

Clear Aligner Treatment of a Skeletal Class II Malocclusion after Anterior Segmental Osteotomy

Byeong Gu Bae,¹ Hwa Sung Chae²

¹Resident, Department of Orthodontics, Institute of Oral Health Science, Ajou University School of Medicine, Suwon, Korea

²Clinical Professor, Department of Orthodontics, Institute of Oral Health Science, Ajou University School of Medicine, Suwon, Korea

전방분절골절단술을 선행한 골격성 II급 부정교합 환자의 투명교정치료

배병구,¹ 채화성²

¹전공의, 아주대학교 치과대학 치과교정과학교실

²진료교수, 아주대학교 치과대학 치과교정과학교실

ABSTRACT

In adult patients with skeletal class II malocclusion with severe skeletal discrepancy, surgical orthodontic treatment can provide functional and aesthetic results. Depending on the patient's preference and the mandibular condyle, 2-jaw surgery, 1-jaw surgery, or anterior segmental osteotomy may be an option. This 25-year-old female patient presented with a protrusion of the lips, excessive overjet with no missing teeth and retrusive mandible. She had no complaints of noise or pain of the TMJ, but radiographs showed flattening of the mandibular condyle. The patient was diagnosed with skeletal class II malocclusion, and orthodontic treatment with surgery was decided, with anterior segmental osteotomy based on consideration of the mandibular condyle and patient choice. Considering the patient's preference and the class I relationship of the molars at the initial records, she was treated with clear aligner treatment. After 12 months of treatment, functional occlusion was achieved, and the patient's complaints of retrusive chin and lip protrusion were improved. During the 13-month maintenance period, stable treatment results confirmed that clear aligner treatment with anterior segmental osteotomy can be an appropriate treatment option in adult patients with severe skeletal class II malocclusion. (Clin J Korean Assoc Orthod 2025;15(1):40-51)

Key words Clear aligner, Direct Printed Aligner, Anterior segmental osteotomy, Class II malocclusion



Dr. Byeong Gu Bae

Dr. Hwa Sung Chae

Corresponding author: Hwa Sung Chae

Department of Orthodontics, Institute of Oral Health Science, Ajou University School of Medicine, 206 Worldcup-ro, Yeongtong-gu, Suwon 16499, Korea

Tel: +82-31-210-7456 E-mail: hwasungchae@ajou.ac.kr

Received: October 4, 2024 / Revised: December 13, 2024 / Accepted: December 13, 2024

Copyright © Korean Association of Orthodontists

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cite.

서론

성인의 골격성 II급 부정교합은 그 정도에 따라 악교정 수술 혹은 절충 치료를 통해 치료할 수 있다. 선학의 연구와 치료 가이드라인에 따르면 치아의 이동 범위 한계가 제시되어 있고 이를 기준으로 치료계획을 수립할 수 있다.¹ 환자에 따라 골격성 고정원의 발달로 수술을 동반하지 않는 치료가 가능한 반면, 골격적 부조화가 심할 경우에는 악교정 수술이 추천된다. 수술을 동반한 교정치료에 있어 환자의 선호 및 골격적 부조화의 정도에 따라 양악 수술 또는 편악수술을 선택할 수 있고, 전방분절골절단술이 적응증이 될 수도 있다.² 수술을 통해 개선된 악골의 범위 내에서 구치부 교합의 안정화 및 기능적, 심미적인 개선을 만들어내는 것을 목표로 치료계획을 수립한다.

성인 환자의 주소가 입술의 돌출감인 경우, 하악골의 열성장, 상악골의 과성장, 양악의 과성장, 비골의 크기와 연조직 양태, 입술 및 이부의 연조직 특성을 고려한 치료계획의 수립이 필요하다. 치성 문제가 없는 이부의 열성장에 의한 무턱의 경우에는 교정치료를 동반하지 않는 이부성형술이 추천될 수 있다. 그러나 많은 환자에서 치성 문제를 동반한 경우가 많고 교정치료를 동반한 악교정 수술이 필요한 경우도 있다. 소구치의 발치와 골성 고정원의 사용을 통해 환자의 주소를 해결할 수 있는 경우를 제외한다면 골격적 문제가 심한 경우에서 악교정 수술을 배제하는 것은 치료결과의 안정성을 해칠 수 있다.

심미적인 이유로 악교정 수술을 선택하는 환자는 심미적인 문제를 상대적으로 더 중요하게 생각할 수 있고, 치료과정에 있어서도 보다 심미적인 치료가 환자의 치료과정 및 결과에 대한 만족도 향상에 도움을 줄 수 있다.

교과서에서는 악교정 수술 환자에서 고정식 장치를 통한 치료를 선행할 경우 세라믹 재료보다는 금속 재료를 추천한다.³ 약간 고정 시 금속 재료가 상대적으로 안정적이며 치료 중 장치 파손 등의 가능성으로 인해 금속 재료가 추천된다고 생각할 수 있다. 하지만 환자의 선호도에 따라 세라믹 재료 사용이 절대적으로 금기되는 것은 아니며 실제 임상에서는 세라믹 브라켓을 동반한 교정치료 및 악교정 수술이 진행될 수 있다. 나아가 환자의 선호 및 치료의 난이도에 따라 환

자가 심미적인 문제를 중요하게 여기고 브라켓을 이용한 오랜 기간의 약간 고정이 불필요한 악교정 수술 환자에서는 투명교정치료 또한 선택할 수 있는 장치가 될 것이다.

본 논문에서는 하악의 후퇴 및 무턱과 입술 돌출감을 호소하는 골격성 II급 부정교합 환자에서 전방부 분절골절단술을 선행하고 투명교정장치 및 골성 고정원을 통해 안정적인 교합 관계와 심미적인 안모를 형성한 증례를 보고하고자 한다.

진단

25세 여자 환자가 “입이 튀어나오고 무턱이 너무 심해요”라는 주소로 내원하였다. 초진 시 구외 사진에서 하악의 후하방 위치로 인한 볼룩한 안모가 관찰되었다. 구내 사진에서, 양측 모두 I급 구치 관계 및 II급 견치 관계를 보였다. 상악 및 하악 중절치의 회전이 관찰되었으며, 상·하악 치열에서 각각 2 mm의 경미한 크라우딩이 존재하였다(Figure 1).

측면 두부계측방사선사진 분석 시 수평적으로는 SNA 82.5°, SNB 70.6°, ANB 11.9°로, 하악이 후퇴된 골격성 II급 부정교합 양상을 보였으며, 수직적으로는 FMA 53.9°, SN-MP 58.9°로, 과발산형의 골격적 양상을 보였다. 심미선을 기준으로 상순은 7.8 mm, 하순은 9.1 mm로 모두 상당한 돌출을 보였다. 상악 전치는 U1 to FH 104.1°로 정상보다 직립된 각도를 보였으며, 하악 전치는 IMPA 90.7°로 정상 범주의 각도를 보였다. 파노라마방사선사진에서 양측 하악 과두의 편평화가 관찰되었다(Figure 2, Table 1). 특기할 전신 병력은 없었으며, 턱관절 부위의 잡음, 통증 등의 증상은 없었다.

이상의 정보들을 바탕으로 상·하악 치열의 크라우딩과 하악골 열성장 및 과두의 편평화를 동반한 골격성 II급 부정교합으로 진단하였다.

치료계획

첫 번째 치료계획으로 양악 수술을 동반한 교정치료를 계획하였다. 수술 전, 후 교정을 통해 상악 구치부의 압하를 동반하여 양악 수술이 이루어진다면 안모의 개선이 확연하게 이루어질 것으로 예상하였다. 두 번째 계획 또한 수술 교



Figure 1. Pretreatment facial and intraoral photographs.

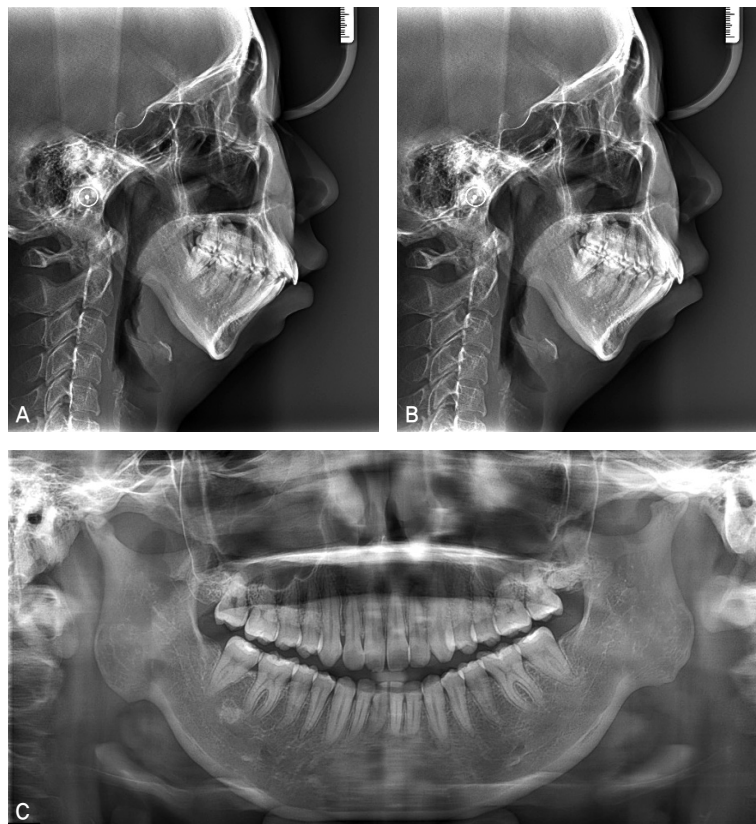


Figure 2. Pretreatment lateral cephalograms in the rest (A) and lip closed positions (B), and a panoramic radiograph (C).

Table 1. Cephalometric measurements

Measurement	Mean	IR	FR	Difference
SNA (°)	82.4	82.5	78.9	-3.6
SNB (°)	80.4	70.6	72.1	1.5
ANB difference (°)	2.0	11.9	6.9	-5.0
FMA (°)	22.7	53.9	42.6	11.3
SN-MP (°)	36.0	58.9	50.9	-8.0
Bisecting occl plant to FH	14.0	29.9	26.5	-3.4
Denture pattern				
U1 to FH (°)	116.0	104.1	104.9	0.8
U1 to NA (linear, mm)	8.0	4.2	5.0	0.8
IMPA (°)	96.5	90.7	86.7	-4.0
L1 to NB (linear, mm)	7.9	18.4	18.0	-0.4
Lip profile				
U-lip to EL (mm)	1.0	7.8	2.1	-5.7
L-lip to EL (mm)	1.0	9.1	-1.4	-1.1

정으로 전방분절골절단술을 통하여 과도한 수평피개를 빠르게 개선하며 이부성형술을 통해 측모의 개선을 도모하고자 하였다. 수술 범위의 확대를 두려워하는 환자의 기호와 하악 과두의 불안정한 양태 그리고 초진 시 대구치 I급 교합 관계인 점을 고려하여 전방분절골절단술을 동반한 교정치료를 진행하기로 하였고 심미에 대한 환자의 관심과 환자의 치성 문제가 복잡하지 않음에 근거하여 투명교정치료를 선택하였다. 치아 교합면을 덮는 투명교정장치는 교합안정장치 (stabilization splint)의 역할을 일부 수행함으로써 환자의 불안정한 하악 과두에 도움을 주리라 추측했다.

치료목표는 (1) II급 골격 관계의 개선, (2) 약한 III급 구치 관계로의 과교정 및 I급 견치 관계로의 개선을 위한 상악 전치부의 후방 이동과 하악 구치부의 전방 이동, (3) 이부성형술 및 상·하악 치성 문제의 개선을 통한 연조직 심미 향상이다.

위의 치료목표를 달성하기 위해 선수술로 전방분절골절단술과 이부성형술을 시행하기로 하였고, 전방분절골절단술로 과두의 위치를 유지하고 환자의 요청과 선택에 따라 투명교정장치로 치료하기로 하였다.

상악에서는 제1소구치의 발치를 동반한 전방분절골절단술로 상악 중절치 치경부 기준 6.5 mm, 치근첨 기준 7 mm 후방 이동(setback) 및 골편의 상방 이동과 반시계방향 회전

을 계획하였다. 하악에서도 제1소구치의 발치를 동반한 전방분절골절단술을 통해 하악 중절치 치경부 기준 3 mm, 치근첨 기준 0.5 mm의 후방 이동과 골편의 하방 이동 및 반시계방향 회전을 계획하였다. 이부성형술로 이부의 7 mm 전진과 2 mm 상방 이동을 계획하였다.

Graphy사의 삼차원(3D) 직접 출력 투명교정장치(Direct Printing Aligner; DPA)를 사용하기로 하였고, 외부 치과 기공소에 의뢰하여 장치를 제작하였다. 우레탄 계열의 중합체인 TC-85를 LCD 타입의 3D 프린터인 NBEE (Uniz Inc., China)를 사용하여 직접 출력하였으며, 후경화 장치인 Tera Harz Cure (Graphy Inc., Korea)로 경화하였다. 환자에게 뚜렷한 알레르기 반응이 나타난다면 착용 중단 및 열가압방식의 타사 투명교정장치를 사용하기로 계획하였고 특별한 알레르기 반응을 보이지 않는다면 장치 하나당 7-10일 착용을 계획하였다.^{4,5}

구치부 I급 관계를 보존하면서 과교정으로 하악 구치부의 전방 이동 및 하악 전체 치열의 전방 이동을 계획하였다. 즉, 약한 구치부 III급 관계를 목표로 하였다. 전방분절골절단술 이후 하악에 발생한 잔여 공간은 구치부의 전방 이동을 통해 폐쇄하고자 계획하였다. 이를 위해 직접 고정원으로써 골성 고정원 사용을 염두에 두었고, 배열 완료 이전부터 투명교정 장치의 특징으로 말미암은 적극적인 약간 고무줄의 사용을

계획하였다. 치축의 개선과 안정적인 교합 관계 개선을 위하여 치아에 다양한 부착물을 적용하기 위해 기공지시서를 작성하였고 벡터의 변화를 고려한 부착물의 조정 및 고무줄의 사용을 계획하였다.

치료경과 및 결과

치료경과

상·하악 제1소구치 발치를 동반한 전방분절골절단술과 이부성형술이 선행되었고 수술 후 6주가 경과하였을 때 자료 채득과 구강 스캔을 시행하여 투명교정장치를 제작하였다(Figure 3). 본 증례에서는 직접출력방식의 투명교정장치(DPA)를 제작하였고 재료의 물성 및 우수한 적합성^{5,6} 등을



Figure 3. Facial and intraoral photographs, and lateral cephalograms after anterior segmental osteotomy.

적극 활용하여 치료 단계별 목표에 맞게 스테이지를 나누어 장치를 제작하였다. 즉, 치료 시작 시점의 첫 장치부터 장치 제거 시점의 최종 장치까지 한꺼번에 모두 제작한 것이 아니라 필요한 치료 단계별 목표에 맞는 장치를 선택적으로 제작하여 불필요한 재료의 낭비와 사용하지 않는 장치의 폐기를 최소화하였다.⁷

첫 번째 스테이지는 10개의 직접 출력 투명장치로 준비하였고 주로 상악 전치부의 정출을 통한 전치부 노출의 증가와 수직파개 개선, 그리고 상악 중절치의 치근 경사 이동을 계획하였다. 이를 위하여 상악의 6전치에 어태치먼트를 부착하였다. 각 장치는 7-10일 착용하도록 지시하였다. 치료 경과 4주 후 투명장치에 대한 환자의 적응도를 평가하였고 양측의 상악 협측과 구개측의 제1대구치와 제2대구치 사이, 하악 측절치와 견치 사이에 총 6개의 미니 임플란트를 식립하여 고정원을 조절하였다. 상악에서는 치열의 후방 이동과 협측과 구개측의 미니 임플란트를 통한 대구치의 압하를 도모하였고 하악에서는 치열의 전방 이동을 도모하였다. 첫 번째 장치 전달 10주 후, 두 번째 스테이지 장치 제작을 위한 구내 스캔이 이루어졌다(Figure 4).

두 번째 스테이지에서는 DPA의 특성을 극대화하며 상악 절치부위에 customized pressure region (CPR)으로 명명된 장치 내부 돌출 부위를 추가하였다. 인비절라인의 Power ridge와 같이 장치 내부의 돌출 부위를 통해 원하는 치아 이

동을 도모하는 것이다. 본 증례에서는 상악 절치의 Distal-in 회전을 위하여 CPR을 사용하였다. 두 번째 스테이지에서는 장치가 13개가 출력되어 첫 번째 스테이지 포함 23개의 장치가 출력되었다.

세 번째 스테이지의 장치 제작을 위하여 세 번째 구강 스캔이 첫 번째 장치 전달 7개월 후 이루어졌다. 환자에게 활짝 웃도록 협조를 얻은 사진에서 미소선이 잘 형성되어 있음을 확인할 수 있다(Figure 5). CPR을 상악 절치의 원심면에 제작하여 distal-in 회전을 도모하였다. 13개의 장치가 출력되었고 현 단계까지 총 36개의 장치가 제작되었다. 마지막 장치를 착용하며(Figures 6, 7) 고정식 유지장치 인상을 채득하였고 1개월 후 고정식 유지장치 부착 및 적극적인 치료를 종료하였다(Figures 8, 9). 이후 유지 관찰을 진행하였다. 상·하악 환상유지장치 또한 제작하여 유지에 도움을 얻고자 하였고, 투명장치에 익숙해졌던 덕분에 환상유지장치에 대한 협조도는 우수하였다.

치료는 총 1년 1개월이 소요되었다. 유지 관찰 중 하악의 고정식 유지장치 탈락이 있었고 소구치관의 작은 크기를 고려하며 근심면 부위 레진 수복을 시행하였다.

치료결과

치료 후 측면 안모 사진에서, 하악의 전방 이동 및 이부의 개선으로 치료 전 볼록한 안모로부터 심미의 개선이 이루어



Figure 4. Intraoral photographs after 2 months.



Figure 5. Smile and intraoral photographs after 7 months.



Figure 6. Intraoral photographs after 9 months.

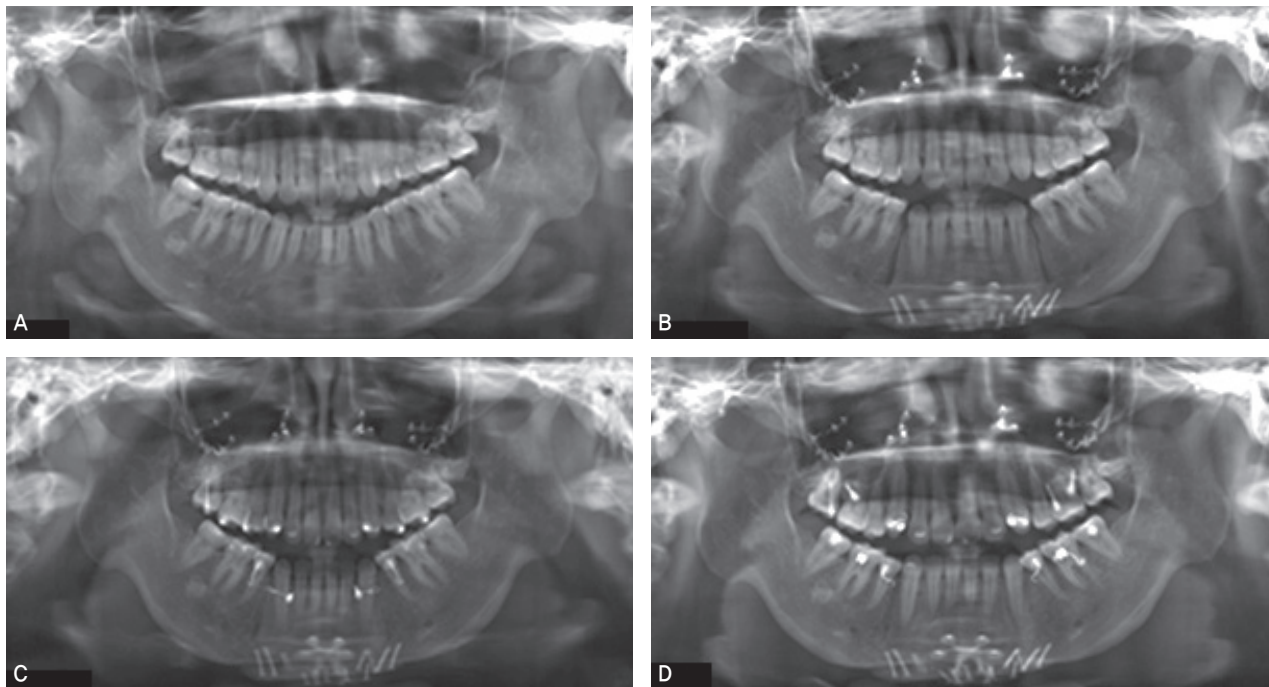


Figure 7. Panoramic radiographs at initial (A), after anterior segmental osteotomy (B), after 2 months (C), after 7 months (D).



Figure 8. Posttreatment facial and intraoral photographs.

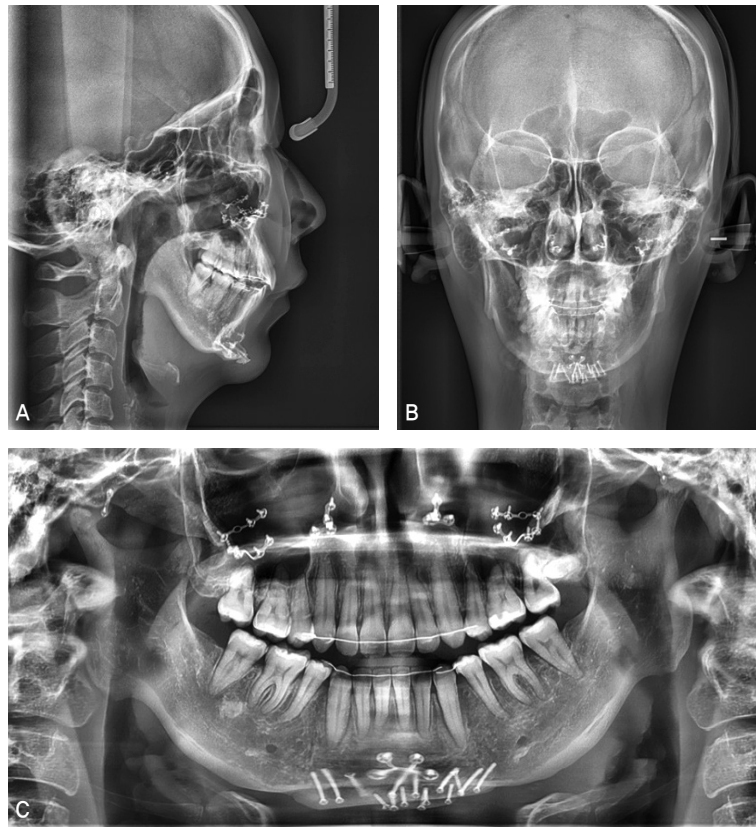


Figure 9. Posttreatment cephalograms (A, B) and a panoramic radiograph (C).

졌다. 정면 및 측면 안모 사진에서 환자가 호소하는 무턱의 개선을 선명히 확인할 수 있었다. 구내 사진에서, 상악 구치부의 치근 원심 이동을 동반하는 후방 이동 및 상악 전치부의 정출이 이루어졌고, 하악 전치열의 전방 이동 또한 이루어져 이를 통해 적절한 수직피개 및 수평피개와 I급 견치 관계를 형성할 수 있었다. 정중선과 교합을 고려하여 하악 제 2소구치 근심면의 잔여 공간은 수복용 레진으로 충전하였다(Figure 8).

측면 두부방사선계측사진의 중첩을 통한 계측치의 변화를 살펴보면, 전방분절골절단술을 통해 상당한 골격적 변화를 이루었고 이후의 수술 교정치료를 통해 치성 변화를 이루었음을 알 수 있다. U1 to FH가 104.1°에서 104.9°로 크게 변화 없었고, IMPA는 90.7°에서 86.7°로 4.0°의 감소를 보였다. 심미선을 기준으로 상순은 7.8 mm에서 2.1 mm로 5.7 mm가량의 후방 이동이, 하순은 9.1 mm에서 -1.4 mm로 약 10 mm의 후방 이동이 이루어졌다. 이를 통해, 적절한 구치부의 교합 관계와 견치의 I급 교합 관계를 달성하였고 환

자의 주소인 돌출감과 무턱의 개선이 이루어진 부분을 확인할 수 있다. 파노라마방사선사진을 통해, 양호한 치근의 평행과 전치부의 순측 경사가 개선됨을 확인할 수 있다(Figures 9, 10, Table 1).

치료 후 유지 7개월째, 큰 변화 없이 안모 및 교합 상태가 잘 유지되고 있는 것을 관찰할 수 있었다.

고찰

본 증례의 환자는 과도한 수평피개를 동반한 심한 골격성 부조화의 골격성 II급 부정교합 환자로, 악교정 수술 및 투명 교정치료를 통해 치료 진행하였다. 치료계획을 수립하는 과정에서 고려한 부분은 (1) 하악골의 후퇴에 의한 골격적 부조화의 수술을 통한 회복 및 안모의 개선, (2) 하악 과두의 편평화에 대한 고려 및 심미에 대한 환자의 요구 만족, (3) II급 견치 관계의 개선과 약한 III급 구치 관계로의 과교정, (4) 전치부의 적절한 위치에 의한 미소의 개선이었다.



Figure 10. Superimposition between pretreatment (black) and posttreatment (red) lateral cephalometric tracings.

골격성 II급 부정교합 환자의 경우 치열의 보상 작용으로 상악 전치의 설측 경사와 하악 전치의 순측 경사가 흔히 관찰된다. 하지만, 본 증례의 환자는 상악 전치의 설측 경사와 정상 범위의 하악 전치 각도를 보였다. 그러나 하악의 심한 후퇴로 상순과 하순의 돌출 및 불룩한 측모를 가지고 있었다. 따라서 하악의 골격적 개선이 반드시 요구되었고 상악 전치의 순측 경사로 적절한 수평피개와 수직피개의 개선을 도모하였다. 선수술을 통해 상당량의 골격적 개선과 심미의 개선을 이루었고 계획한 대로 DPA를 통해 필요한 치아 이동을 이루었다. 치료 시작 3개월 경과 시 첫 번째 스테이지의 장치를 모두 사용하였고 수술 후 구내 스캔 때와 비교하였을 때 수직피개량이 증가하였는데, 이는 수술 이후 교합 안정화와 상악 절치의 정출 및 대구치부의 압하에 따른 효과로 추정된다. 치료 시작 5개월경 두 번째 스테이지 장치 착용을 시작하였고 II급 고무줄 사용하며 교합 관계를 개선하였다. 일반적으로 II급 고무줄은 II급 부정교합 환자에 있어 하악 전치의 순측 경사를 유도하는 부작용이 있다.⁸ 본 증례에서는 하악 전치부의 순측 경사가 허용되었고 투명장치는 치아의 교합면을 단단히 잡아주는 형태로 받침점의 변화에 따라 전치부의 순측 경사가 전통적인 고정식 장치를 통한 치료에 비해 적게 나타나는 것으로 생각된다.

상악 구치부의 압하를 계획하였고, 양측 대구치부 협측과 구개측 총 4개의 미니 임플란트를 사용하였으나 트레이싱 비교 결과 만족스러운 압하가 이루어지지는 못하였다. 이는 상악동 함기화에 따른 골 반응의 지체로 짧은 치료 기간 동안 충분한 압하가 나타나기 어려웠을 것으로 추측하며, 과발산형 안모 및 약한 교합력⁹ 또한 교합면을 덮는 투명교정장치를 사용하였음에도 대구치의 압하가 충분히 나타나지 않게 하는 원인이 되었으리라 생각한다. 향후 치료에 있어서는 대구치 부위의 CPR을 Posterior Bite Block의 형태로 응용하여 대구치 압하에서 이점을 얻고 약한 힘을 충분한 기간 적용하여 대구치의 압하를 이루어내고자 한다. Posterior bite block이 필요한 부위(연두색 부위)를 선택하여 음형의 offset을 주고, 좌측의 주황색으로 표시된 부분과 같이 실제 투명교정장치 내면에 Posterior Bite Block을 형성할 수 있다(Figure 11).

“없을 것이라고는 쇠사슬뿐이요 얻을 것은 세계 전체다. 만국의 노동자들이여 단결하라.”라는 마르크스의 공산당 선언은 세계를 혁명의 도가니로 밀어 넣었다. 150년이 흐른 지금 그의 선언이 어떠한 결과를 낳았는지는 본 논문이 고찰할 주제가 아니다. 다만 그가 남긴 “없을 것이라고는 쇠사슬뿐이요(The proletarians have nothing to lose but their

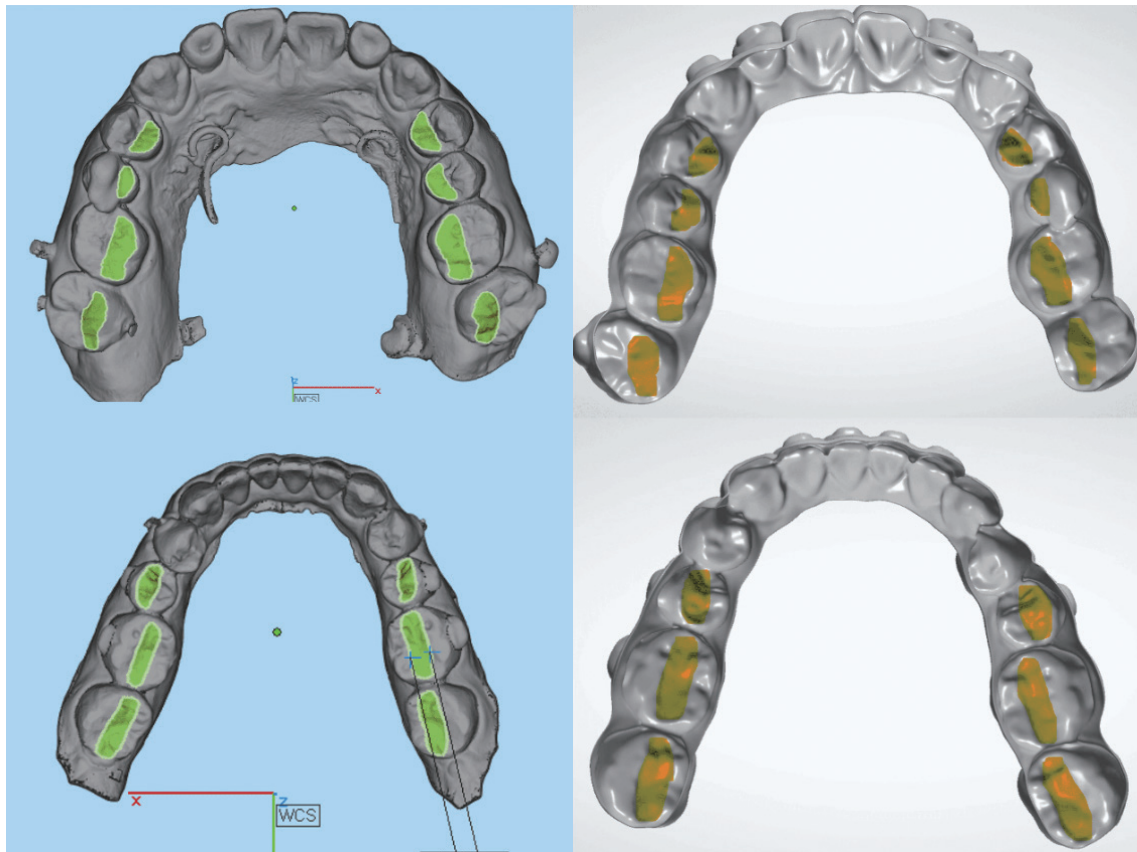


Figure 11. Work process for fabricating a posterior bite block.

chains) 얻을 것은 세계 전체"라는 말을 변주하여, 일종의 쇠사슬이 사용되는 전통의 브라켓-와이어 시스템 대신에 투명교정장치를 통해 한국의 교정학이 세계 교정학계와 세계 전체에 놀라운 발자취를 남길 것을 고대하며 투명교정장치로 치료한 증례를 보고하였다. 본 증례에서는 DPA를 사용하였고, 그 특성을 적극적으로 활용하였다. 때에 따라서는 전통의 열가압 방식의 투명교정장치를 사용할 수도 있을 것이다. 치과기공소에 장치를 의뢰할 수도 있고 필요에 따라 In-house에서 장치를 제작할 수도 있다. 어떠한 방식이든 술자는 시스템의 장단점과 생역학적 특성을 심분 고려하여 치료에 임해야 하겠다. 본 증례가 한국의 투명교정장치 발전에 밑거름이 될 수 있기를 기대한다.

결론

이번 증례는 하악골 열성장에 의한 심한 골격성 II급 부

정교합 환자에서 전방분절골절단술을 선행하고 투명교정장치를 적용하여 상악 치열의 후방 이동과 하악 치열의 전방 이동을 이루어 환자의 주소를 해결한 수술교정 치료 증례이다. 적절한 수술 계획의 수립과 투명교정장치의 알맞은 적용을 통해 심미적, 기능적으로 만족스러운 치료결과를 얻을 수 있었다.

REFERENCES

1. Proffit WR, Ackermann JL. A systematic approach to orthodontic diagnosis and treatment planning. In: Graber TM, Swain BF, editors. Current orthodontic concepts and techniques. 3rd ed. St. Louis: C.V. Mosby; 1985.
2. Lee Y, Lim SW, Chan V, Hong P, Han SB, Chae HS. The surgical outcomes of anterior segmental osteotomy in Asian skeletal class II patients. Oral Maxillofac Surg 2024;28:289-298. <https://doi.org/10.1007/s10006-023-01142-w>
3. Proffit WR. Contemporary orthodontics. 5th ed. Netherlands: Elsevier; 2013.
4. Pratsinis H, Papageorgiou SN, Panayi N, Iliadi A, Eliades T,

- Kletsas D. Cytotoxicity and estrogenicity of a novel 3-dimensional printed orthodontic aligner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2022;162:e116-e122. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2022.06.014>
5. Lee SY, Kim H, Kim HJ, Chung CJ, Choi YJ, Kim SJ, Cha JY. Thermo-mechanical properties of 3D printed photocurable shape memory resin for clear aligners. *Sci Rep* 2022;12:6246. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09831-4>
 6. Koenig N, Choi JY, McCray J, Hayes A, Schneider P, Kim KB. Comparison of dimensional accuracy between direct-printed and thermoformed aligners. *Korean J Orthod* 2022;52:249-257. <https://doi.org/10.4041/kjod21.269>
 7. Bichu YM, Alwafi A, Liu X, Andrews J, Ludwig B, Bichu AY, Zou B. Advances in orthodontic clear aligner materials. *Bioact Mater* 2022;22:384-403. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2022.10.006>
 8. Zimmer B, Nischwitz D. Therapeutic changes in the occlusal plane inclination using intermaxillary elastics. *J Orofac Orthop* 2012;73:377-386. <https://doi.org/10.1007/s00056-012-0100-5>
 9. Proffit WR, Fields HW, Nixon WL. Occlusal forces in normal- and long-face adults. *J Dent Res* 1983;62:566-570. <https://doi.org/10.1177/00220345830620051201>