

Diagnosis and treatment improvement of peri implantitis using quantitative light-induced fluorescence (QLF): A case report

Quantitative light-induced fluorescence(QLF)를 이용한 임플란트 주위염의 진단 및 치료개선: 증례 보고

Do-Young Ahn ^{ID 1,2}, Woo-Joo Kim ^{ID 1,2}, Dong-Won Lee ^{ID 3}, Hong-Cheol Yoon ^{ID 4}, Baek-Il Kim ^{ID 5}, Jeong-Ho Yun ^{ID 1,2*}

¹Department of Periodontology, College of Dentistry and Institute of Oral Bioscience, Jeonbuk National University, Jeonju, Korea

²Research Institute of Clinical Medicine of Jeonbuk National University-Biomedical Research Institute of Jeonbuk National University Hospital, Jeonju, Korea

³Department of Periodontology, Gangnam Severance Hospital, Yonsei University College of Dentistry, Seoul, Korea

⁴BESTDEN Dental Clinic, Seoul, Korea

⁵Department of Preventive Dentistry and Public Oral Health, BK21 PLUS Project, Yonsei University College of Dentistry, Seoul, Korea

ABSTRACT

Peri-implantitis is a major threat to implant longevity, requiring timely diagnosis and effective treatment. This case report describes two clinical cases where quantitative light-induced fluorescence (QLF) was used to detect and evaluate peri-implant biofilm. The first involved a medically compromised patient treated non-surgically using ultrasonic scalers, NiTi brushes, and an air-powder abrasive device. The second case required surgical intervention with flap elevation and bone grafting. In both cases, QLF enabled real-time visualization of biofilm accumulation and removal. Fluorescence intensity markedly decreased after treatment, indicating improved implant surface cleanliness. QLF allowed detection of residual biofilm that was not easily identified through traditional visual inspection, supporting more thorough decontamination. These findings suggest that QLF is a useful adjunctive tool for the diagnosis and evaluation of peri-implantitis. By enabling precise visualization of biofilm, QLF enhances conventional assessments and may contribute to better treatment outcomes and long-term implant maintenance. (*J Korean Dent Assoc* 2025; 63(6): 181-189)

Key words : Peri-Implantitis; Biofilms; Dental Implants; Fluorescence; Diagnosis

서론

임플란트 치료가 보편화되면서 무치악 부위의 치료 옵션으

로 임플란트를 선택하는 환자가 점점 증가하고 있다. 임플란트는 최후방 구치부를 포함하여 고정성 가공의치 등 기존의 보철 치료가 어려운 부위에도 적용할 수 있어, 치과 치료에서 필수적인 치료법으로 자리 잡았다. 그러나 임플란트 시술이 증가함에 따라 임플란트 주위염과 같은 합병증의 발생률도 높아지고 있으며, 이는 임플란트 치료의 장기적인 성공률을 위협하는 중요한 문제로 대두되고 있다^{1,2)}.

임플란트 주위염은 임플란트를 둘러싼 조직에서 골소실을 동반하는 복합적 염증성 질환으로, 주요 원인은 구강 내 바이

연구비 지원: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00338812).

Received Mar 25, 2025; Revised May 19, 2025; Accepted May 21, 2025

*Corresponding author: Prof. Jeong-Ho Yun

Department of Periodontology, College of Dentistry, Jeonbuk National University, 20 Geonji-ro, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Korea
Tel: +82-63-250-2289, E-mail: grayheron@hanmail.net

오필름의 축적이다³⁾. 바이오필름은 병원성 세균 군집으로 이루어져 있으며, 이들 세균이 대사 과정에서 생성하는 염증성 물질이 질환의 진행을 촉진한다⁴⁾. 그러나 기존의 진단 방법으로는 초기 병변의 진행 상태나 미세한 바이오필름의 존재를 정확히 확인하는 데 어려움이 있다. 이러한 진단상의 한계로 인해 초기 발견이 지연되면서 보다 복잡하고 침습적인 치료가 필요해지는 경우가 많다^{5,6)}.

기존의 임상적 검사 및 방사선학적 검사, 육안 관찰만으로는 임플란트 주위염을 정확하게 평가하는 데 한계가 있다. 특히 초기 단계의 작은 병변은 육안으로 확인하기 어렵고, 방사선 촬영만으로는 조직의 미세한 변화를 충분히 평가하기에 한계가 있다⁷⁾. 이러한 문제를 해결하기 위해 새로운 진단 기술의 도입 필요성이 대두되었으며, 최근에는 quantitative light-induced fluorescence(QLF)와 같은 biofluorescence imaging system(BIS) 기술이 혁신적인 대안으로 주목받고 있다⁸⁾.

QLF는 비침습적 방식으로 특정 파장의 청색 가시광선(405 nm)를 조사하여, 세균 대사 산물인 포르피린에서 발생하는 적색 형광을 감지할 수 있다⁹⁾. 이를 통해 바이오필름의 성숙도 및 병원성을 정량적으로 평가할 수 있으며, 특히 QLF는 바이오필름의 미세한 분포까지 시각적으로 확인할 수 있어 진단의 정확도를 향상시키고 치료 계획 수립에 큰 도움을 줄 수 있다^{9,10)}. 선행 연구에 따르면 QLF를 활용하면 바이오필름의 위치와 분포

를 보다 명확하게 평가할 수 있으며, 형광 강도를 통해 병변의 심각도를 즉각적으로 확인할 수 있다^{9,11)}. 그러나 QLF를 활용해서 임플란트 주위염을 평가하거나 치료 전후의 형광의 변화를 평가한 임상 연구는 부족한 실정이었다.

따라서 본 증례 보고에서는 QLF(Qraypen C, AIOBIO, Seoul, Korea)(Fig. 1)를 이용하여 임플란트 표면의 바이오필름을 실시간으로 측정하고, 제거 정도를 평가함으로써 치료 결과를 즉각적으로 분석한 두 가지 증례를 소개하고자 한다.

증례

증례 1

78세 여성 환자가 하악 전치부 #33, 43 임플란트 주변의 잇몸 시림 및 지속적인 불편감을 주소로 전북대학교 치과병원 치주과에 내원하였다. 해당 환자는 본원 치주과에서 정기적으로 유지 치주 치료를 받아오던 중, 개인적인 사정으로 인해 1년 6개월간 내원이 중단되었다. 환자는 쇼그렌증후군(Sjögren's syndrome)과 골다공증을 기저질환으로 가지고 있었으며, 장기간 경과 관찰이 이루어지지 않은 상태에서 증상이 악화되어 다시 치료를 원하였다.



Fig. 1 Quantitative light-induced fluorescence (QLF) instrument used in this study (Qraypen C, AIOBIO, Seoul, South Korea).

임상 검사 결과, #33, 43 임플란트 주위에서 지속적인 염증 소견이 관찰되었으며, 6 mm 가량의 탐침 깊이와 탐침시 출혈, 그리고 치은 상방으로 상당히 노출된 임플란트 나사선이 해당 문장에 탐침시 출혈 소견이 보인다는 내용을 추가했습니다. 방사선사진에서도 임플란트 주위의 골 소실이 확인되었으며, 특히 #33 임플란트 주위에서 심한 골 소실이 진행된 양상이 관찰되었다. 육안 평가 결과, 임플란트 표면에 일부 바이오필름이 부착된 것이 확인되었으나, QLF를 이용한 평가에서는 육안으로 확인되지 않던 미세한 바이오필름까지 명확하게 관찰되었다. 특히, QLF 영상에서는 바이오필름이 광범위하게 축적된 상태를 시각적으로 확인할 수 있어, 이를 통해 환자에게 구강 위생 관리의 필요성을 강조하였다(Fig. 2).

이에 따라 임플란트 주위염으로 진단하였으며, 임플란트 주위 바이오필름 제거를 위해 먼저 임플란트 전용 스케일러 팁 (STS-5E, B&L BioTech, Seoul, Korea)을 사용하여 임플란트의 전체적인 부위를 세정한 후, NiTi 브러시(TN Brush,

Dentium, Seoul, Korea)를 이용하여 치은연상(supragingival) 임플란트 표면 부위를 세정하고, air-powder abrasive device(PERIOFLOW® handpiece, EMS Dental, Nyon, Switzerland)를 이용하여 치은연하부위를 세정하였다. 바이오필름 제거 후, 다시 QLF 촬영을 시행하여 치료 전후의 차이를 평가하였으며, 육안 평가만으로는 깨끗해 보였던 부위에서도 일부 잔존 바이오필름이 확인되었다. 이를 통해 보다 명확하게 바이오필름 제거 상태를 평가할 수 있었으며, 추가 처치를 통해 보다 철저한 세정이 가능하였다. 이후, 0.2% 클로르헥시딘 연고(Perioline®, Sunstar, Osaka, Japan)를 임플란트 주위 병소에 국소 적용하였다(Fig. 3).

2주 후 내원 시 평가한 결과, 임플란트 주위 염증이 현저히 감소하였으며, 조직 상태가 양호하게 유지되고 있었다. 치료 후 임플란트 표면은 깨끗이 유지되었으며, 추가적인 염증은 발견되지 않았다. 환자는 임상적으로 불편감을 호소하지 않았으며,

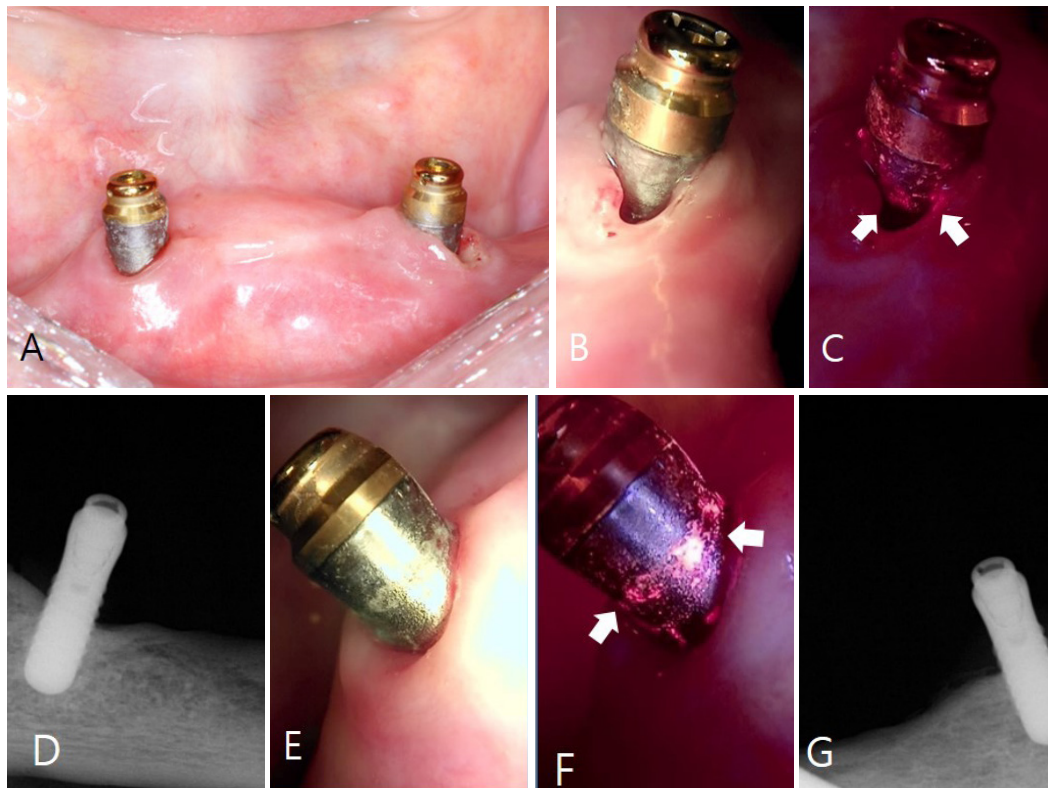


Fig. 2. A. Clinical photograph before treatment. B. Clinical photograph of the #33 implant site. C. Quantitative light-induced fluorescence (QLF) image of #33 shows plaque accumulation on the implant surface. D. Periapical radiograph reveals advanced bone loss around #33. E. Clinical photograph of the #43 implant site. F. QLF image of #43 shows plaque accumulation on the implant surface. G. Periapical radiograph reveals bone loss around #43. Plaque accumulation is clearly visualized in the QLF images (white arrow), including biofilm not detectable by visual inspection.

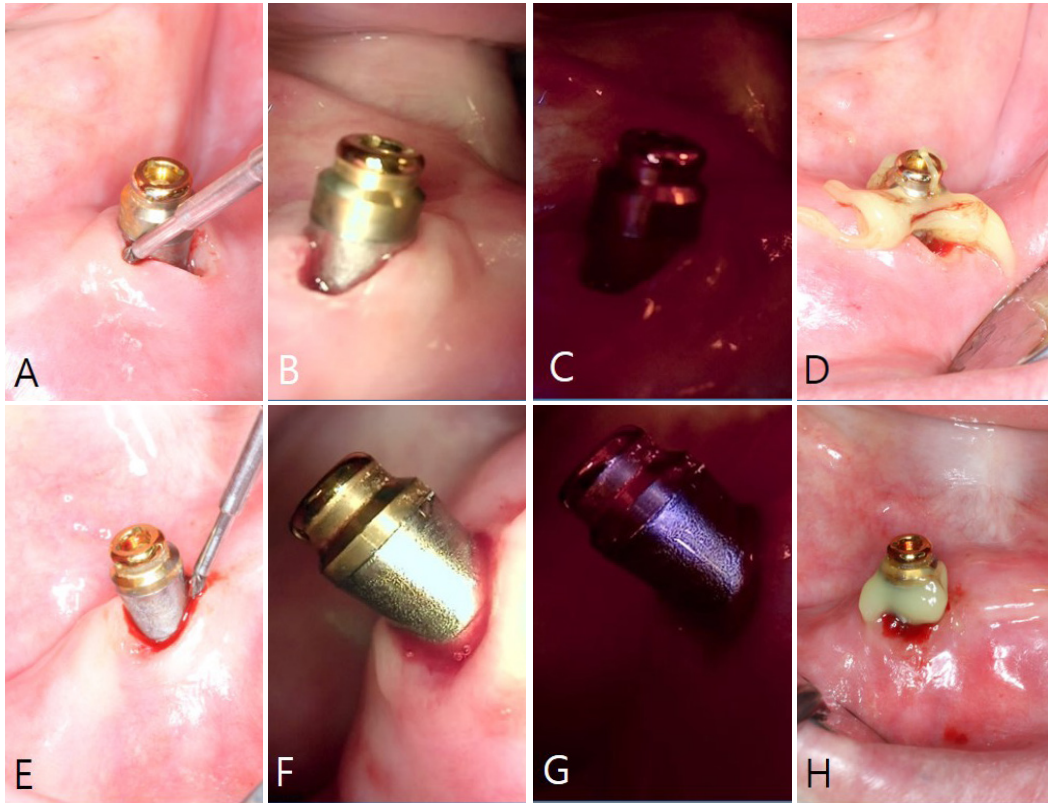


Fig. 3. A and E. NiTi brush is used for mechanical decontamination of the implant surface. B and F. Clinical photographs show the implant surface after decontamination. C and G. Quantitative light-induced fluorescence (QLF) images show the implant surface after decontamination. D and H. Minocycline ointment is applied for chemical decontamination. QLF images confirm the complete removal of plaque from the implant surface, and no plaque accumulation is observed

구강 내 증상도 호전되었다. 6개월 후 경과 관찰 및 유지 치료를 위해 재내원한 결과, 주변에 미약한 염증 소견이 관찰되었으나, 임플란트 주위 조직은 안정적으로 유지되고 있었고, 추가적인 골 소실은 관찰되지 않았다(Fig. 4).

증례 2

61세 남성 환자가 #46 임플란트의 나사 풀림을 주소로 전북 대학교 치과병원 치과보철과에 내원하였으며, 해당 임플란트 주위의 지속적인 출혈과 불편감으로 인해 협진 의뢰되어 치주과에 방문하였다. 환자는 고지혈증 외에 다른 기저질환은 없었으며, #46 임플란트는 약 5년 전 지역 치과에서 식립되었으나, 해당 치과가 폐업한 상태로 본원 치주과에서 치료를 받기를 원하였다.

임상 검사 결과, #46 임플란트 주변에 6 mm 이상의 깊은 치주낭이 형성되어 있었으며, 탐침 시 출혈이 관찰되었다. 방사선사진에서는 임플란트 주위의 골 소실이 확인되었으며, 구강

내 전반적인 치주염도 동반되어 있었다. 이에 따라, 우선적으로 양측 상악 제3대구치 발치를 동반한 전악의 비외과적 처치(스케일링 및 치근활택술)를 시행한 후, QLF를 활용한 #46 임플란트 표면 오염 제거를 진행하는 것으로 치료 계획을 수립하였다(Fig. 5).

#46 임플란트 주위의 출혈 및 염증 반응을 포함한 임플란트 주위염이 지속되어, 임플란트 표면의 보다 적극적인 오염 제거를 위해 전충판막 거상술을 시행하기로 결정하였다. 이를 위해 #15T blade 및 #12 blade를 이용하여 #45 치아의 원심 선각 부위부터 열구내 절개를 시행하였으며, #46 임플란트의 원심 측 무치악 부위에는 치조정 절개를 시행하였다. 전충판막을 거상한 후, 임플란트 표면의 오염 상태를 보다 명확히 평가하기 위해 QLF 촬영을 시행하였다.

QLF 영상을 통해 임플란트 표면의 바이오필름 분포를 명확히 확인할 수 있었으며, 육안 검사보다 더욱 정밀하게 오염된 부위를 평가할 수 있었다. 이에 따라 첫번째 케이스와 마찬가지로 임플란트 전용 스케일러 팁, NiTi 브러시 (Ti Brush,

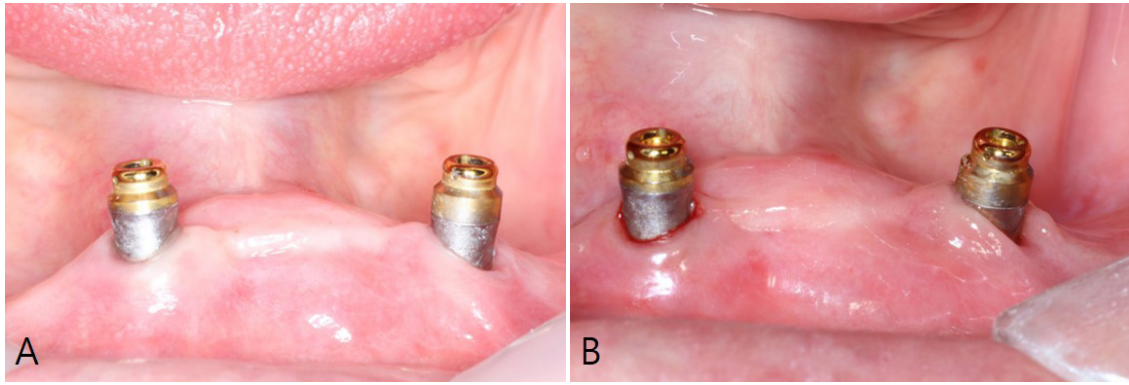


Fig. 4. A. At the 2-week follow-up, peri-implant inflammation is significantly reduced, and the soft tissue condition remains stable. The implant surface is clean with no signs of additional inflammation, and the patient reports no discomfort. B. At the 6-month follow-up, mild peri-implant inflammation is observed, but the surrounding tissues remain stable with no additional bone loss.

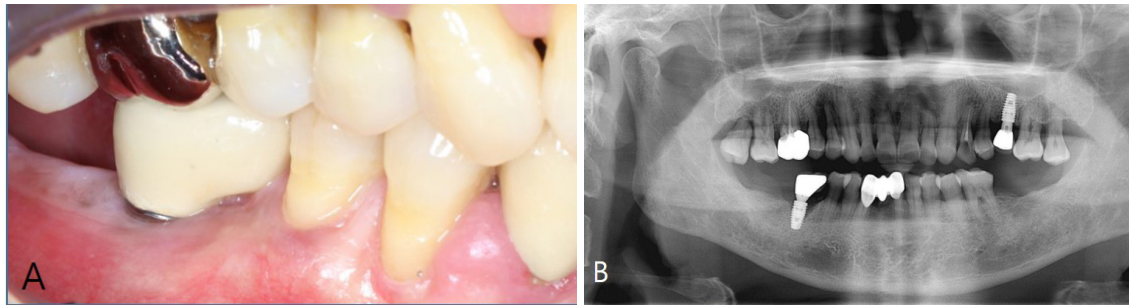


Fig. 5. A. Clinical photograph of the #46 implant site prior to treatment. B. Panoramic radiograph reveals bone loss around the #46 implant.

Megagen, Daegu, Korea), air-powder abrasive device를 순서대로 사용하여 임플란트 표면을 세정하였으며, 치료 효과를 평가하기 위해 QLF를 다시 촬영하였다(Fig. 6).

또한, 임플란트 주위에 환상형 골결손이 관찰되어, #46 임플란트 주변 골 결손 부위에 동종골이식재(ICB, irradiated allogenic cancellous bone and marrow, Rocky Mountain Tissue Bank, USA)와 흡수성 콜라겐 멤브레인(OssMem Soft, Osstem Implant Co., Seoul, Korea)을 적용하였다. 이후, 5-0 흡수성 합성 봉합사(Coated Vicryl™, Ethicon, Johnson and Johnson, Somerville, USA)를 이용하여 고정성 봉합(anchor suture)을 시행하고, 5-0 흡수성 단일 섬유 봉합사(Monosyn®, B. Braun, Tuttlingen, Germany)로 변형 Laurell 봉합 및 단순 단속 봉합을 시행하였다(Fig. 7).

임플란트 표면 오염 제거를 위한 판막술 시행 2주 후, 환자가 내원하여 봉합사를 제거하였으며, 치유 상태는 양호하였고 별다른 이상 소견은 관찰되지 않았다. 수술 2달 후 경과 관찰을 시행한 결과, 외과적 처치로 인한 치은 퇴축으로 인해 임플란트

의 금속 표면 일부가 구강 내로 노출되었으나, 환자는 임상적으로 불편감을 호소하지 않았다. 또한, 치료 전과 비교하여 임플란트 표면의 위생 관리가 개선되었으며, 전반적인 구강 상태도 안정적인 양상을 보였다. 5개월 후 유지 관리를 위해 환자가 재내원하였으며, 임플란트 주변 연조직 상태는 양호하였고, 임상적으로 염증 소견은 관찰되지 않았다. 방사선사진에서 결손 부위에서 골 형성이 진행되는 양상이 확인되었으며, 임플란트 주변의 골 상태 역시 안정적으로 유지되었고, 별다른 병적 소견은 나타나지 않았다(Fig. 8).

토의

임플란트 주위염은 골소실을 동반한 임플란트 주위 조직의 염증으로 정의되며, 일반적으로 비선형적이고 가속화되는 진행 패턴을 보이며 통상적인 치주염보다 더 빠르게 진행될 수 있다. 주된 원인은 바이오필름의 축적이며, 연구에 따르면 임플란

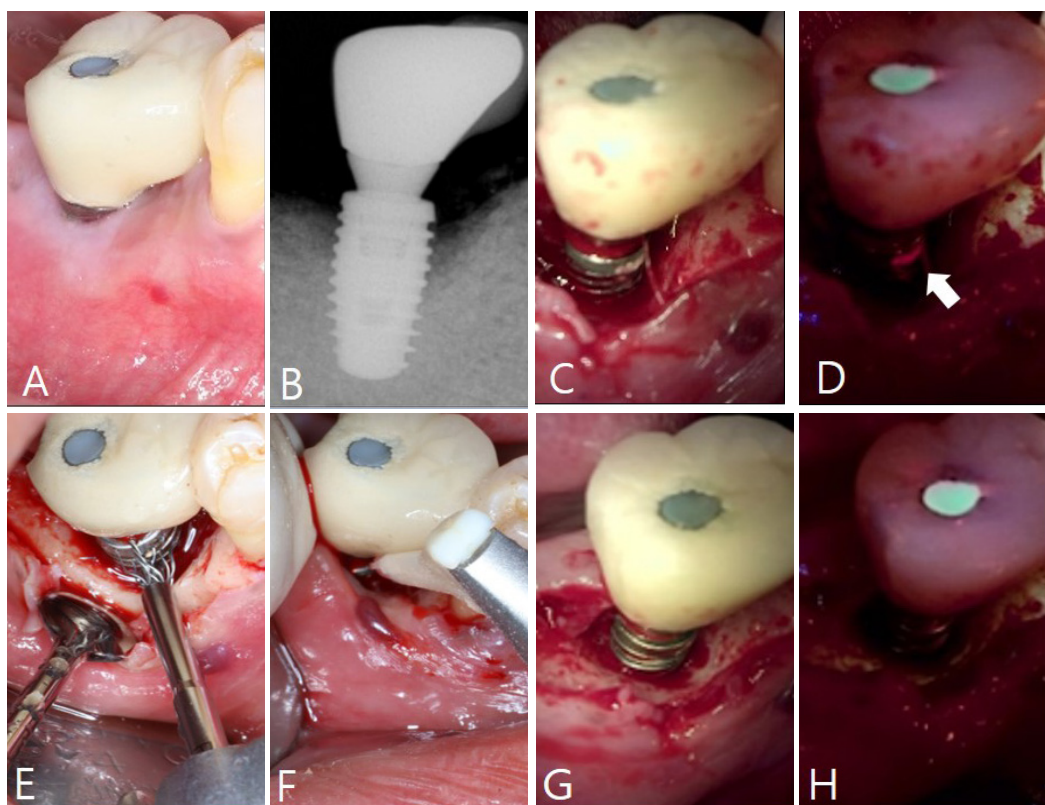


Fig. 6. A. Pre-treatment clinical photograph. B. Periapical standard radiograph. C. Clinical photograph after flap elevation. D. Quantitative light-induced fluorescence (QLF) image reveals biofilm on the implant surface (white arrow). E. Implant surface is decontaminated using a NiTi brush. F. Implant surface is decontaminated using an air-powder abrasive device. G. Clinical photograph shows the implant surface after decontamination. H. QLF image confirms a clean implant surface

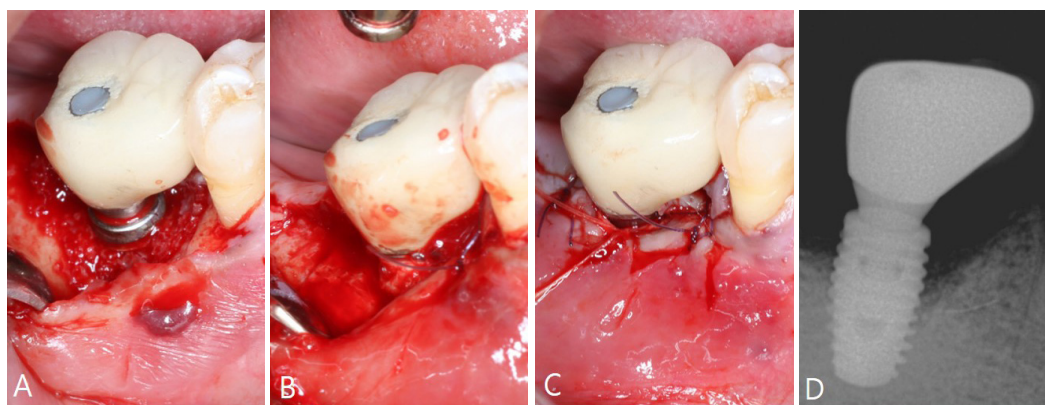


Fig. 7. A. A circumferential bone defect is observed around the implant at site #46, and allograft is applied. B. The grafted area is covered with a resorbable collagen membrane. C. An anchor suture is placed using a 5-0 absorbable synthetic suture, followed by a modified Laurell suture and interrupted sutures using a 5-0 absorbable monofilament suture. D. A postoperative periapical radiograph shows the implant at site #46 with the grafted area.

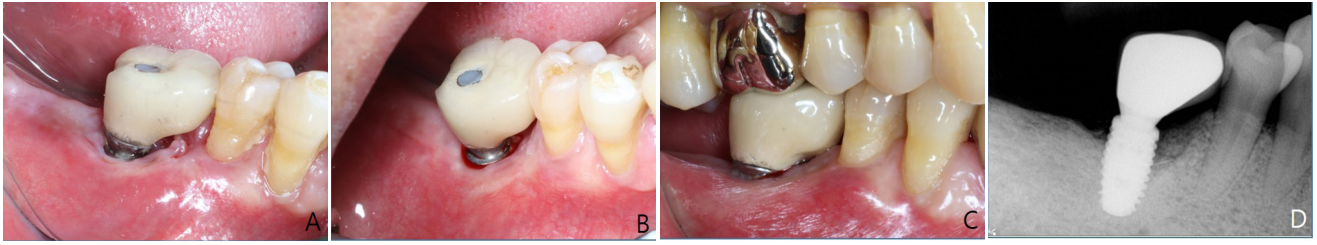


Fig. 8. A. Stitch-out is performed at 2 weeks after implant surface decontamination, with no specific complications observed. B. At the 2-month follow-up, partial exposure of the implant surface due to gingival recession is noted, but the patient reports no discomfort. C and D. At the 5-month follow-up, clinical photograph and radiograph show healthy peri-implant soft tissue without signs of inflammation, and bone fill is observed in the defect area.

트 주위염은 초기 단계에서 임플란트 주위 점막에 국한된 염증인 임플란트 주위 점막염으로부터 시작된다³⁾.

임플란트 주위 점막염은 적절한 바이오필름 조절 전략이 적용될 경우 가역적이지만, 치료가 이루어지지 않으면 비가역적인 골소실을 동반하는 임플란트 주위염으로 발전할 수 있다. 또한, 임플란트 주위염은 치료 후에도 재발 가능성이 있으며, 5년 후 32-44%의 재발률이 보고되었다⁴⁾. 이는 임플란트 주위염의 완치가 어렵고, 정기적인 유지 관리 및 조기 진단을 통해 질환의 진행을 방지하는 것이 중요함을 시사한다.

임플란트 주위염의 완치가 어려운 원인은 다양하지만, 그중 하나는 임플란트 나사선에 바이오필름이 쉽게 침착되며 제거가 어렵다는 점이다. 임플란트 나사선의 요철 구조는 세균과 바이오필름의 부착을 용이하게 하며, 이러한 침착물을 제거하는 과정 또한 어려움이 따른다¹²⁾. 특히, 깊은 부위까지 기구가 도달하기 어려워 물리적 세정이 제한되며, 표면의 미세한 요철로 인해 세균이 쉽게 부착하고 잔존할 가능성이 높다¹³⁾.

이에 따라, 최근 QLF 기술이 임플란트 주위염의 진단과 치료 평가에 중요한 도구로 주목받고 있다. QLF는 405 nm의 청색광을 조사하여 세균 대사 산물인 포르피린에서 발생하는 적색 형광을 감지함으로써 병원성 바이오필름을 시각적으로 평가할 수 있다⁹⁾. 이를 통해, 기존 방법으로 감지되지 않는 미세한 바이오필름 및 초기 병변을 보다 명확하게 시각적으로 확인할 수 있으며, 치료 계획 수립에도 중요한 역할을 할 수 있다¹⁴⁾.

본 증례에서는 QLF를 이용하여 임플란트 주위염이 의심되는 임플란트 주위의 오염 상태를 진단하고, 치료 전후 변화를 평가하였다. QLF 촬영을 통해 육안으로는 확인되지 않던 미세한 바이오필름을 명확하게 시각화할 수 있으며, 치료 과정에서의 세정 효과를 객관적으로 평가할 수 있었다. 치료 효과를 높이기 위해 기본적인 초음파 스케일러에 더하여, NiTi 브러쉬와 air-powder abrasive device를 추가적으로 사용하였다. 연구

에 따르면, NiTi 브러쉬는 임플란트 나사선의 함몰 부위(valley)까지 효과적으로 접근하여 세정함으로써 임플란트 표면을 효과적으로 세척하고, 탐침 깊이를 감소시키는 데 기여할 수 있다^{15,16)}. 또한, air-powder abrasive device는 임플란트 표면의 손상을 최소화하면서 바이오필름 제거 및 미생물 환경 개선을 통해 출혈과 화농을 포함한 염증 반응을 효과적으로 감소시키는 것으로 보고되고 있다¹⁶⁻¹⁸⁾.

첫 번째 증례는 쇼그렌 증후군 및 골다공증을 동반한 고령 환자의 임플란트에서 심각한 바이오필름 축적과 골 소실을 포함한 임플란트 주위염이 관찰된 사례이다. 환자는 고령으로 인해 외과적 처치에 대한 거부감을 나타내어 비외과적 치료 방법만을 적용하기로 계획하였다. 또한, 환자가 불규칙한 내원 양상을 보여 추가적인 동기 부여가 필요하였다. 따라서 바이오필름 침착의 범위와 심각도를 보다 명확하게 평가하고 환자에게 현재 상태를 각인시켜 동기 부여를 강화하기 위하여, 기존의 임상적 및 방사선학적 평가에 추가적으로 QLF 촬영을 시행하였다. 초음파 스케일러와 NiTi 브러쉬, air-powder abrasive device를 사용하여 바이오필름을 제거한 후, 다시 QLF 촬영을 시행하여 치료 전후의 차이를 시각화하여 비교하였으며, 바이오필름 잔존 여부를 확실히 확인함으로써 보다 철저한 처치가 가능하였다.

두 번째 증례에서도 QLF는 임플란트 표면의 잔존 바이오필름을 시각적으로 명확하게 평가하고, 철저한 세정이 이루어졌음을 검증하는 데 중요한 역할을 하였다. 첫 번째 증례와 달리, 외과적 처치 중 실시간으로 QLF를 활용하여 임플란트 표면의 세정 상태를 평가하였다. 기존의 육안 평가나 방사선 사진만으로는 잔존 바이오필름을 정확히 확인하기 어려운 경우가 많지만, QLF를 통해 오염 상태를 명확하게 시각화할 수 있었으며, 보다 면밀한 임플란트 표면 세정이 가능하였다. QLF 촬영을 통해 세정이 완료된 임플란트 표면을 분석한 결과, 추가적인 바이

오필름이 남아 있지 않음을 객관적으로 확인할 수 있었으며, 이는 치료 후 잔존 오염물에 대한 불확실성을 줄이는 데 기여하였다. 이러한 철저한 바이오필름 제거를 통해 감염 위험을 최소화하고 임플란트 주위 환경을 개선함으로써, 결손 부위의 골 형성을 촉진하여 양호한 임상적 결과를 얻을 수 있었다.

증례 1과 2 모두 환자의 전신 건강 상태 및 지리적 요인으로 인해 지속적인 경과 관찰이 이루어지지 못한 한계가 있었으나, 짧은 경과 관찰 기간 내에서 QLF를 활용한 임플란트 유지 관리가 효과적이었음을 확인할 수 있었다. 첫 번째 증례에서는 비외과적 처치에 QLF를 적용하였고, 두 번째 증례에서는 외과적 처치에 QLF를 적용했다는 차이가 있었지만, 두 증례 모두에서 임플란트 주변 바이오필름의 명확한 확인과 효과적인 처치를 가능하게 하였다. 또한, 환자에게 현재 상태를 시각적으로 명확하게 인식시킴으로써 임플란트 유지와 구강 위생 관리에 긍정적인 영향을 미쳤으며, 동기 부여를 강화하는 효과가 있었다. 따라서 본 증례를 통해 QLF가 임플란트 주위염의 진단과 치료에 효과적으로 활용될 수 있음을 확인할 수 있었으며, 향후 연구에서는 보다 장기적인 경과 관찰을 통해 그 임상적 유효성을 평가하는 것이 필요할 것으로 보인다.

본 증례에서는 임플란트 주위염 치료에서 QLF를 보조적 평가 도구로 활용하였다. 치료 전 QLF를 이용하여 임플란트 표면에 침착된 세균을 시각화함으로써, 병변 상태를 보다 면밀하게 평가할 수 있었다. 또한, 치료 후 임플란트 표면을 QLF로 재촬영하여 잔존 바이오필름 여부를 확인함으로써, 보다 철저한 표면 세정이 가능하였다. 임상 의는 진단 및 치료 시 QLF를 보조적 도구로 활용함으로써 현재 상태를 보다 명확하게 파악할 수 있으며, 이를 통해 더욱 세심한 처치를 진행하여 보다 양호한 치료 결과를 얻을 수 있을 것이다.

Conflicts of Interest: HC Yoon is an employee of AIO-BIO Co., Ltd. The other authors declare no conflicts of interest.

Reference

1. Derks J, Schaller D, Håkansson J, Wennström JL, Tomasi C, Berglundh T. Effectiveness of implant therapy analyzed in a swedish population: prevalence of peri-implantitis. *J Dent*

- Res* 2016; 95: 43-9.
2. Koldslund OC, Scheie AA, Aass AM. Prevalence of peri-implantitis related to severity of the disease with different degrees of bone loss. *J Periodontol* 2010; 81: 231-8.
3. Berglundh T, Armitage G, Araujo MG, Avila-Ortiz G, Blanco J, Camargo PM, et al. Peri-implant diseases and conditions: consensus report of workgroup 4 of the 2017 world workshop on the classification of periodontal and peri-implant diseases and conditions. *J Periodontol* 2018; 89 Suppl 1: S313-8.
4. Herrera D, Berglundh T, Schwarz F, Happle I, Jepsen S, Sculean A, et al. Prevention and treatment of peri-implant diseases-the EFP S3 level clinical practice guideline. *J Clin Periodontol* 2023; 50 Suppl 26: 4-76.
5. Kim Y, Ku JK. Quantitative light-induced fluorescence-guided surgery for medication-related osteomyelitis of the jaw. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2024; 45: 103867.
6. Lee ES, de Josselin de Jong E, Kim E, Kim BI. Real-time optical detection of endodontic infection using bacterial autofluorescence. *J Dent* 2023; 136: 104600.
7. Lee JW, Lee ES, Kim BI. Can red fluorescence be useful in diagnostic decision making of residual dentin caries? *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2019; 26: 43-4.
8. Kang SM, de Josselin de Jong E, Higham SM, Hope CK, Kim BI. Fluorescence fingerprints of oral bacteria. *J Biophotonics* 2020; 13: e201900190.
9. Kim YS, Lee ES, Kwon HK, Kim BI. Monitoring the maturation process of a dental microcosm biofilm using the Quantitative Light-induced Fluorescence-Digital (QLF-D). *J Dent* 2014; 42: 691-6.
10. Khudanov B, Jung HI, Kahharova D, Lee JW, Hamidov I, Lee ES, Kim BI. Effect of an oral health education program based on the use of quantitative light-induced fluorescence technology in Uzbekistan adolescents. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2018; 21: 379-84.
11. Han SY, Kim BR, Ko HY, Kwon HK, Kim BI. Assessing the use of Quantitative Light-induced Fluorescence-Digital as a clinical plaque assessment. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2016; 13: 34-9.

12. Figuero E, Graziani F, Sanz I, Herrera D, Sanz M. Management of peri-implant mucositis and peri-implantitis. *Periodontol 2000* 2014; 66: 255-73.
13. Beheshti Maal M, Verket A. Implantoplasty- provoking or reducing inflammation? - a systematic scoping review. *Acta Odontol Scand* 2022; 80: 105-16.
14. Lee ES, de Josselin de Jong E, Kim BI. Detection of dental plaque and its potential pathogenicity using quantitative light-induced fluorescence. *J Biophotonics* 2019; 12: e201800414.
15. Karimi MR, Farkhondemehr B, Ghaeni Najafi M, Etemadi A, Chiniforush N. Efficacy of titanium brush, 915 nm diode laser, citric acid for eradication of *Staphylococcus aureus* from implant surfaces. *BMC Oral Health* 2021; 21: 631.
16. Cha JK, Paeng K, Jung UW, Choi SH, Sanz M, Sanz-Martín I. The effect of five mechanical instrumentation protocols on implant surface topography and roughness: a scanning electron microscope and confocal laser scanning microscope analysis. *Clin Oral Implants Res* 2019; 30: 578-87.
17. Renvert S, Lindahl C, Roos Jansåker AM, Persson GR. Treatment of peri-implantitis using an Er:YAG laser or an air-abrasive device: a randomized clinical trial. *J Clin Periodontol*. *J Clin Periodontol* 2011; 38: 65-73.
18. Stein JM, Conrads G, Abdelbary MMH, Yekta-Michael SS, Buttler P, Glock J, et al. Antimicrobial efficiency and cytocompatibility of different decontamination methods on titanium and zirconium surfaces. *Clin Oral Implants Res* 2023; 34: 20-32.