

투고일 : 2014. 7. 16

심사일 : 2014. 7. 16

게재확정일 : 2014. 8. 12

형태 해부학적 특징을 바탕으로 한 자연치형 지르코니아 임플란트

서울대학교 치의학대학원 구강해부학교실

박영석, 이승표

ABSTRACT

Natural Tooth Form Zirconia Implant Based on Anatomical Morphology

Department of Oral Anatomy, Seoul National University School of Dentistry and Dental Research Institute
Young-Seok Park, DDS, MSD, PhD, Seung-Pyo Lee, DDS, MSD, PhD

The restorative treatment using titanium implants has become a standard procedures in everyday clinical practice. However, there are several concerns about the use of titanium as a materials. Above all, the grayish metal color provokes esthetic problems when the soft tissue around the implants is not optimal. Recently, zirconia has been emerging as an alternative to titanium due to its white color and superior physicochemical properties. In this paper, the current findings about zirconia implants was reviewed based on the results from animal and clinical experiments. In addition, the immediate implantation protocols using the natural tooth form zirconia implants was introduced as a novel procedures and future perspectives were discussed.

Key words : zirconia implant, natural tooth form, immediate implantation, CAD/CAM

Corresponding Author

Seung-Pyo Lee, DDS, MSD, PhD

Department of Oral Anatomy,

Seoul National University School of Dentistry and Dental Research Institute,

101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 110-744, Korea

E-mail: orana9@snu.ac.kr

Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning(NRF-2012R1A1A1001758)

I. 서론

작금의 급변하고 있는 치과 의료 시장 상황에서, 치과용 임플란트를 사용한 수복 치료는 이미 국민건강보험의 적용을 받을 정도로 대중적이고 보편적인 치료로

자리매김하였다. 상실된 자연치를 대체하고자 하는 고대로 부티의 아이디어가 단순한 시도가 아닌 범용으로 현실화 되는데까지는 상당히 오랜 기간이 걸렸는데, 이는 티타늄(혹은 티타늄 합금)과 뼈 사이의 Osseointegration 현상의 발견을 통해서였다.

무치악 수복 증례로부터 시작된 지속적인 연구는 임상적 술식의 발전과 함께 치과용 임플란트의 개량에 초점을 맞추고 있었으며, 임플란트의 표면 처리 및 디자인은 주요 주제였다. 이러한 연구의 중심에는 늘 티타늄 소재 임플란트가 있었으며, 현재까지도 material of choice¹⁾로 임상과 연구 양쪽 모두에서 시장의 선택을 받고 있다.

티타늄 혹은 그 합금의 장점은 우수한 생체적합성, 그리고 기계적 물성으로 요약할 수 있다²⁾. 부가적으로 현재까지 쌓여 온 훌륭한 임상 결과와 성공률에 관한 데이터, 그리고 무시할 수 없는 친숙함 등이, 과연 이 재료를 대체할 만한 물질을 찾을 필요가 있는지에 관한 의문을 던질 수도 있다. 그럼에도 최근 세계적 임플란트 연구 동향을 살펴 보면, 티타늄이 가지고 있는 몇 가지 단점을 근거로 대체재에 관한 연구가 매우 활발히 진행되고 있음을 알 수 있다.

이러한 연구들에 지적하는 티타늄이 단점들은 과민성 반응³⁾, 전기 전도성⁴⁾, 부식성⁵⁾, 국소 림프절로의 이온 침착⁶⁾과 같은 생물학적인 문제들이 있고, 보다 현실적인 문제로는 티타늄의 어두운 색깔로 인한 심미성⁷⁾이 있다. 특히 티타늄 임플란트의 보급이 확대되고, 장기적인 유지 관리가 중요해 진 현 시점에서 시술 후 시간이 경과함에 따라 발생할 수 있는 심미적 문제와 그 해결의 관점에서 티타늄이 가지는 어두운 금속 색은 결코 무시할 수 없는 단점이 되어 가고 있다.

대체재로서 연구가 시도된 물질 중 가장 대표적인 것이 바로 지르코니아 소재이다. 사실 이 소재는 임플란트의 골내 부위 보다는 상부 보철물 구조 혹은 자연치 보철물에 훨씬 익숙하게 사용되고 있으며, 밀링 가공 기술의 발달 및 금 가격의 폭등과 같은 외부 요인과 맞물려 폭발적인 성장세로 치과계에 보급되었다. 티타늄에 필적하는 생체적합성과 뛰어난 물성을 지니고 있으며 여기에 더해 흰 색조를 지니고 있는 심미적 장점이 있어 현재 많은 연구가 집중되고 있으며, 다수의 소규모 제조사들을 통해 상업적으로도 출시되어 임상에 사용되고 있다. 또한 Nobelbiocare나 Straum

ann과 같은 대규모 제조사들도 연구 중인 것으로 알려져 있다.

본 원고에서는 지르코니아 소재 임플란트 연구의 최신 지견에 대한 고찰과 함께, 기술 개발의 정체기를 맞이한 전통적 티타늄 임플란트 술식을 벗어나 새로운 환자 맞춤형 진료 패러다임의 치료로서, 자연치 해부 형태학적 형태에 기반한 지르코니아 소재 임플란트의 개발 연구에 대한 간략한 소개를 하고자 한다.

II. Zirconia Body Implant

1. Emerging Concerns about Titanium Implants

현재 임플란트 시장을 독점하고 있다고 말해도 과언이 아닐 정도로 널리 사용되고 있는 티타늄 임플란트의 성공률 및 생존률은 다양하게 보고되고 있지만, machined surface를 가진 티타늄 임플란트의 10년 생존률은 95%, 그리고 15년 생존률은 90%로 보고된 바 있으며⁸⁾, 이러한 수치가 근관치료와 한 때 비교되었다는 사실은 티타늄 임플란트의 훌륭한 치료 예후를 방증한다고 할 수 있겠다.

그럼에도 불구하고 티타늄의 대체재료를 찾으려 만드는 대표적인 요구사항은 심미적인 부분이라고 할 수 있다. 환자들의 요구사항은 예전과 같이 단순한 저작기능의 회복에서 그치지 않고, 자연치와 가능한 유사하도록 혹은 자연치를 능가하는 아름다움을 원하는 수준으로 급격히 상승하였고, 항상 이를 만족시키는 것은 불가능하다. 더욱이, 최초의 시술에서 만족스러운 심미성을 얻었다고 하더라도, 수개월 혹은 수년이 지나면서 생기는 치은 퇴축⁹⁾을 비롯한 여러 가지 부작용들에 대한 의사와 환자간의 상호 책임소재 공방과 분쟁이 늘어나고 있다. 이런 문제가 임플란트 시술의 보편화와 함께 앞으로 꾸준히 증가할 것이라는 것은 쉽게 예측할 수 있는 바이다.

더 큰 문제는 시술 직후 혹은 상당기간이 흐른 후 발생한 심미적 부작용에 대해, 쉽게 대처할 수 있는 방법이 마땅하지 않거나, 있다 하더라도 일반의들에게 기록하지 않은 경우가 대부분이며, 적절한 대처의 실패는 곧 시술자나 시술에 대한 신뢰의 하락과 직결된다. 지르코니아 소재 임플란트 역시 이러한 문제에서 완전히 해방되어 있는 것은 아니다. 그러나, 흰색 소재라는 장점은 앓은 치은을 가진 환자에게서 심미적인 문제를 적게 일으키고, 치은 퇴축이 일어난 경우라도, 일반적인 자연치 보철에서와 같이 더 깊은 식체를 통해 수복물의 변연을 늘리는 방법을 통한 해결이 가능할 수 있다.

금속색의 비심미성과 달리 적극적인 이유는 아니지만, 최근 관심사가 되고 있는 단점은 티타늄이 금속으로서 가지는 생물학적인 단점이다. 티타늄은 부식에 매우 안정적으로 알려져 있음에도, 폐와 뼈 조직을 비롯한 내장기관에 축적되며¹⁰⁾, 동물 실험에서는 티타늄 임플란트의 식립 부위 근처에서 그리고 국소 림프절에서 다량의 티타늄이 검출된 것으로 보고되었다¹¹⁾. 뿐만 아니라, 미약한 수준이지만 티타늄이 다른 치과용 합금과 타액을 통해서 접촉하거나¹²⁾, 불소와 접촉할 때 부식이 일어난다는 점이 알려져 있다¹³⁾. 또한 표면의 티타늄산화물 (TiO₂)의 경우 인간의 면역세포를 활성화할 수 있으며, 결과적으로 독성을 띠는 자유기를 발생시킨다¹⁴⁾. 한편, 몇몇 연구에서는 한정된 환자군에게 과민성 반응을 일으킬 수 있다고 보고하고 있으며, 이러한 생물학적 문제들이 예기치 않은 티타늄 임플란트의 실패와 관련이 있다는 추측도 있다¹⁵⁾. 여기에 더해 단순한 금속 자체에 대한 심리적인 거부감 또한 단점 중 하나로 지적된다.

2. 문헌 연구 추세

2014년 8월 8일 현재 키워드를 “Zirconia implant”로 두고 Pubmed search를 해보면 총 638개의 문헌이 검색되고, 이는 2012년 9월 400개,

2013년 11월 555개였음을 감안할 때, 이 주제에 관한 연구가 최근 폭증하고 있음을 알 수 있다. 축적된 데이터를 바탕으로 몇몇 훌륭한 review paper들^{16~20)}도 찾아 볼 수 있다. 다만, 위의 검색 키워드를 통해서 찾을 수 있는 논문들 중 다수는 아직도 zirconia 소재의 implant 보다는 abutment 혹은 상부 보철물에 관한 것들이 더 많다는 점은 고려해야 될 점이다.

이들 연구를 in vitro experiments, animal experiments, human clinical trials 등으로 분류해 볼 수 있는데, 수많은 in vitro experiments를 통해 지르코니아 소재의 티타늄 소재 대체 가능성들이 입증되었고, 나아가 다양한 처리를 통해 osseointegration을 증진 시키는 방법들이 세포 수준 등에서 가능성으로 검증되어 지고 있다. 이 분야에 관한 내용은 방대할 뿐만 아니라 본 원고의 범위를 넘어서므로 생략하도록 한다.

한편 티타늄 임플란트와 지르코니아 임플란트를 비교한 동물 실험과 임상 실험들의 결과를 임상가들의 임플란트 선택에 있어 시사하는 바가 있으므로 가장 최근의 연구들을 중심으로 간략히 살펴보기로 한다. 2014년에 발표된 Manzano 등²⁰⁾의 보고에 의하면, 총 19건의 동물 실험 연구(minipig, rabbit, rat, monkey, sheep 그리고 dog 사용)에서 지르코니아 임플란트와 티타늄 임플란트를 일반적인 조건에서 비교하여 bone to implant contact(BIC)와 removal torque 수치를 측정하였는데, 대부분의 연구에서 지르코니아와 티타늄 임플란트 간의 유의성 있는 차이를 볼 수 없었다고 한다. 특기할 만한 사실은 이들 연구 중 오직 한 연구를 제외하고는 하중을 가하지 않은 상태에서 측정된 것으로, 임상 상황을 정확히 반영한다기 보다는 초기 골반응이나 osseointegration의 정도를 비교한 것으로 해석할 수 있다. 재미있는 사실은 지르코니아 임플란트 역시 티타늄 임플란트와 마찬가지로 표면 가공을 통해 보다 거친 표면을 가진 임플란트의 경우가 두 가지 지표에서 보다 높은 수치를 보였으며, 저자들은 향후 후속 연구가 필요하

긴 하지만, 표면 처리된 지르코니아 임플란트의 경우는 티타늄 임플란트의 성공적인 대체재로서의 가능성이 있다는 결론을 조심스레 내리고 있다. 그러나 지르코니아의 경우는 오랜 기간 동안 연구되어 있는 티타늄에 경우에 비해 표면 가공의 방법에 대한 연구가 아직 부족하고, 게다가 표면특성상 기존의 방법으로 여의치 않은 부분들이 많아 표면개량에 관한 연구들이 현재 핫 이슈를 점유하고 있다.

역시 2014년에 발표된 Depprich 등¹⁹⁾의 임상 연구 비교에 의하면 총 17건의 연구에서 1274명의 환자 1675개의 임플란트를 추적 조사한 결과 12개월에서 56개월에 이르는 기간 동안의 생존률은 74~98% 이고, 보철물 연결 후 6~12개월 경과 시의 성공률은 79.6%~91.6%로 보고하고 있다. 다만 이들 연구의 디자인에는 상당한 문제점을 포함하고 있는 경우들이 있어 evidence level은 낮다고 첨언하고 있다. 이상의 결과를 토대로 저자들은 아직까지 지르코니아 임플란트의 성공률 혹은 생존률은 티타늄 임플란트에 비해 다소 낮다고 결론 내릴 수 있으며, 보다 신빙성 있는 결론을 내리기 위해서는 장기간의 잘 계획된 연구가 절실히 필요하다고 주장하고 있다.

3. 지르코니아 임플란트의 시장 상황과 문제점

지르코니아 임플란트의 상위 개념이라고 할 수 있는 Ceramic implant의 임상 적용은 오히려 티타늄 임플란트 이전인 1930년대에 보고되었고, 70년대 이후 Tubingen implant의 Frialit I(Friadent, Mannheim, Germany), Bioceram(Kyocera, Kyoto, Japan) 등의 브랜드로 시판되기도 하였다. Aluminium oxide가 주 성분이었던 이들은 장기적인 안정성 면에서 결국 문제를 드러내면서 티타늄 임플란트에 밀려 시장에서 사라졌는데, 아마도 언제 파절이 일어날지 모른다는 치과의사들의 걱정이 이 임플란트의 사장 원인이었을 거라는 추측도 있다²¹⁾.

현재 상업적으로 지르코니아 임플란트를 출시하고 있는 제조사들은 대부분 유럽계 회사 들이며, 자금력이나 연구력의 규모에서 다소 영세한 소규모 회사들로 볼 수 있다(Table 1). 이들 중 임상 연구에 발표된 적이 있는 것들로는 독일의 Z-system, Ziterion system, 그리고 스페인의 Ceraroot system을 들 수 있고, 일부 임상 연구에서는 상업용으로 출시된 제품이 아닌 Custom made implant를 사용하기도 하였다. 스페인의 Ceraroot system의 경우, Oliva 등에 의해 831개 임플란트의 5년간 성공률이 보고된 바가 있다¹⁹⁾.

한편, 최대 시장인 미국의 경우 FDA 승인 절차 등의 문제로 비교적 도입이 늦어진 편인데 현재 Z-system이 승인을 얻어 시판 중인 것으로 알려져 있다. 메이저 제조사들의 경우 아직 시판은 하고 있지 않지만, 다양한 연구를 진행 중인 것으로 파악되며, 그 중 하나로 Nobelbiocare의 ZiUnite 표면이 논문에 보고된 바 있다²²⁾.

지르코니아 임플란트의 보급이 아직까지 미미한 이유는 아마도 이미 익숙해져 있는 티타늄 임플란트 시스템을 교체해야 할 만한 결정적 이유를 못 만났기 때문일 것이다. 또, 현재까지 발표된 부족한 데이터들만으로는 지르코니아 임플란트 시스템에 대한 확신을 가지기 어려운 점도 들 수 있다. 그리고, 마땅한 공급처 등의 부재도 그 요인이 될 수 있겠다. 그러나, 무엇보다도 지르코니아 임플란트의 상용화가 성공적으로 이루어지기 위해서 해결해야 될 과제 중의 하나는 Connection의 문제라고 할 수 있겠다²³⁾.

전술된 Depprich 등¹⁹⁾의 보고에서 언급된 총 17개의 임상 연구 중에서 2-piece 임플란트를 사용한 연구는 단 한 건에 불과하였고, 여태까지 대부분의 임플란트들은 one-piece 형태인데, 이러한 타입이 가지는 단점은 지르코니아 임플란트를 광범위하게 적용하는 데 현저한 장애물로 존재한다. 즉, 치유 과정 중에서 load free condition을 유지하기가 어렵고, 보철적 선택에 있어 상당한 제한을 받으며, 응력 분산에 불

리할 뿐 아니라, 일부 연구에 의하면 최종 보철 장착을 위한 삭제가 지르코니아의 상변화를 일으키거나 미세 균열을 발생시킬 가능성도 제기되고 있다. 한편 최근 발표된 Payer 등²³⁾의 연구에서 2-piece 지르코니아 임플란트의 2-piece 티타늄 임플란트와의 예후비교에서 유의성 있는 차이가 없었다는 긍정적인 보고가 있었다.

Ⅲ. 자연치형 지르코니아 임플란트

1. 개념 확립과 기존의 연구

약 5,500년 전 신석기 시대 제작 되었을 것으로 추정되는 치아 형 조각이 이집트에서 발굴된 사실이 Intenational Journal of Oral and Maxillofacial Implants에 게재된 적이 있다²⁴⁾. 재료는 홍해 산 조개껍질로 추정되는데, 이 조각의 용도를 정확히 알 수 없지만, 이미 그 시대에도 상실된 치아를 인공치아로 대체해 보려는 노력이 있었을 가능성이 있다. 이러한 아이디어는 매우 단순하여 누구라도 한번쯤 생각해 보았음직 한데, 저자들의 경우 자연치형 지르코니아 임플란트 개발 연구를 시작하게 된 것은 Cone beam Computed Tomography(CBCT), 삼차원 모델링, CAD/CAM(Computer-aided design/

Computer-aided manufacturing) 그리고 Rapid prototyping 등의 첨단 기술을 이용한 몇 번의 자연치아 이식 혹은 재식 사례들^{25, 26)}을 통해 아이디어를 얻고 나서였으며, 이와는 별도로 Pirker 등²⁷⁾이 거의 유사한 아이디어로 자연치형 지르코니아 임플란트의 증례 및 추적 연구를 먼저 발표하였다.

2. 프로토콜

Pirker 등²⁷⁾의 연구에서 사용한 방식을 정리해 보면 다음과 같다. 먼저 발거 대상 치아를 먼저 조심스럽게 발거한 다음 발치창은 일주일간 치유시키고, 그 동안 발거한 치아를 모델로 열쇠 복제와 유사한 방식인 MAD/MAM(Manually-assisted design/Manually-assisted manufacturing)으로 지르코니아 소재를 가공하여 자연치형 임플란트를 제작해 둔 후, 식립일에 조심스럽게 발치창에 제작된 자연치형 지르코니아 임플란트를 식립하여 치유시키는 방식이다.

한편 저자들이 고안한 프로토콜은 다소 다른 점이 있다. 진단 시 발거 대상 치아를 주변 치조골을 포함하여 CBCT촬영을 한 다음 CBCT 영상에서 발거대상 치아의 치근 부위를 추출해 내고, CAD 기술을 활용하여 추출한 이미지에 상부 구조 및 치근 부위의 필요한 디자인 요소를 삼차원 모델링 한 후 CAM 기술로 절삭 가공하여 발치 전 미리 임플란트를 제작해 둔다.

Table 1. Commercially available zirconial implant systems

출시국가	제품명
스위스	Sigma implant (Sandhause, Incermed, Lausanne, Switzerland)
일본	Goei system (Goei Inc., Akitsu-Hiroshima, Japan)
스페인	Ceraroot system (Barcelona, Spain)
독일	Relmplant system (Hagen, Germany)
	White Sky system (Bredent Medical, Senden, Germany)
	Konus system (Konus Dental, Bingen, Germany)
	Ziterion system (Uffenheim, Germany)
	Z-systems (Konstanz, Germany)

임상가를 위한 특집2

이 후 약속된 시술 당일 해당 치아의 발거와 동시에 준비해둔 임플란트를 식립하는 즉시 식립 방식이다 (Fig. 1).

이러한 차이점을 통해서 시술 횟수를 줄일 수 있는 점과 발치창 주위 골 상황을 미리 고려하여 임플란트의 설계에 다양한 변화를 줄 수 있는 점, 대구치 부위 등에서 필요할 경우 2-piece connection으로 설계할 수 있는 장점 등을 가진다. 또, 비교적 발치과정에 있어서 발생할 수 있는 치근의 파절 등이 최종 결과에 미치는 영향이 적다.

3. 진행된 연구와 해결해야 할 과제

비글견 실험을 통해 상기 언급된 프로토콜을 사용한 즉시 식립 자연치형 지르코니아 임플란트 술식의 가능성을 확인하였으며, 현재 보다 안정적이고 예지 가능

한 치료 기법으로서 개선 과정 중에 있다(Fig. 2).

먼저 전술한 바와 같이 지르코니아 임플란트는 적절한 표면 처리 없이는 매끄러운 상태이며, 이는 osseointegration에 결코 유리하지 않다. 이러한 점은 기존의 screw type 지르코니아 임플란트에서 이미 확인된 바와 같다. 우수한 osseointegration을 얻기 위해서는 지르코니아 임플란트의 표면에 적절한 거칠기를 부여해야 하는 데, 이를 위해서 최적의 방법을 찾아내는 것이 선결과제라고 할 수 있다. 연구 기간 중 Etching, sandblasting, coating, cold plasma treatment, primer treatment 등 다양한 표면 처리 기법들이 연구되었으며, 희망적인 결과를 보여 주었다^{28~30)}.

더불어 자연치형 지르코니아 임플란트의 성공적인 osseointegration을 위해서는 초기 고정이 매우 중요한데, 자연치의 치근에는 이러한 요소들이 결여되

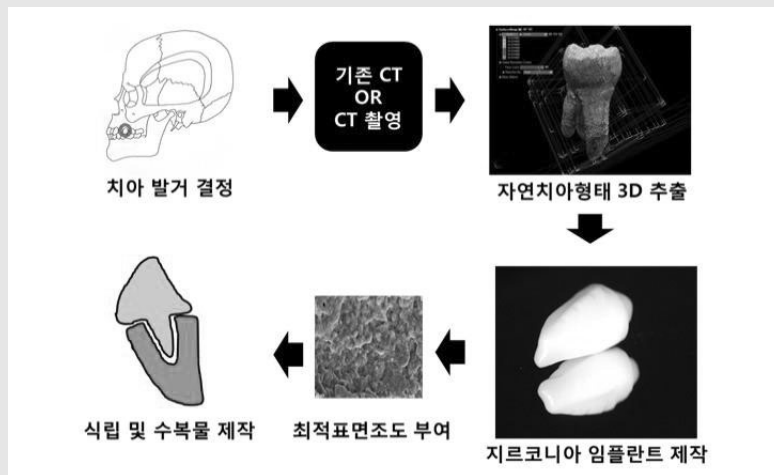


Fig 1. Immediate implantation type natural form zirconia implant protocol.

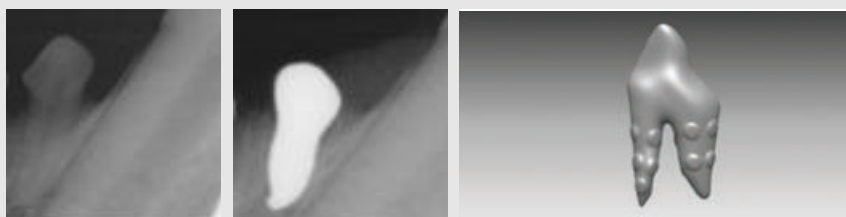


Fig 2. The results of pilot animal experiments and 3D modeling of retention elements in root of beagle dog

어 있으므로 동일한 복제로는 초기 고정을 얻기 어려운 점이 있다. 또한 screw type의 retention 유지 도구를 적용할 수 없기 때문에 다양한 디자인 요소를 유한요소 분석 혹은 응력 실험을 통해서 실험 중이다 (Fig. 2).

IV. 총괄 및 고안

티타늄 임플란트를 이용한 상실 치아의 수복 치료는 가철성 의치의 단점인 불편함과 이물감이 없으며, 고정식 의치의 시술 과정에 수반되는 자연치 삭제를 피할 수 있는 장점을 통해 시술자나 환자 양측 모두의 열렬한 지지를 받아 왔다. 이제 치과용 임플란트의 사용은 매일의 임상에서 상실 치아 수복 증례의 보편적 선택지가 되어 가고 있다. 그러나, 한편으로는 고급 치료 기법 혹은 첨단 치료 기법으로서의 위상은 점차 잃어가고 있는 실정이다. 저작 기능 회복, 자연스러운 심미성에 더해 급격히 높아진 환자들의 기대치에 부응하는 성공적인 치료를 위해서는 신중한 증례 선택, 꼼꼼한 치료 계획 수립, 그리고 기본에 충실한 진료가 필수적임은 두말할 필요가 없다. 그리고, 최상의 진료 결과를 얻기 위해 임플란트의 표면과 디자인을 개선하는 다양한 연구들이 뒷받침되고 있다.

앞으로도 우수한 조직 반응, 치료 기간의 단축, 그

리고 심미성의 개선으로 요약되는 기존 연구의 주제들에 대한 연구는 계속되어야 함은 물론이다. 그러나 동시에, 서서히 기술 개발의 완숙기에 접어들고 있는 지금은, 보편적 치료를 넘어서 환자 맞춤형 치료로의 패러다임의 전환을 모색해 볼만한 시기가 아닌가 생각된다. 저자들이 연구 개발 중인 자연치형 지르코니아 임플란트 술식은 그런 가능성 중 하나로 생각할 수 있으며, 향후 보다 진보된 줄기세포를 이용한 자가치아 배양 후 이식 술식의 가교가 될 수 있을 것으로 기대한다.

한편, 지금까지 진행된 screw type 지르코니아 임플란트의 연구 결과의 해석에 있어서도 고려해 볼만한 점이 있다. 대다수의 체계적 고찰 형식의 논문들의 결론과 동일 선상에서 충분한 증거력을 확보한 자료의 부족으로 명쾌한 결론을 내리지 못하고 있으나, 지르코니아 임플란트의 성공률은 거의 티타늄 임플란트의 성공률에 접근하고 있다. 하지만 그 증거력은 아직도 상당히 불충분한 수준으로 보아야 할 것이다. 따라서 아직 지르코니아 임플란트를 티타늄 임플란트의 대체재로 보는 것은 다소 시기상조라고 할 수 있다. 그럼에도 미묘한 개선조차도 중요시하는 임상가들에게 있어서 적절한 케이스에 한해 훌륭한 보완재로 생각할 수 있는 단계는 되지 않았나 생각해 본다. 이것은 마치 자동차를 출퇴근 수단으로만 한정하느냐 그 이상으로 생각하느냐의 문제와 비슷하다.

참 고 문 헌

1. Steinemann SG. Titanium—the material of choice? *Periodontol* 2000 1998;17:7-21
2. Le Guéhennec L, Soueidan A, Layrolle P, Amouriq Y. Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration. *Dent Mater* 2007;23:844-854.
3. Sicilia A, Cuesta S, Coma G, Arregui I, Guisasola C, Ruiz E, Maestro A. Titanium allergy in dental implant patients: a clinical study on 1500 consecutive patients. *Clin Oral Implants Res*. 2008 Aug;19(8):823-835.
4. Tschernitschek H, Borchers L, Geurtsen W. Nonalloyed titanium as a bioinert metal—a review. *Quintessence Int* 2005;36:523-530.
5. Gittens RA, Olivares-Navarrete R, Tannenbaum R, Boyan BD, Schwartz Z. Electrical implications of corrosion for osseointegration of titanium implants. *J Dent Res* 2011;90:1389-1397.
6. Weingart DL, Steinemann S, Schilli W, Strub JR, Hellerich U, Assenmacher J, Simpson J. Titanium deposition in regional lymph nodes after insertion of titanium screw implants in maxillofacial region. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1994;23:450-452.
7. Brüll F, van Winkelhoff AJ, Cune MS. Zirconia dental implants: a clinical, radiographic, and microbiologic evaluation up to 3 years. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29:914-20.
8. Ekelund JA, Lindquist LW, Carlsson GE, Jemt T. Implant treatment in the edentulous mandible: A prospective study on Brånemark System implants over more than 20 years. *Int J Prosthodont* 2003;16:602-608.
9. van Brakel R, Noordmans HJ, Frenken J, de Roode R, de Wit GC, Cune MS. The effect of zirconia and titanium implant abutments on light reflection of the supporting soft tissues. *Clin Oral Implants Res* 2011;22:1172-1178.
10. Schliephake H, Neukam FW, Urban R. Titanbelastung parenchymatöser Organe nach Insertion von Titanschraubenimplantaten. Erste Ergebnisse. *Z Zahnärztl Implantol* 1989;5:180-184.
11. Bianco PD, Ducheyne P, Cuckler JM. Local accumulation of titanium released from a titanium implant in the absence of wear. *J Biomed Mater Res* 1996;31:227-234.
12. Reclaru L, Meyer JM. Study of corrosion between a titanium implant and dental alloys. *J Dent* 1994; 22:159-168.
13. Toumelin-Chemla F, Rouelle F, Burdairon G. Corrosive properties of fluoride-containing odontologic gels against titanium. *J Dent* 1996; 24:109-115.
14. Hedenborg M. Titanium dioxide induced chemiluminescence of human polymorphonuclear leukocytes. *Int Arch Occup Environ Health* 1988; 61:1-6.
15. Javed F, Al-Hezaimi K, Almas K, Romanos GE. Is titanium sensitivity associated with allergic reactions in patients with dental implants? A systematic review. *Clin Implant Dent Relat Res* 2013;15:47-52.
16. Wentz HJ, Bartsch J, Wolfart S, Kern M. Osseointegration and clinical success of zirconia dental implants: a systematic review. *Int J Prosthodont* 2001;21:27-36.
17. Ozkurt Z, Kazazoglu E. Zirconia dental implants: a literature review. *J Oral Implantol* 2011;37:367-376.
18. Andreiotelli M, Wenz HJ, Kohal RJ. Are ceramic implants a viable alternative to titanium implants? A systematic literature review. *Clin Oral Implants Res* 2009;20(Suppl 4):32-47.
19. Depprich R, Naujoks C, Ommerborn M, Schwarz F, Kübler NR, Handschel J. Current findings regarding zirconia implants. 2014;16:124-137.
20. Manzano G, Herrero LR, Montero J. Comparison of clinical performance of zirconia implants and titanium implants in animal models: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29:311-320.
21. Kohal RJ, Att W, Bachle M, Butz F. Ceramic abutments and ceramic oral implants. An update. *Periodontol* 2000 2008;47:224-243.
22. Lee J, Sieweke JH, Rodriguez NA, Schüpbach P, Lindström H, Susin C, Wikesjö UM. Evaluation of nano-technology-modified zirconia oral implants: a study in rabbits. *J Clin Periodontol*. 2009;36:610-7.
23. Payer M, Heschl A, Koller M, Arnetzl G, Lorenzoni M, Jakse N. All-ceramic restoration of zirconia two-piece implants—a randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res* 2014 Feb 6 [Epub ahead of print]
24. Irish JD. A 5,500 year old artificial human tooth from Egypt: a historical note. *Int J Oral Maxillofac*

참 고 문 헌

- Implants. 2004;19:645-7.
25. Park YS, Jung MH, Shon WJ. Autotransplantation of a displaced mandibular second premolar to its normal position. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;143:274-80.
 26. Park YS, Baek SH, Lee WC, Kum KY, Shon WJ. Autotransplantation with simultaneous sinus floor elevation. *J Endod.* 2012;38:121-4.
 27. Pirker W, Kocher A. Immediate, non-submerged, root-analogue zirconia implants placed into single-rooted extraction sockets: 2-year follow-up of a clinical study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009;38:1127-1132.
 28. Park YS, Chung SH, Shon WJ. Peri-implant bone formation and surface characteristics of rough surface zirconia implants manufactured by powder injection molding technique in rabbit tibiae. *Clin Oral Implants Res* 2013;24:586-91.
 29. Chung SH, Kim HK, Shon WJ, Park YS. Peri-implant bone formations around (Ti,Zr)O₂ - coated zirconia implants with different surface roughness. *J Clin Periodontol* 2013;40:404-11.
 30. Shon WJ, Chung SH, Kim HK, Han GJ, Cho BH, Park YS. Peri-implant bone formation of non-thermal atmospheric pressure plasma-treated zirconia implants with different surface roughness in rabbit tibiae. *Clin Oral Implants Res* 2014;25:573-9.