delta z < 0$)	46	1.61	1.12	
total	96	1.77	1.18	

IV. 고찰

본 연구는 상악 전치 및 견치의 개별 치아의 이동과 해당하는 상순 연조직의 반응을 분석하고, 발치 여부에 따른 악궁 폭경 변화 등의 치료 요소의 영향을 파악하고자 하였다. 교정치료 후 연조직 변화는 중절치 부위에만 국한되지 않고, 측절치와 견치를 넘어 구각 주변까지 광범위하게 확장되었다. 견치 부위에 대응하는 연조직은 전치에 대응하는 상순과는 다른 비선형적 반응이 확인되었다.

광범위한 연조직의 변화는 치아 이동에 수동적으로 따라오는 단순한 변위라기보다는, 입술과 볼 주변의 연조직이 해부학적으로 연속된 구조를 이루고 있어 하나의 복합적인 단위로 반응하기 때문에 발생한 것으로 해석된다(Kim HJ et al, 2020). 전치부 아치의 전체적인 후방 이동 시, 입 주위에서 시작된 변형이 주변부 연조직으로 확산되며 구각이나 비순구 주변까지 영향을 준 것으로 보인다. 하지만 치아이동만이 변수는 아니며, 6 명에서는 구각부를 넘어 볼부위까지 연장된 반응이 뚜렷하게 보이며 체중감소가 관찰되어 연구의 혼입요인으로 추정되었다.

치료 방법에 따라 살펴보면, 발치군은 후방이동군에 비해 경조직 및 연조직 이동이 모두 유의하게 컸으며, 이는 발치 치료가 선택된 환자군이 더 큰 공간 확보와 더 많은 치아이동이 필요한 경우였기 때문으로 해석된다(Janson G et al, 2007).

그러나 치아이동량 대비 연조직 이동 비율은 견치 부위에서만 후방이동군이 더 높은 값을 보였고, 3mm 이상의 이동에서는 오히려 이 비율이 감소하며 plateau 양상이 확인되었다. 이러한 현상은 견치의 해부학적 위치와 기능적 역할에서 기인할 수 있다. 견치는 전치와 구치의 전환점에 위치해 구강 주변 연조직의 구조적 연결부 및 지지 역할을 하며(Sorel O. et al,2010), 협측 연조직과의 접촉 면적이 넓고, 주변 연조직의 두께 및 고유 탄성도 상대적으로 크다(Kim HG et al, 2020). 이로 인해 초기 이동 구간에서는 치아가 후방으로 이동하지만, 일정 임계점을 넘어서면 치아가 치열궁의 측방 곡선을 따라 움직이게 되며, 이 시점부터는 주변 골의 remodeling 이 활발히 일어나지 않아 연조직 반응이 정체되거나 제한되는 반응을 보였을 가능성이 있다(Gandini Júnior LG et al, 2023). 치아별로 보면, 중절치와 측절치는 치아이동량 증가에 따라 해당 부위의 상순 연조직도 0.36 의 비율로 선형적으로 후방이동하는 비교적 예측 가능한 패턴을 보였다. 반면 견치는 동일한 치아이동량에서도 견치부위 연조직 반응의 편차가 크고 일관성이 낮아 예측이 어려웠다. 견치가 구각, 비순구, 협부 등 해부학적으로 다양한 연조직 구조와 접하는 위치에 자리하고 있기 때문이며(Kim HG et al, 2020), 더불어, 표정 습관, 근육의 긴장도, 연조직의 두께나 탄성 등 개인차가 복합적으로 작용하며 견치 부위 연조직의 반응 양상을 결정짓는 데 영향을 주었을 것으로 생각된다(Hodgkinson D et al, 2022).

한편, 견치의 수평(x 축) 및 수직(z 축) 이동이 측방 부위 연조직 후방 이동에 미치는 영향은 제한적이었다. 수평 또는 상하 방향의 이동에 따라 연조직 후방 이동량의 소폭 차이는 있었으나 통계적으로 유의하지 않았다. 측방 연조직의 후방

반응이 주로 전후방(y 축) 방향의 치아이동에 의해 결정되었던 것이다. 즉, 악궁의 폭경 변화나 견치의 수직적 치아 이동보다는 전후방 방향의 견치 이동이 측방 연조직의 전후방 반응을 결정하는 주요 변수일 수 있다.

본 연구에서는 연조직 반응을 연조직/치아이동 비율이라는 수치로 정량화하였지만, 견치 부위처럼 비선형적이며 반응 편차가 큰 영역에서는 단일 지표만으로 반응 양상을 완전히 설명하기 어렵다. 또한, 상순의 연조직에는 상악 전치부의 치아이동 뿐 아니라, 하악 전치의 위치 변화로 인한 입술부전의 개선, 근육긴장의 완화 등도 영향을 줄 수 있다. 연구대상은 18 세 이상 30 세 미만의 젊은 성인 여성으로 제한되어 나이와 성별에 따른 영향은 최소화되었으나, 초기 연조직의 두께, 탄성 등 개개인의 해부학적 구조나 생리적 특성은 반영되기 어려웠다. 특히 견치부위의 연조직은 해부학적으로 표정근육, 연조직의 두께 등에 의해 더 민감하게 반응할 수 있는 부위이므로 향후 연구에서는 치아별 이동 방향, 개별 해부학적 특성, 생리적 요인 등을 통합한 다변량 예측 모델이 필요할 것이다.

한계점으로는 본 연구가 후향적 분석이라는 점과 함께, 후방이동군 내에서 충분한 치아이동을 보인 사례의 수가 상대적으로 적어 일부 해석에 제한이 있을 수 있다는 점이 있다. 그럼에도 불구하고, 본 연구는 중절치의 치아이동량에 국한되어 해석한 기존 연구의 틀에서 벗어나 상악 전치부 전체를 치아 단위로 분리하여 상응하는 상순 연조직 반응을 정량화하여 보여주었다는 점에서 의의가 있다.

V. 결론

본 연구에서는 상악 전치부 후방이동을 동반한 교정치료 후, 연조직 변화가 중절치에만 국한되지 않고 측절치와 견치를 넘어 구각 주변까지 연속적으로 확산되는 광범위한 입술 연조직 반응이 확인되었다. 전치부 전체를 개별 치아 단위로 분리하고, 각 치아의 이동량과 연조직 반응을 정량적으로 대응시켜 분석한 결과, 중절치와 측절치는 치아이동량 증가에 따라 연조직이 선형적으로 반응하는 예측 가능한 패턴을 보인 반면, 견치는 동일한 이동량에서도 연조직 반응의 편차가 크고, 특히 3mm 이상의 이동량을 보인 경우에는 연조직 반응이 둔화되거나 정체되는 비선형적 plateau 양상이 관찰되었다.

이는 견치가 치열궁의 곡률이 변화하는 arch corner에 위치해 일정 수준 이상의 후방이동 시 이동 방향이 전환되고, 동시에 구각·비순구·협부 등과 접하는 복잡한 연조직 구조와 표정근육, 연조직 두께 및 탄성, 근육 긴장도 등 개인차 요인이 복합적으로 작용하는 민감한 해부학적 위치에 놓여 있기 때문으로 해석된다. 즉, 견치는 큰 이동량에도 불구하고 연조직이 그에 비례해 따라오지 않는 경향이 있으며, 이는 임상적으로 연조직 반응 예측의 불확실성을 높이는 요인이 될 수 있다.

본 연구는 상악 전치부 치아 단위로 나누어 상응하는 연조직 반응을 분석하고, 치



아별 이동에 따른 반응 양상의 차이와 견치 부위에서 나타나는 비선형적 특성을 정량적으로 제시하였다. 이는 전치부 후방이동 시 연조직 반응의 확산 범위와 치아별 예측 가능성, 특히 견치부의 반응 제한성에 대한 이해를 구체화하였으며, 향후 연조직 반응 예측 모델의 기초자료로 활용될 수 있다.

참고문헌

- Proffit WR, Fields Jr HW, Sarver DM. *Contemporary orthodontics*: Elsevier Health Sciences; 2014.
- Burstone CJ. The integumental profile. *American Journal of Orthodontics* 1958;44:1–25.
- Ricketts RM. Cephalometric analysis and synthesis. *The Angle Orthodontist* 1961;31:141–56.
- Merrifield LL. The profile line as an aid in critically evaluating facial esthetics. *American journal of orthodontics* 1966;52:804–22.
- Ricketts RM. Esthetics, environment, and the law of lip relation. *American journal of orthodontics* 1968;54:272–89.
- Ricketts RM. Perspectives in the clinical application of cephalometrics: the first fifty years. *The Angle orthodontist* 1981;51:115–50.
- Holdaway RA. A soft-tissue cephalometric analysis and its use in orthodontic treatment planning. Part I. *American journal of orthodontics* 1983;84:1–28.
- Bowker WD, Meredith HV. A Metric Analysis Of The Facial Profile. *The Angle Orthodontist* 1959;29:149–60.
- McNamara JA. A method of cephalometric evaluation. *American journal of orthodontics* 1984;86:449–69.
- Arnett GW, Jelic JS, Kim J, Cummings DR, Beress A, Worley CM, et al. Soft tissue cephalometric analysis: diagnosis and treatment planning of dentofacial deformity. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 1999;116:239–53.
- Broadbent BH. A new x-ray technique and its application to orthodontia. *The Angle Orthodontist* 1931;1:45–66.
- Bechtold TE, Park Y-C, Kim K-H, Jung H, Kang J-Y, Choi YJ (2020). Long-term stability of miniscrew anchored maxillary molar distalization in Class II treatment. *The Angle Orthodontist* 90(3): 362–368.

Baek ES, Hwang S, Choi YJ, Roh MR, Nguyen T, Kim K-H, et al. (2018). Quantitative and perceived visual changes of the nasolabial fold following orthodontic retraction of lip protrusion. *The Angle Orthodontist* 88(4): 465–473.

Garib D, Miranda F, Yatabe MS, Lauris JRP, Massaro C, McNamara Jr JA, et al. (2019). Superimposition of maxillary digital models using the palatal rugae: does ageing affect the reliability? *Orthodontics & craniofacial research* 22(3): 183–193.

Liu J, Koh K-M, Choi S-H, Kim J-H, Cha J-Y (2022). Validation of three-dimensional digital model superimpositions based on palatal structures in patients with maximum anterior tooth retraction following premolar extraction. *Korean Journal of Orthodontics* 52(4): 258–267.

Jang W, Choi YJ, Cha JY, Kang YG, Kim E, Kim KH. Three-dimensional evaluation of dentopalatal changes after rapid maxillary expansion in growing children. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2024 Jan;165(1):103–113.

Song B-J, Lee K-J, Cha J-Y, Lee J-S, Mo S-S, Yu H-S (2022). Stability of the maxillary and mandibular total arch distalization using temporary anchorage devices (TADs) in adults. *Applied Sciences* 12(6): 2898.

Ackerman JL, Proffit WR, Sarver DM. The emerging soft tissue paradigm in orthodontic diagnosis and treatment planning. *Clin Orthod Res* 1999;2:49–52.

Janson G, Fuziy A, de Freitas MR, Castanha Henriques JF, de Almeida RR. Soft-tissue treatment changes in Class II Division 1 malocclusion with and without extraction of maxillary premolars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132:729.e721–728.

Bravo LA. Soft tissue facial profile changes after orthodontic treatment with four premolars extracted. *Angle Orthod* 1994;64:31–42.

Leonardi R, Annunziata A, Licciardello V, Barbato E. Soft Tissue Changes Following the Extraction of Premolars in Nongrowing Patients With Bimaxillary Protrusion. *The Angle Orthodontist* 2010;80:211–216.

Kim K, Choi S-H, Choi E-H, Choi Y-J, Hwang C-J, Cha J-Y. Unpredictability of soft tissue changes after camouflage treatment of Class II division 1 malocclusion with maximum anterior retraction using miniscrews. *Angle Orthod* 2017;87:230–238.

Ahn HW, Chang YJ, Kim KA, Joo SH, Park YG, Park KH. Measurement of three-dimensional perioral soft tissue changes in dentoalveolar protrusion patients after orthodontic treatment using a structured light scanner. *Angle Orthod* 2014;84:795–802.

Solem RC, Marasco R, Guitierrez-Pulido L, Nielsen I, Kim SH, Nelson G. Three-dimensional soft-tissue and hard-tissue changes in the treatment of bimaxillary protrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144:218–228.

Kim SH, Hwang S, Hong YJ, Kim JJ, Kim KH, Chung CJ. Visual attention during the evaluation of facial attractiveness is influenced by facial angles and smile. *Angle Orthod*. 2018 May;88(3):329–337.

Park YS, Choi JH, Kim Y, Choi SH, Lee JH, Kim KH, Chung CJ. Deep learning-based prediction of the 3D postorthodontic facial changes. *J Dent Res*. 2022;101(11):1372–1379.

Nam JH, Choi Y, Lee KJ, Lee JH, Kim KH, Chung CJ. Differences in the 3-dimensional aging changes of the lips among female adults with skeletal Class I, II, and III malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2023 Oct;164(4):516–529.

Huanca Ghislanzoni LT, Lineberger M, Cevidan LH, Mapelli A, Sforza C, McNamara JA (2013). Evaluation of tip and torque on virtual study models: a validation study. *Progress in Orthodontics* 14: 1–6.

Almurtadha RH, Alhammadi MS, Fayed MMS, Abou-El-Ezz A, Halboub E. Changes in Soft Tissue Profile After Orthodontic Treatment With and Without Extraction: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Evid Based Dent Pract*. 2018 Sep;18(3):193–202

Arnett GW, Jelic JS, Kim J, Cummings DR, Beress A, Worley CM, et al. Soft tissue cephalometric analysis: diagnosis and treatment planning of dentofacial deformity. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 1999;116:239–53.

Broadbent BH. A new x-ray technique and its application to orthodontia. *The Angle Orthodontist* 1931;1:45–66.

Park JH, Tai K, Ikoma M, Baik HS. Comparison of soft tissue changes between incisor tipping and translation after premolar extraction and maximum anterior retraction. *Korean J Orthod*. 2022;52(1):47–57.

Ryu HS, Kwon JS, Lee KH, Park YC, Choi YJ., et al. Prediction of lip response to four first premolar extractions in white female adults and adolescents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136(4):489–496.

Kim HJ et al., Ultrasonographic Anatomy of the Face and Neck for Minimally Invasive Procedures, Springer, 2020

Sorel O., Glez D., The periodontal environment of canine teeth. *Journal of Dentofacial Anomalies and Orthodontics*, 2010;13, 157–174.

Gandini Júnior LG, Schneider PP, Kim KB, Monini ADC, Jacob HB. Evaluation of maxillary canine and molar movement during the first phase of extraction space closure: a multilevel analysis. *Dental Press J Orthod.* 2023 Sep 15

Hodgkinson D, Prasad S, Antoun JS, Mei L, Farella M. Biomechanical properties of the lips in a pre-orthodontic sample of adolescents and young adults. *Eur J Orthod.* 2022 Mar 30;44(2):232–239.

ABSTRACT

Changes Of Upper Lip Associated With Individual Movement of Maxillary Incisors and Canines

ShinYoung Cho

Department of Dentistry

Graduate School of Yonsei University

(Directed by Prof. Chooryung J. Chung, D.D.S., M.S.D., Ph. D.)

Orthodontic treatment aims to achieve functional occlusion as well as to improve facial esthetics. To achieve these goals, it is essential to predict and understand the changes in tooth position and the the surrounding soft tissue. Recent advancements in 3-dimensional(3D) digital imaging had expanded the knowledge of changes in the facial soft tissue in response to orthodontic treatment.

The perioral soft tissue, especially the upper lip is supported by the entire maxillary anterior dentition, including the central and lateral incisors as well as canines. However, in general, the soft tissue responses to tooth movement is mainly focused and limited to the movement of the central incisors.

The objective of this study was to evaluate the influence of individual maxillary anterior tooth movement on 3D changes in the upper lip and perioral soft tissues following comprehensive orthodontic treatment.

A total of 48 young adult females (aged ≤ 30 years) who completed orthodontic treatment at Gangnam Severance Hospital, Yonsei University, with full sets of pre-and post-treatment diagnostic materials including CBCT, radiographs and digital cast were analyzed. The subjects classified into total arch distalization($N=24$) or premolar extraction($N=24$) groups based on treatment modalities. The amount of individual tooth movement of the central, lateral incisors, and canine were measured at the maxillary lip level and the changes in upper lip corresponding landmarks were compared for soft tissue to individual tooth movement ratio.

Group comparisons and regression analyses were performed, and the following results were obtained

1. Soft tissue changes following orthodontic treatment were extended laterally beyond the commissures among 38 (38/48, 79.2%) of the subjects.
2. Central incisors showed the greatest amount of retraction (3.97 ± 2.01 mm), followed by canines (3.17 ± 2.03 mm) and lateral incisors (2.81 ± 1.99 mm). The amount of soft tissue retraction was similar regardless of tooth types. The soft tissue to tooth movement(soft/tooth) ratio was

highest for the lateral incisor (0.6), followed by canine (0.5) and central incisor (0.3).

3. In the distalization group, soft tissue/tooth movement ratios for the central, lateral, and canine were 0.3, 0.6, and 0.8, respectively, while in the extraction group, it was 0.4, 0.6, and 0.5, respectively. The soft/tooth ratio of the canine in the distalization group was significantly higher than that of the extraction group ($p < 0.05$).

4. A linear correlation of soft tissue changes (0.36mm of soft tissue retraction per 1mm of tooth retraction) were noted among central and lateral incisor, with central incisor showing less variability and higher predictability. In contrast, the canine was highly variable with a nonlinear response. The soft tissue response reached a plateau for canine retraction exceeding 3mm.

5. Subjects with canine retraction below 3mm (0.7) demonstrated significantly higher soft/tooth ratio than subjects with canine retraction over 3mm (0.40) ($p < 0.001$).

6. The extraction group indicated greater amount of soft tissue retraction and upper lip area reduction than the distalization group ($p?$). The distalization group showed an increase in both intercanine and intermolar widths, while the extraction group exhibited increased in intercanine width but a decreased in intermolar width ($p < 0.001$).

7. Overall, soft tissue was retracted regardless of the amount of horizontal (x-axis) or vertical (z-axis) movements of the canine.

The posterior displacement of the upper anterior soft tissue varied quantitatively according to the amount of tooth movement and the specific tooth involved. Central and lateral incisors showed a linear soft tissue response with high predictability, whereas canines exhibited the highest soft tissue-to-tooth movement ratio when the movement was ≤ 3 mm, which decreased beyond that point. The direction of tooth movement and changes in arch width did not significantly affect soft tissue displacement, and the predictability of soft tissue response differed depending on the characteristics of each tooth.

Key words: Maxillary anterior region, Three-dimensional analysis, Soft tissue response, Perioral soft tissue, Maxillary canine