

치과생체재료 연구의 현황과 전망

김철위 · 이용근

서울대학교 치과대학 치과생체재료학 교실 및 치학연구소
(1998년 8월 14일 접수, 1999년 6월 30일 채택)

Recent Research Trend and Future Direction in Dental Biomaterials

C.W. Kim, Y.K. Lee

Dept. of Dental Biomaterials and Dental Research Institute, College of Dentistry, Seoul National University
(Received August 14, 1998, Accepted June 30, 1998)

요약: 현재의 치과생체재료학의 연구현황을 분석하고 새로운 천년의 연구방향을 전망하기 위한 본 글로는, 지금까지 발표된 치과생체재료학 분야의 연구를 요약하고 향후 발전 방향을 예측한 여러 의견을 제시하고자 하며 각 재료와 특성별로 앞으로의 연구방향을 설정하고자 한다.

연구성과 및 21 세기의 예측

1900년 인간의 수명은 45세에 불과 하였으나 21세기를 목전에 둔 현재는 80세에 이르고 있다. 1900년의 인간의 주요 질병이나 사망원인은 급성 감염성 질환이었으나 현재는 바이러스 감염이나 종양, 만성 질환 등으로 보고하고 있다. 미국에서는 매 시간마다 1인이 구상에 발생한 증상으로 사망한다고 하며, 2010년에는 65세 이상의 고령인구가 4천만 이상이 되어 삶의 질을 향상하기 위한 노력은 더욱 증가할 것으로 예견하고 있다.

20세기 치의학은 기초과학 연구와 교육 투자를 통하여 치아우식에 대한 병인론적, 병리적인 발견을 하였고 상수도수 불소화 등으로 치아우식 감소를 가져왔다. 현재 미국에서는 50% 이상의 아동들이 영구치에서 충치불 경험하지 않고 있으며, 무치악 상태는 10% 이하인 것으로 보고하고 있다.

21세기에 추구하여야 할 치의학의 방향은 유전적 질환, 감염성 질환 및 증양성이거나 만성적인 악안면-구강-치아의 질병을 최소화하고, 뼈, 인공, 백악질, 상아질, 범방질과 그 외 악안면 영역 조직의 치료 및 수복을 할 수 있는 새로운 재료나 치아를

강화할 수 있는 새로운 물질을 개발하는 것이다.

미국 NIH 의 NIDCR 의 소장인 Dr. H. Slavkin은 "21세기의 구강보건 관리는 어떻게 변화할 것인가?" 라는 보고에서 20세기에 이룬 치의학의 발전을 요약하였다. 20세기에는 미국의 치의학 교육기관이 사실 교육기관에서 연구중심의 진보 교육기관으로 발전하였으며, 그 결과 구강 질환의 진단, 치료, 예방에 관하여 전문적인 교육을 시행하여 구강보건을 향상할 수 있는 과학적인 근거를 갖게 되었으며, 또한 치과재료의 발전과 병행하여 치료 술식도 눈부시게 발전하였다고 하였다. 그가 제시한 21세기의 치의학은,

- 1) 치과치료를 포괄적인 건강관리에 포함하며
- 2) 보건 향상에 주안심을 두고
- 3) 발달된 지식 및 컴퓨터를 이용한 진단 및 치료를 행하며
- 4) 유전자를 이용한 치료 및 사회보건 향상 프로그램 등을 이용하여 하게 될 것이라고 예견하였다 [1].

Makoto Nakao 는 21세기 일본 치의학의 발전 방향을 5가지로 요약하였는데 그 내용을 보면,

- 1) 치주질환, 심미수복, 임플란트 등과 같은 기능적 수복과 악관절 관련 치료를 이전보다 더 널리 시술하게 될 것이고
- 2) 정확하고 객관적인 진단을 위한 과학적이고 개량된 진단장비를 더 많이 사용하며
- 3) 치과치료와 기공에서 자동화가 많이 이루어져 이에 따른 고도로 숙련된 인력이 필요할 것이며

4) 세계화에 따라 모든 국가에서 동일한 내용의 치료를 받을 수 있을 것이고

5) 구강상태와 신체의 관계는 현재보다 더 주의 깊게 고려하게 될 것 등으로 요약하고 있다.

1920 년대부터 시작한 치과생체재료에 관한 초기 연구는 생물학적 특성보다 물성만을 지나치게 중요하게 다루었으며, 19 세기에 개발된 재료를 그대로 사용하였다. 1950~1960 년대에 이르러 생체적합성 및 접착에 관한 새로운 개념을 치의학계에 도입하면서 치과생체재료에 관한 접근방식도 변화하였는데, 이 시기의 특징은 치과생체재료를 연구하는 사람과 사용자 사이에 긴밀한 공동연구로 치과생체재료학의 발전을 이루었다는 점이다.

이 시기 이후 글라스아이오노머 등 많은 신재료를 개발하게 되었다. Hench는 현재의 생체활성 재료로 만든 치과 보철물의 수명은 약 15 년 정도인데, 생체활성재료로 만든 수복물은 수명이 이보다 증가할 수 있으나 기계적인 성질이 낮은 분체가 있다고 하였다 [2]. 접착치과학의 발전과 아울러 치질 상화를 목적으로 하는 불소 사용의 증가로 G. V. Black 이 설정한 와동 분류방법을 변경할 필요성이 대두되었다. 자아 수복 방법을 절정하는데 기본이 되는 치아에 생긴 와동을 분류하는 방법에 관하여 Mount 와 Hume은 불소 사용의 증가로 법랑질, 상아질이 재석회화 될 가능성이 높아졌으며 그 결과 어느 정도 치아의 보존이 가능해졌으며 이를 이용하여 자연치질을 최대로 보존하면서 치아의 자연 치유력을 극대화 할 수 있는 와동 분류법을 소개하였다 [3]. 와동을 형성하는 방법에서도 혁신적인 방법을 소개하였는데, 공기분사(air abrasion) 연마 방법 및 레이저를 이용하는 방법을 향후 널리 사용하게 될 것이다. 공기분사방법으로 우식치질을 제거하는 방법은 우식부위만을 제거하고 그 외 부위는 봉쇄하여 우식이 진행하지 않도록 하는 방법으로, 21 세기에는 치과수복에서 주요한 부분을 차지하게 될 것이다 [4, 5].

과거에는 인간의 수명이 짧았기 때문에 조식이 손상을 받으면 손상된 조직을 제거하는 방법을 주로 적용하였고 제거된 조직부위를 수복하여야 할 필요성은 적었다. 그러나 지난 세기에 방부제, 페니실린 등의 항생제, 상수의 화학처리, 위생의 향상 및 백신의 발견 등으로 인간 생존율은 크게 증가하였다.

새로운 재료와 기술을 실제로 사용하기까지는 많은 시간을 요구한다. 현재 사용하는 많은 재료의 기본개념은 35~40 년 전부터 연구한 것이며, 어떤 유형의 제품을 향상하기 위하여는 원래 개념을 활용하여 지속적인 제품을 개발하여 시판하고 평가하는 것이 중요하다.

조식을 성공적으로 대체하는 획기적인 방법을 약 30 년 전쯤부터 의료계에서 사용하기 시작하였는데 조직이식과 임프란트 방법이다. 이 분류에 따르면 치과수복 분야에서는 주로 임프란트 방법을 사용하는데, 치과 수복의 경우도 치아 조직 이외에 임프란트를 할 때 발생하는 문제와 유사한 문제와 특성이 있을 것이다. 다른 분야의 임프란트 재료와 마찬가지로 치과용 수복재의 경우도 제조방법의 개선, 국제적인 표준화, 성부의 규제,

품질을 확인하는 시험 등으로 기계적 실패의 가능성은 현저하게 감소하였다. 그러나 현재 사용하는 대부분 임프란트는 생체조직과의 인접 면에서의 안정성의 문제, 생체와의 탄성계수의 차이에 의한 무조화, 마모 및 부산물의 생성 등의 문제가 있으며 치과용 수복재의 경우도 유사한 문제를 보이고 있다.

다음 세기의 생체재료연구의 방향은 신체의 재생능력을 돕거나 증진하는 재료를 개발하는 것이다. 이때 조직의 재생은,

- 1) 조식구조의 재건
- 2) 기능의 재건
- 3) 신진대사와 생화학적 기능의 재건

4) 생체역학적 기능의 회복 등을 포함하는 개념으로 이 연구는 자가이식과 같은 방법으로 반응하는 재생성이 있는 생체재료를 찾는 것이다. 발육생물학, 유전공학, 세포-조직공학, 영상과 진단 및 미세수술 분야 등의 현저한 발전에 기초하여 연구가 이루어지게 될 것이다.

국내의 연구 현황

1946 년 광복이후 1998 년까지 우리 나라에서 발표된 치과생체재료학의 관련 연구를 원시틀 중심으로 정리하면 모두 1,127 편의 논문이 발표되었다. 이 논문들은 금속과 합금, 무기재료, 유기재료 및 생물학과 관련된 연구의 4 분야로 나눌 수 있는데 이 중 유기재료 관련 연구가 전체의 33.8 %를 차지하여 가장 많은 연구를 발표한 분야로 나타났다. 유기재료에 관한 연구 중 최근에는 상아질 결합제와 그 외 결합용 체제에 관한 연구를 활발하게 이루고 있음을 알 수 있었고, 생물학과 연관된 분야에서는 임프란트에 관한 연구를 활발하게 이루었다 (표 1).

해외의 연구현황

1997 년부터 1999 년까지 최근 3 년간 국제치과연구학회(IADR)에서 발표한 논문을 분석한 결과는 표 2 와 같다. 1997 년은 모두 3,510 편의 발표 연재중 764 편이 치과생체재료학 관련 논문이었고, 1998 년은 3,226 편중 604 편, 1999 년은 3,605 편중 766 편이 치과생체재료학 관련 논문이었다. 3 년을 평균한 결과 전체 발표 연재중 20.64 %가 치과생체재료학 관련 논문이었다.

이를 다시 소주제 별로 분류하여 보면 1997 년은 콤포짓트 레진에 관한 연재가 가장 많았고 이어 접착, 상아질 결합제 순의 많은 연재가 발표되었다. 1998 년에도 콤포짓트 레진에 관한 연재가 가장 많았고 이어 결합, 생체재료 순으로 생체재료에 관한 비중이 증가하고 있음을 알 수 있었다. 1999 년에도 콤포짓트 레진에 관한 연재가 가장 많았고 이어 결합, 상아질 결합제 순으로 연재를 발표하였으며 생체재료에 관한 연구결과도 지속식으로 증가하고 있었다.

표 1. 국내의 치과생체재료 관련 논문 발표 현황

Groups	Subgroups	Published papers
Metal and alloys	PFM alloys	96
	Precious metals	36
	Nonprecious metals	69
	Amalgams	80
	Tarnish and corrosion	24
	<i>Total</i>	305 (27.1 %)
Inorganic dental biomaterials	Gypsum products	7
	Investments	8
	Cements/liner	141
	Porcelain	24
	Endodontic materials	35
	<i>Total</i>	215 (19.1 %)
Organic dental biomaterials	Denture base	54
	Composites	168
	Waxes	3
	Impressions	43
	Adhesive	113
	<i>Total</i>	381 (33.8 %)
Biological studies	<i>Biocompatibility</i>	30
	Soft/hard tissue	81
	Implants	89
	Microleakage	26
	<i>Total</i>	226 (20.1 %)

수복재료 분야

수복재료 분야는 콤포지트 레진, 글라스아이오노머, 세라믹 등 수복재료와 이 재료들을 치아와 결합하는 결합제에 관한 분야로 나눌 수 있다.

Maruyama가 제시한 21 세기 심미수복의 목표는 형태와 기능의 조화를 통한 건강하고 아름다운 수복을 하는 것이다. 형태학적 아름다움은 세라믹-금속 수복물, 전부 세라믹 수복물, 라미네이트 비니어 등의 수복물을 이용하거나, 치아표백 및 부정 교합의 치료로 이를 수 있다. 기능적인 아름다움은 악구강계 기관의 저작, 발음, 구개안면 안정성 등의 기능을 향상함으로 얻을 수 있다 [6].

21 세기의 심미치과학은 현재 중점을 두고 있는 형태학적인 아름다움 위에 기능적 아름다움을 더하여 진정한 건강한 아름다움을 추구하여야 한다. 수복물 제작시 심미성, 생체적합성, 사용기간을 고려하여야 한다. 향후 수복영역의 발전을 예측하면 최소 수십 년이 요구되겠지만 치아를 수복하는 비율은 점차 감소할 것이고 다음과 같은 변화를 예상할 수 있다 [7].

- 1) 정확한 진단과 치아우식의 비수복적 방법에 의한 처치 및

치료가 증가할 것이다.

- 2) 기존 수복물의 수명이 현저하게 증가할 것이다.
- 3) 치료의 일부로 수복물을 사용하는 비율은 감소할 것이다.
- 4) 우식부를 수복할 때 수복을 시작하게 되는 와동의 크기는 점차 줄어들 것이다.

규격제정

새로운 치과생체재료의 규격을 제정하는 것은 어려운 일로 우선 새로운 재료가 치과영역에서 장기간 사용이 가능한가의 여부를 평가하여야 한다. 그 후 실험실 시험 결과와 실제 사용할 때의 결과가 일치하도록 시험방법을 고안하여야 하는데, 수복재의 특성을 관찰하고 이에 따른 물리적 및 기계적 시험방법을 고안하여 규격을 만들게 된다.

규격에는 조작특성, 물리 및 기계적 특성, 보존기간, 생체적합성 등을 포함한다. 치과용 아말감 수복물의 평가항목은 변연적합성, 표면구조, 마모, 변색 등이며 심미수복물의 평가항목은 색조화, 인설면 변색, 2 차 우식, 마모 및 변연적합성 등이다.

콤포지트 레진

현재 사용하고 있는 콤포지트 레진의 경우 중합수축이 문제인데 이를 조절하기 위한 기초과학적인 연구를 진행하고 있다. 중합수축 문제를 해결하여도 치아와 충전제의 열팽창계수의 차이로 와동의 변연에 틈이 발생할 수 있는데 이 문제를 해결하기 위하여 충전제의 열팽창계수를 낮추거나 팽창을 하는 재료를 개발하는 등 여러 방법을 제안하였다.

상아질과의 결합을 위하여 좀 더 단순하고 사용방법에 민감하지 않은 방법을 개발하여야 하며 충전제 사체에 보논 결합기전이 포함되어 있어 계면처리 등의 시술단계가 필요 없는 방법을 개발하여야 한다.

지난 수년간 교합면 수복재료로서 세라믹을 대체할 수 있는 치과용 폴리머에 관한 연구를 하였으나 아식도 폴리머의 내마모성은 부족하다. 세라믹의 경우는 대합치를 마모하는 문제가 있으며 최근 연구성과를 통하여 이를 어느 정도 보완할 수 있는 연구를 이루었다. Lemfelder 는 PRIMM 이라는 새로운 형태의 필러를 소개하였는데 이는 3 차원의 소결된 유리 섬유를 기존 콤포지트 레진에 첨가하는 방식으로 경화수축을 최소화 하고 마모저항성을 높이는 특성이 있다 [8]. Nie 등은 기존 콤포지트 레진의 시실로 사용하고 있는 Bis-GMA 나 UDMA 를 대체할 수 있는 isocyanurate 또는 triacrylate 레진을 소개 하였으며 [9], 중합개시제의 개량에 관한 연구로 Davidenko 등은 광중합형 지면연구전색제의 공-중합개시제로 N,N,3,5-tetramethylaniline (TMA) 또는 N,N-dimethyl-p-toluidine (DMPT) 을 첨가하는 방법도 소개하였다 [10].

향후는 최최의 세라믹 필러를 첨가한 콤포지트 레진과 실유강화형 구조물 (Ceromer/FRC) 을 이용하여 심미적으로 전치와 구치를 수복할 수 있을 것으로 보인다 [11]. Behr 등은 세라믹

표 2. 국제치과연구학회 (IADR) 의 치과생체재료 관련 논문발표 현황

Subgroups	Year	1997	1998	1999	Total ratio for 3 years (%)
Total presented paper		3,510	3,226	3,605	
Dental materials		764	604	766	20.64
(Ratio, %)		(21.77)	(18.72)	(21.25)	
Acid etch		75	64	94	3.50
Acrylics		50	30	35	1.73
Adhesion		291	229	299	12.30
Alloys		53	41	55	2.24
Amalgams		69	50	50	2.54
Biocompatibility		46	66	58	2.55
Bioengineering		31	21	54	1.59
Biomaterials		180	161	206	8.21
Biomechanics		65	48	61	2.61
Bleach		25	12	28	0.98
Castings		29	29	30	1.32
Cements		78	96	80	3.81
Ceramics		144	113	114	5.57
Color		56	32	46	2.01
Composites		302	263	338	13.56
Corrosion		22	18	27	1.01
Dentin bonding agents		224	153	217	8.92
Enamel		158	104	134	5.95
Glass ionomers		152	137	104	5.90
Gypsum products		3	1	6	0.15
Implants		130	102	133	5.48
Impression materials		22	22	26	1.05
Investments		3	2	4	0.14
Mercury		11	13	15	0.59
Metal		70	62	82	3.21
Microleakage		67	69	69	3.08

을 최식의 조건으로 충전한 콤포짓트 레진의 표면 연마 및 마무리 방법에 따른 표면조도를 비교하였으며 [12], 섬유상으로 강화한 콤포짓트 레진 위에 세라믹을 최적의 비율로 배합한 콤포짓트 레진으로 피복하는 방법을 사용하면 인레이, 온레이, 단일 금관뿐 아니라 계속가공의치의 제작에도 사용할 수 있다 [13]. Loose 등은 섬유강화형 콤포짓트 레진을 이용한 금관계속 가공 의치와 알루미늄 도재로 제작한 계속가공의치의 변연적합도와 강도를 평가 하였다 [14].

구치용 콤포짓트 레진의 경우는 점착성이 없고 응축할 수 있는 재료가 기존 치과용 아말감에 익숙한 사에게는 편리할 것이며, 기계적 특성에서도 인성과 충격강도 및 굴곡피로 저항을 비롯한 광범위한 시험속도에서 높은 굴곡계수와 강도를 보여야 한

다. Leinfelder 와 Prasad 는 구치부 콤포짓트 레진 수복시 사용자들의 불만을 해소하기 위하여 콤포짓트 레진을 아말감을 충전하는 방법과 유사하게 충전할 수 있는 제품(condensable composite)을 소개하였으며 [15], 현재도 이 분류에 속하는 재료에 관한 활발한 연구를 이루고 있다.

응축형 콤포짓트 레진 외에 유동형 콤포짓트 레진(flowable composite)도 소개하였는데, Bayne 등은 제 1 세대 유동성 콤포짓트 레진의 기계적 특성 값은 재래형 콤포짓트 레진에 비하여 60~90 % 정도로 응력을 많이 받는 부위에 사용할 경우는 주의가 필요하다고 하였다 [16].

전치용 콤포짓트 레진의 경우 여러 색상의 제품을 사용하는 것이 편리하며 색상에 관한 연구를 좀더 포괄적으로 하여 쉽게

이해하고 응용할 수 있도록 하여야 한다. Uchida 등은 콤포지트 레진의 색상에 따른 변색도를 측정 한 결과 변색은 명도가 높은 색상일수록 많이 발생하였으며 주로 노란 색 쪽으로 변색된다고 하였다 [17]. 또한 직접 충전 후 연마 및 마무리를 위한 다양한 새로운 콤포지트 레진 연마 및 마무리 기구를 소개하였는데, Setcos 등은 연마 기구 및 방법의 효용을 표면조도계를 이용하여 평가하였다 [18].

콤포지트 레진의 중합수축에 의한 응력을 낮추기 위하여 상아질 결합제, 응력을 흡수하는 이장물질 사용, 광도를 낮춘 광조사기의 사용 등을 추천하고 있다. 광중합 충전제의 중합수축을 줄이는 방법의 하나로 광조사 방법을 변화하는 연구도 최근 활발하게 진행되고 있는데 Burgess 는 광중합 재료를 중합할 때 강한 광선으로 단시간 안에 중합하는 것보다 광량을 조절하여 순차적으로 중합하면(two-phase curing cycle) 변연부의 적합성 높일수 있다고 하였다 [19]. Tarle 등은 광중합 콤포지트 레진을 중합할때 pulsed laser 를 사용하면 가시광선을 사용하는 것보다 사용하는 에너지는 1/5 이나 중합도는 높아지고 중합수축은 감소한다고 하였다 [20]. Aw 와 Nicholls 는 가시광선 또는 아르곤 레이저를 이용하여 콤포지트 레진을 중합한 후 중합수축 정도를 광학현미경을 이용하여 측정하였다. 그 결과 중합 선수축량은 각각 0.565%, 0.591% 로 통계적으로 유의한 차이는 없다고 하였다 [21].

새로운 연구방법으로 Fano 등은 헬륨-네온 레이저를 이용하여 매우 민감도가 높은 비접촉적인 방법으로 치과재료의 크기변화를 측정하는 방법을 사용할 수 있다고 하였다 [22]. 응용분야는 인상재, 레진 등의 수축 측정, 열팽창 측정, 중합체의 팽윤측정 등의 분야이며 정확도는 시편의 길이가 1~70 mm 범위일 때 $\pm 1\mu$ 이다. Poulos 와 Slyner 는 치과용 광조사기 전구의 사용기간에 따른 광도와 중합도 비교한바, 사용기간에 따라 광도에 유의한 차이가 있다고 하였다 [23].

글라스아이오노머

글라스아이오노머는 사용이 간편하고 불소를 방출하며 치아의 재석회화 정도를 증가하는 장점이 있으나 최근까지도 파절강도가 낮은 문제가 있다. 그럼에도 글라스아이오노머, 콤포지트 레진 및 이들 재료의 복합재료는 치과용 아말감이나 주조금속, 소결 또는 주조 세라미과 더불어 수복재료로 널리 사용될 것이다.

글라스아이오노머를 개량하고자 하는 접근방법으로는 폴리 산의 농도와 분자량을 최적화 하는 방법, 글라스 분말의 입자 크기를 최적으로 혼합하는 방법 및 중합시 기질을 최대 가교화 하도록 하는 방법 등이 있다 [24]. 이들 방법중 최대의 가교화는 마모저항, 압축과 전단강도, 표면경도 및 용해도 등 불성에 가장 큰 영향을 주며 시자주사열량분석법이나 적외선분광분석법으로 평가할 수 있다고 하였다.

치과용 글라스아이오노머는 화학적 특성에 따라 2 종류로 나눌 수 있는데 하나는 중화작용으로 경화하여 취성을 갖게 되는

자가 경화형이고, 다른 하나는 중합과정과 중화과정을 동시에 나타내는 레진강화형이다.

자가 경화형에 비하여 레진강화형은 심미성이 우수하고 사용하기에 편하다. 2 종 모두 범랑질이나 상아질과 화학적으로 결합하며 실제 유용한 정도의 불소를 방출한다. 이 재료는 이장재, 베이스, 스테인레스강 금관의 접착용 시멘트 외에 영구치와 유치의 수복용으로도 사용하는데 레진강화형의 경우 충전제로 유용하게 사용하는 것으로 알려져 있다. Gladys 는 글라스아이오노머와 광중합 콤포지트 레진을 혼합한 형태인 콤포머의 연마도, 마모 후 표면 조도 및 물성을 기존 수복재와 비교하였다 [25].

자가 경화형은 레진강화형보다 생체적합성이 우수하기 때문에 귀, 코, 기도 및 두개저 재생 등의 비치과용 용도로 사용한다. 자가 경화형에 비하여 레진강화형 글라스아이오노머는 심미성을 향상하였고 수분에 대한 저항이 증가하였으며 인성이 높은 특성이 있다.

이장재나 기저재료의 용도 외에 영구치의 5 급 와동, 유치의 2, 3 급 와동의 수복에 사용하며, 현 단계에서 얼마나 장기간 사용할 수 있는가는 알 수 없으나 레진강화형은 수복용으로 더 적합한 것으로 알려져 있다 [26, 27]. Hse 등은 유치에 있어서 레진강화형 글라스아이오노머를 아말감 대신으로 사용할 수 있다고 하였으며 [28], Yap 은 새로 개발한 응축이 가능한 분말 첨가형 충전용 글라스아이오노머의 미세누출을 평가하였다 [29]. Shaffer 등은 레진강화형 글라스아이오노머 수복물을 수리할 때 기존 수복을 한 후 경과한 시간이 수리한 수복재와의 결합강도에 유의한 영향을 준다고 하였다 [30].

접착성 재료 및 상아질 결합제

최근 접착 방법의 발전에 따라 치아의 삭제를 적게 하면서 잔존 치아를 강화할 수 있는 심미수복이 가능하게 되었다. 환자들의 심미수복에 대한 이해가 증가함에 따라 심미적이고 금속이 보이지 않으면서 오랫동안 사용할 수 있는 치료 요구가 증가하고 있고 치아와 접착하는 심미수복재의 발전에 따라 수복치료에 큰 변화를 가져왔다. 이를 이용한 실란트로 대표되는 예방치치, 손실된 치아의 수복, 심미 목적으로의 수복 등 많은 분야에서 발전을 하였으나 접착에서 문제는 상아질은 조성과 수분 함량에서 변화가 심한 물질이며 레진계 재료는 중합하는 동안 수축의 분체가 있는 것이다. 현재 사용하는 접착성 재료는 변연봉쇄, 구강 안에서 유지할 수 있는 기간, 심미성 등에서 이상적이라 할 수는 없으나 와동의 모양을 크게 변화한 것은 사실이다.

1969 년 Ralph Phillips 는 미래의 접착성 재료는 치아의 강도와 색상을 원 상태로 회복할 수 있을 것이라 예견한 이래 지난 30 년 동안 궁극적인 수복재를 찾으려 많은 연구를 하였다. 1962 년 직접 충전용 콤포지트 레진을 개발한 이래 많은 발전이 있었으나 현재도 만족할 재료는 아니다 [31].

van Meerbeek 등은 현재 사용하는 접착 수복학을 평가한 결

과 효율성은 현저히 증가하여 성공율은 높아졌으며 유지력도 충분한 정도로 더 이상 문제가 되지 않는다고 하였다[32]. Biomimetics 를 이용하여 심미수복, 특히 전치부 접착성 세라믹 심미수복을 이론적으로 설명한 최근의 보고가 있다 [33].

현재 사용하는 접착제는 치아에 자극이 적으며 부작용도 낮은 것으로 나타났으나 해결되지 못한 결점은 완전한 봉합을 이루어 장기간 변색이 없는 접착은 불가능하다는 것이다. Olmez 등은 노출된 치수에 상아질 결합체를 직접 도포한 후 조직 반응을 수산화칼슘 시멘트를 사용한 경우와 비교한 결과 두 재료간에 차이가 없다고 하였다 [34].

혼성층(hybrid layer) 에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 혼성층의 미세구조는 혼성층이 만들어질 당시의 상아질의 수분함량에 따라 달라지는데 Tay 등의 결과에 따르면 습식 결합을 한 경우 가장 우수한 결합력을 보인다고 한다 [35]. Prati 등은 상아질 결합제를 사용할 때 레진이 상아질에 침투한 깊이와 결합강도 사이에는 유의한 상관관계가 없다고 하였다 [36]. 최근 새로운 연구방법들은 도입하였는데 Proch 등은 공초점 레이저주사 현미경을 이용하여 혼성층의 두께를 측정한 결과 혼성층의 두께는 산부식 시간이 증가하면 두꺼워졌으며 상아질 또는 전처리제를 도포한 후 건조시간에 따라서도 약간의 영향을 받았다고 하였다[37]. 또한 Xu 등은 FT-Raman spectroscopy 를 이용하여 HEMA 와 상아질 빛 콜라겐과의 반응을 관찰하였다 [38].

상아질 결합체의 결합력을 실현시킬 수 있도록 평가할 때 실험방법에 따라 결과가 차이가 있다. 실험방법에 관한 연구는 많지 않은데 최근 연구결과 결합의 파괴는 크랙의 형성 및 전파와 상관이 있으며 결합력을 시험하는 방법에 따라 크랙이 생성되는 정도도 다르기 때문에 정확한 실험방법을 적용하여야 한다 [39]. 상아질 결합체의 결합력을 측정할 많은 보고가 있는데 최근 실험실 실험에서 얻은 결합강도에 관한 의문이 제기되었다. Sudsangiam 과 van Noort 는 상아질 결합체의 결합력을 실험실 실험으로 측정할 결과는 실제 결과와 여러 원인에 의하여 차이가 있을 수 있으며, 현재로는 임상 자료만이 신뢰할 수 있는 결과라고 하였다 [40].

광중합 레진계 접착제의 중합에 관하여 el-Mowafy 등은 2 중 중합형 레진계 시멘트를 다양한 두께의 세라믹 인레이 재료를 투과한 빛으로 중합하였을 때 중합도를 평가하였는데 세라믹의 두께가 2~3 mm 이상이면 불충분한 중합이 되었다고 하였다 [41].

상아질 결합체와 같이 사용하는 접착용 레진도 최근 발전을 하였는데 Perdigao 등은 기존의 결합용 레진에는 충전제가 들어있지 않았으나 최근 극초미세입자를 첨가한 결합용 레진이 개발하였으며, 이 재료는 기존 재료와 결합력에서 차이가 없었고 사용이 편리한 장점이 있다고 하였다 [42]. 이외 재료의 개발과 관련된 연구는 다음과 같다. 기존 콤포짓트 레진 및 결합용 레진은 유지력에 의하여 중합이 억제되기 때문에 함께 사용을 금

지하여 왔으나, Peutzfeldt 와 Asmussen 은 산화아연유지능 시멘트로 임시충전을 한 후 제거하고 최근 개발한 상아질 결합체를 사용하였을 때 상아질 결합체의 결합강도에 영향을 주는가를 평가한 결과 영향은 없다고 하였다 [43]. Imai 와 Ishikawa 는 중합개시제를 바꾸어 재료의 효율을 높이는 연구를 하였는데, 2-methyl-1,3-cyclohexanedione (MCHD) 와 $CuCl_2$ 를 상아질 결합체의 중합개시제로 사용할 수 있다고 하였다 [44].

치과 치치에서 인상채득 과정 중 지혈 등의 조직 치치는 중요하게 취급되어 왔으나 현재의 접착수복학에서 중요하게 취급되지 않았다. 접착성 수복물은 오염되지 않은 시술면을 필요로 하기 때문에 치료과정에서 조직의 치치는 중요하다 [45].

도 재

최근 치과용 세라믹에 관한 연구를 보면 재료 자체의 단점인 취성 등을 극복하기 위한 연구를 주로 진행하였고 몇 가지 새로운 재료계를 개발하였다 [46]. 최근 개발한 저용융 치과용 도재는 재래형 도재에 비하여 치아를 덜 마모시키며 [47], 소부용 저용융 도재도 개발하였다 [48]. Trushkowsky 는 세라믹을 3 차원적으로 미세연삭기법을 사용하여 인레이를 제작하는 방법을 소개하였으며 [49], Culp 는 인레이, 온레이, 단일 금관의 제작뿐 아니라 계속가공의치 제작에도 사용할 수 있는 lithium disilicate-fluorapatite ceramic system 을 소개하였다 [50]. 또 Sewitch 는 금속 소부형 세라믹 인레이 (resin-bonded metal-ceramic inlay) 를 소개하였다 [51].

2 차 우식이나 외상으로 광범위한 수복이 필요한 경우 사용할 수 있는 도재로 구조용 유리도재, 고알루미나 도재, 유리 상을 침윤한 다공성 도재 및 압축성형 세라믹 시스템 등이 있다. 현재 CAD/CAM 방식을 이용하는 유리도재는 인레이와 온레이 제작에 사용한다.

Procera 시스템은 고밀도로 소결된 고순도 산화알루미늄을 CAD/CAM 을 이용하여 가공하고 여기에 적당한 도재 비니어를 부착하는 방법이다. 강도, 적합도, 색상 안정성, 접착성 및 마모 특성 등을 평가한 결과 앞으로 사용이 증가할 것으로 예상되며, 현재는 단일 치아의 수복에만 사용하나 향후 순식의 발전으로 가공의치의 제작에도 적용될 전망이다.

Loibrock 등은 도재수리 시스템의 결합강도를 평가하기 위하여 시편을 제작한 후 특별한 조작을 하지 않은 경우와 열순환 및 기계적 하중 주기를 반복한 경우의 결합강도 비교한 결과 열과 하중을 반복하여 가한 후 측정할 결합강도는 실제 결과와 유사하다고 하였다 [52]. Meijering 등은 콤포짓트 레진과 도재로 제작한 비니어의 수명을 조사한 결과 도재 비니어의 수명이 더 길었다 [53].

임프란트 재료

지금까지의 인공장기의 개발역사를 보면 다음의 4 세대로 나

늘 수 있다.

1-세대 :공업용 재료로 인체의 일부를 지지 또는 보철하는 것으로 1940 년도 이전의 것이다.

2-세대 : 일반 공업재료를 이용하여 손상된 장기의 일부를 대체하는 것으로 생체적합성에 관한 정확한 이해가 없는 상태에서 사용하였다.

3-세대 : 1, 2 세대에서 상조하였던 생체와의 어떤 부작용도 없는 안정한 재료보다는 생체와 반응성이 있는 재료를 사용한 시기로 하이드록시 아파타이트나 콜라겐 등을 도포한 재료를 이용한 시기이다.

4-세대 : 조직세포공학의 응용하는 시기로 인체에서 추출한 조직세포와 합성재료를 동시에 사용하는 혼합형 인공장기의 개발이다. 이 세대의 재료는 인체의 장기를 다시 만들거나 교체하는 것보다는 손상된 조직을 수선하거나 회복에 치중한다.

임프란트 재료로 표면활성 생체유리에 대한 관심은 1970 년대 초부터 시작하였으나 응용에 관한 연구는 1980 년대부터 시작하였다. 앞으로 임프란트 재료가 추구하여야 할 방향은 고도의 생체반응성, 높은 기계적 강도, 그리고 가공이 쉬운 재료를 개발하는 것이다.

새로 개발할 임프란트 재료는 이식 후 짧은 시간 안에 뼈나 신체조직과 반응하여 화학적 결합을 이루 후 모든 반응을 성지하고 영구적으로 신체 안에 머무는 재료이어야 한다. 이를 위하여 이들 재료의 반응성, 부식성에 관한 심도 있는 연구를 이루어야 할 것이다. 치과용 임프란트 보철물은 과학적인 연구가 결여된 상태에서 개발되었는데, 향후는 기공과정과 임상 시험을 포함하는 체계적인 연구로 개발하여야 치료 효과를 극대화 할 수 있을 것이다 [54]. 미국 식품의약국에 설치되어 있는 의료용구와 방사선 긴장국 내의 의료용구평가 부서는 의료용구를 시판하기 전 검사를 담당한다. 치과의료용구는 이중 치과용구 부서에서 평가를 하는데 치과용 임프란트의 경우도 이 부서에서 한다 [55].

임프란트 연구에 최근 도입한 방법으로 Piattelli 등은 임프란트를 포함한 구강조직을 광학현미경 및 투과전자현미경으로 관찰하기 위하여 20~30 micron 두께로 얇게 박편을 만드는 기술을 소개하였다 [56]. Klokkevold 등은 티타늄 임프란트 표면을 염산과 황산을 혼합한 용액으로 산부식한 후 뼈와의 결합강도를 측정할 결과 표면을 기계적으로만 가공한 경우보다 4 배 이상의 높은 결합력을 보였다고 하였다 [57].

인산칼슘 재료

인산칼슘 재료를 골조직의 수복 및 대체, 치근면의 지각피민 완화, 치아우식 예방용으로 개발하고 있으며 인산칼슘과 폴리머를 혼합한 캄포사이트를 치수복조 및 와동 기재체로 사용할 전망이다. Tetracalcium phosphate (TTCP)는 최종산물로 수산화인회석을 형성하는 자가경화 인산칼슘 시멘트의 주요한 구성 성분이다. TTCP를 포함하지 않는 새로운 자가경화 인산칼슘 시멘

트로 사용할 수 있는 물질로 dicalcium phosphate anhydrous (DCPA), dicalcium phosphate dihydrate (DCPD), α -tricalcium phosphate 또는 무징형 인산칼슘염, 그리고 칼슘의 추가적인 공급원으로 calcium hydroxide 혹은 calcium carbonate 등이 있다. 이 시멘트의 용액으로는 인산용액이나 높은 pH 의 액을 사용한다. 이 시멘트는 5~30 분 정도의 상대적으로 짧은 시간 안에 경화하고 24 시간 안에 최종산물로 수산화인회석을 주로 생성하는데, 24 시간 경과한 시편의 간접인장강도는 0.2~7.5 MPa 정도이다. X-ray 회절 분석 결과 시멘트 용액의 높은 인산농도에 의하여 발생하는 빠른 수산화인회석의 형성으로 시멘트는 경화함을 알 수 있었다. 이러한 시멘트의 물리, 화학적 성질들은 TTCP를 포함하는 시멘트의 특성과 유사하며 생체내 조건에서도 역시 TTCP를 포함하는 시멘트의 성질과 유사할 것으로 기대된다 [58].

인산칼슘 시멘트는 골 조직의 회복 및 대체재, 치근 표면의 민감성 치료제, 치아우식의 예방, 치수복조 및 와동이장재로 사용할 수 있을 것으로 보이며 이에 관한 연구를 지속적으로 하고 있다 [59]. Weiss 등은 FT-IR 미세분광분석법으로 인산칼슘 시멘트의 반응을 평가하고 KBr 방법과 비교하였는데 앞으로 유용한 방법으로 보고 있다 [60].

Kobayashi 등은 Bis-GMA 레진을 기질로 하고 3 가지의 서로 다른 충전제를 첨가한 뼈 시멘트의 기계적, 생물학적 성질을 평가하였는데 충전제로는 인회석과 규회석을 포함한 글라스-세라믹(AW-GC), 소결한 수산화인회석(HA), 또는 beta-TCP 를 사용하였으며 중량비로 70 % 혼합한 결과 AW-GC의 경우 기계적 성질이 가장 우수하다고 하였다 [61].

인조골

인조골 복합재료의 개발은 제 3 인산칼슘을 직경 5~10 마이크로 크기로 만들어 180°C 에서 용해한 폴리우산 광중합체에 혼합하여 경화하도록 하였다.

양이온과 기능이 결합하여 실제 뼈와 유사한 탄성율을 보이는 소재를 개발하였는데, 실제 뼈와 유사한 경도를 보이며 체내에 이식한 후 일정시간이 지나면 자연 골로 대체된다.

금속 및 합금

Ohno 등은 치과용 귀금속 합금에 인듐, 아연, 주석 등을 첨가하여 별도의 표면처리 없이 결합용 레진과 결합할 수 있는 새로운 금속을 개발하였는데 In_2O_3 , ZnO 또는 SnO 등은 레진과의 결합에서 중요한 역할을 한다고 하였다 [62]. Vilaplana와 Romaguera 는 니켈과 연관된 알레르기에 관하여 많은 제조사들이 알고 있어 제품에 표시 하나 코발트나 팔라듐과 관련된 감각에 관하여는 아직 알려진 바가 적다고 하여 생체적합성 분야에 관한 연구가 아직 미흡함을 지적하였다 [63].

치과용 아말감 및 대체재료

치과용 아말감은 많은 논란에서도 오랫동안 여러 용도에 우수한 재료로 사용하여 왔는데 현 단계에서 치과용 아말감은 경제적인 구치부 직접 수복재로 계속 사용되어야 하며, 심미적인 수복이 필요한 경우는 심미충전제를 정확하게 사용한다면 치과용 아말감의 대체물이 될 수 있을 것이다 [64].

현 단계에서 치과용 아말감이 건강에 위해작용을 준다는 증거는 부족하거나 없으나, 치과용 아말감을 사용하는 과정에서 수은을 주의 깊게 취급하여 치과종사자 및 환경에 오염되지 않도록 하여야 한다. 수은에 의한 환경오염은 향후 정부기관에서 치과용 아말감의 사용을 제한하는 가장 큰 이유가 될 것이며, 향후 치과용 아말감을 대체할 수 있는 재료로는 금 인레이, 금박, 살류 합금, 글라스아이오노머, 콤포짓트 레진, 레진강화형 글라스아이오노머, 콤포머, 세라믹 등이 될 것이다 [65].

치과용 아말감 대체 재료로 사용하였던 갈륨 합금은 최근 인 구결과 치과용 고농아말감에 비하여 부식을 더 많이 발생하며 부식산물도 Ga_2O_3 또는 SnO_2 로 밝혀졌다. 또한 기존 치과용 아말감에서 사용하던 수은 대신 수은과 인듐을 혼합한 합금을 사용하여 아말감이 경화한 후 수은의 증기압을 감소하려는 연구가 있었으며 성공적인 결과로 나타났다 [66].

갈륨 합금의 수은오염에 따른 경화팽창을 광탄성 분석법을 이용하여 측정된 결과 처리 조건에 따라 아말감에 비하여 팽창이 크게 나타날 수도 있다 [67]. 살류합금으로 충전할 때에는 충전 전후에 소수성인 전색제를 도포하여 지나친 팽창을 방지하여야 하며, 향후 수복과정에서 편리하게 사용할 수 있는 운반 및 충전 기구를 만들어야 한다 [68]. DeSchepper 등에 의하면 갈륨 합금과 고농아말감의 링거액에서의 부식 성도를 비교한 결과 갈륨합금에서 부식이 더 많이 발생하였다 [69].

주조용 티타늄

주조용 티타늄은 용점이 높고 매물새와 반응이 크게 나타나 보철재료로 사용하는데 제한을 받고 있다. 이 문제를 해결할 수 있는 재료는 저온 용융 티타늄 합금인데, 현재까지 실용화 한 것은 없다. 앞으로 사용이 가능한 2 종의 저용융점 티타늄 합금인 티타늄-코발트(Ti 81.4% wt, Co 18.6% wt) 와 티타늄 은 (Ti 75% wt, Ag 25% wt) 합금에서 물연변이 유발성과 세포독성을 평가한 결과 부작용이 없는 것으로 나타났다 [70].

신관 및 치료용 catheter, 스텐트, 바늘, 교정용 탄선 및 매식이 가능한 약물 공급장치 등의 제작에 초탄성과 형상기억의 특성이 있는 티타늄계 합금을 앞으로 널리 사용하게 될 것이다. Kim 등은 티타늄에 Zr, Nb, Ta, Pd 와 In 등의 원소를 첨가하여 새로운 티타늄 합금 개발하고 기존의 순티타늄 및 Ti-6Al-4V 합금 등과 기계적 성질, 부식저항성, 세포독성들을 비교하였다. 그 결과 기계적 성질은 기존 금속과 유사하였고 부식지향성은 약간 낮아졌으며 세포독성은 차이가 없다고 하였다 [71].

기타 재료

지금까지 분류하여 언급한 재료 이외의 요약이다. Fricker 는 교정용 브라켓 부착에 사용하는 자가중합형 레진강화형 글라스아이오노머의 브라켓 유지력은 기존 레진계 접착제와 유지력의 차이가 없다고 하였다 [72]. Eberhard 등은 콤포머를 상아질 결합제와 병용하여 교정용 브라켓 접착에 사용할 수 있는데 이 경우 법랑질 표면을 산부식하지 않아도 충분한 결합력을 얻을 수 있다고 하였다 [73]. 교정용 탄선의 발전방향은 보편 기계적 성질에서는 변형이 잘 되지 않는 탄선에서 후크의 범칙에 따라 변형되는 탄선으로, 재질을 보면 귀금속합금에서 스테인레스강, 티타늄 합금으로 발전하였으며 티타늄 합금은 초탄성과 형상기억 특성을 응용하는 방향으로 가고 있다 [74].

Dean 등은 탄소로 만든 포스트를 소개하였는데 금속 포스트와 비교하였을 때 치근의 파절이 적었으며 [75], Kakehashi 등은 지르코니아 포스트를 소개하였는데 금속 포스트에 의한 치은의 변색을 예방할 수 있다고 하였다 [76].

부가중합형 실리콘 인상재의 최근 연구를 요약하면 표면활성제를 첨가하여 친수성을 높인 것, 트레이와의 습착제 개선, 스텍, 고무 장갑에 의한 중합억제를 해결하는 방법 등이 있다 [77]. 인상채득 후 인상을 소독하는 방법으로 30분간 소독액에 담그는 방법을 통상 사용하는데 이 과정 중 소수성인 인상재는 매우 적은 변형을 발생하나, 알지네이트나 친수성 실리콘은 분사소독을 하는 것이 바람직하다. 알지네이트 인상재에는 혼합수에 소독약을 첨가하는 것을 추천하고 있다 [78].

Trushkowsky 는 유연성이 있는 모형재를 이용하여 모형을 제작한 후 인레이나 온레이를 제작하는 방법을 소개하였다 [79].

Yan 과 Takahashi 는 알루미늄을 내화제로 사용하고 반수식고를 결합재로 사용하는 고온 주조용 매물새를 개발하였는데 열팽창 정도는 1.60~2.16% 이며 이는 알루미늄과 석고의 분해 결과 생긴 산화칼슘의 반응에 의하여 열팽창이 나타나기 때문이라고 하였다 [80].

Trushkowsky 는 구치부 콤포짓트 레진 충전시 교합면의 해부학적 형태를 재현하기 위하여 교합면을 인기한 투명한 판(matrix)을 사용하는 방법을 소개하였는데 마무리 과정을 간단하게 하는 장점이 있다고 하였으며 [81], Hamilton 등도 동일한 방법을 사용하면 표면조도, 변인적합도, 해부학적 형태 등을 우수하게 할 수 있다고 하였다 [82].

Hamid 와 Hume 은 광중합형 치면열구진색제에서 유출되는 성분을 HPLC로 측정할 결과 TEGDMA 의 유출량이 가장 많았으며 Bis-GMA 도 매우 적은 양이나 검출되었으며 Bisphenol A 는 검출되지 않았다고 하였다. 또한 유출이 많은 기간은 주로 적용 후 처음 1 일이라고 하였다 [83]. 그러나 레진계 재료에서 환경호르몬의 유출에 관한 주제는 아직도 논란이 많은 분야이며 향후 지속적인 연구를 필요로 한다. Henriks-Eckerman 과

Kanvera 는 gas chromatography 및 mass spectroscopy 를 이용하여 치과용 콤포짓트 레진 및 결합제의 용출 물질을 분석하였는데 비부에 감삭을 유발하는 '밝혀지지 않은 아크릴릭' 을 함유하고 있다고 하였다 [84]. 이러한 정량분석 방법을 응용하여 치과생체재료의 안전성을 평가하는 연구도 하여야 한다. 또한 필러의 조성, 기질의 종류, 실란 처리의 유무 등에 따른 용출정도를 평가하여 저분자 유기물질의 용출이 가장 적은 조성을 찾아야 할 것이다.

Wirthlin 등은 치과생체재료의 점막자극시험을 기존 방법인 웬스터를 이용하는 방법 대신 게에서 단기간 시험하는 방법을 소개하였다 [85]. 분자생물학적 방법을 이용한 세포 및 생물학적인 방법으로 생체재료를 평가하는 방법을 사용하기 시작하였는데 앞으로 이 방법을 많이 적용하게 될 것으로 보인다 [86].

Vallittu 는 파절된 의치물 수리하는 과정에 유리섬유를 보강제로 사용할 수 있는데 이때는 섬유의 배열을 적절하게 한 후 중합하여야 한다고 하였으며 [87], Strassler 등은 전치부 치아를 고정할 때 리본으로 강화한 콤포짓트 레진과 결합(adhesive) 기법을 이용하여 결합할 수 있는 방법을 소개하였다 [88].

Yoshikawa 등은 근관충진용, 치수복조용으로 사용할 수 있는 인산칼슘 시멘트 개발하였는데, 구연산과 탄닌산을 액으로 사용하고 분말에 30% 산화티타늄을 첨가하였다. 그 결과 적절한 경화시간을 보이고 변연봉쇄 능력이 우수하여 사용에 적합한 재료의 개발이 가능하다고 하였다 [89]. Bansal 등은 폴리카복실레이트 시멘트의 분말인 산화아연에 환석을 10~50% 까지 첨가한 후 경화시간, 압축강도 및 인장강도 등을 측정한 결과 경화시간은 길어졌고 압축강도와 인장강도는 10% 의 환석을 첨가한 경우 54% 증가하였다고 하였다 [90].

앞으로의 연구방향

현재도 여러 치과생체재료에 관한 연구를 현재에도 활발하게 이루고 있는데 이 결과를 종합하면, 21 세기에는 많은 변화가 있을 것으로 예상된다. 연구성과 및 21 세기의 예측에서 전술한 것과 같이 다음 세기에는 많은 변화를 예견할수 있으나 각각의 연구성과를 집약하여 발전을 이룰 수 있는 것이므로 단기적인 목표를 빠르게 설정하는 것도 중요하다. 몇 치과생체재료학 연구팀의 장단기 연구방향 및 목표를 요약하여 새로운 천년을 준비하는 치과생체재료학의 방향을 가능하여 보고자 한다.

동경의과치과대학 의용기재연구소의 연구

우리 나라의 여건은 이 연구소와는 좀 다르나 1998~99 년의 연구 과제를 보면 여러 분야에서 다양한 연구를 하고있다.

금속재료 부분에서는 초탄성과 형상기억특성이 있는 티타늄-니켈을 응용하는 연구, 기존 티타늄 합금용 주조방법의 개발, 새로운 티타늄 합금의 개발, 금속계 생체재료의 생체적합성 평가,

치과용 장치에 자석을 응용하는 연구, 초탄성 티타늄 합금을 치과보철재료로 이용하는 방법 및 다공성 티타늄 합금을 임프란트 재료로 이용하는 방법 등을 제시하고 있다.

무기재료 부분에서는 새로운 세라믹과 콤포짓트를 합성하고 이들의 결정구조를 연구하는 분야, 세라믹 코팅제의 합성 및 특성 연구, 하이드록시 아파타이트나 다른 종류의 세라믹을 이용하여 생체와 유사한 조건에서 생체재료를 합성할 수 있는 기초 연구, 세라믹의 생체적합성 연구, 생체 내에서의 흡수 및 조골세포 부착에 관한 연구, 인공치근 등 신소재 개발 연구, 하이드록시 아파타이트와 단백질 등의 유기물질과의 반응에 관한 연구 등을 제시하고 있다.

유기재료 부분에서는 치아와의 결합에 관한 연구, 광중합형 레진의 치과응용에 관한 연구, 접착성 레진시멘트에 관한 연구 및 생체적합성이 우수한 중합체 분자구조 고안 등이다.

생체기능재료 부분에서는 중합개시제, 연성이장재 및 근관충전제 등을 포함하는 생체의 기능을 재현할 수 있는 재료의 개발 분야, 생체재료와 조직사이의 장기간 반응 연구, 생체재료의 생분해 연구, 치아의 지각과민 치료제, 치질을 강화하거나 우식을 예방할 수 있는 제재의 개발, 연조직과 유사한 수화 겔의 개발 등을 포함하는 생기능성 재료의 개발분야로 나눌 수 있다.

또한 정밀기계 부분에서는 생체재료의 생체적합성 및 기계적인 특성 연구, 살아있는 세포와 같이 사용할 수 있는 인공장기의 개발에 관한 연구 및 CAD/CAM 을 이용한 가공기기의 개발 연구를 한다.

Tohoku 치대의 연구

Tohoku 치과대학의 치과생체재료학 연구경향을 보면 치과용 귀금속 합금의 구조에 관한 연구 및 이온 매식 및 혼합방법을 이용한 생체재료의 표면특성 조절에 관한 연구를 하고 있다. 이온공학을 활용하여 재료의 표면을 처리하여 세포와의 적합성을 향상한 인공치근이나 인조골을 개발하며, 금속성분이 녹아 나오는 것을 억제한 항알레르기성 생체용 형상기억 합금의 개발 등도 제시되어 있다.

우리 교실의 연구

현재 실행하거나 계획하고 있는 연구분야는 치과용 금속재료, 치과용 세라믹재료, 치과용 고분자재료 및 기타 연구분야 등의 4 분야로 구분할 수 있다.

1. 치과용 금속재료 분야

- 1) 치과용 합금과 치과용 아말감의 물리적 및 화학적 성질 : 치과용 귀금속계 및 비귀금속계 합금과 치과용 아말감의 기계적 강도, 표면경도, 표면조도, 부식저항성 및 색 변화 등을 평가한다. 구강 조건과 유사한 환경에서 재료의 물성은 평가하기 위하여 인공타액을 포함한 다수의 전해액에서 실험을 하며, 합금

의 열처리 효과 및 강화기선을 연구하고, 아말감을 대체할 수 있는 합금을 개발하고자 한다.

2) 생체적합성

치과용 합금과 아말감에서 유출하는 금속이온을 검출하고 그에 따른 생체적합성을 평가하며 합금의 조성 변화 및 처리를 통하여 생체적합성을 개선한 재료를 개발하고자 한다.

3) 티타늄계 합금

티타늄과 티타늄계 합금은 부식저항성과 생체적합성이 우수하여 생체재료로 사용하기에 적합하다. 그러나 티타늄은 용융점이 높고 산소 및 매몰제와의 반응성이 크기 때문에 보통 방법으로 주조하기는 주조성이 매우 어려운 문제가 있다. 따라서 특수한 주조장비, 주조기의 환경 및 매몰제에 따른 티타늄의 주조 특성을 파악하는 연구를 진행하고자 한다. 불소이온이 티타늄계 합금의 변색 및 부식저항에 주는 영향을 평가하여 실제 사용에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다. 또한 초단성과 형상기억 특성을 보이는 니켈-티타늄계 합금의 특성을 연구하여 지금보다 다양한 용도로 사용할 수 있는 가능성을 평가한다.

2. 치과용 세라믹재료

치과용 도재, 글라스, 시멘트 분말 등과 티타늄 주조용 매몰제에 관한 연구분야이다.

1) 치과용 세라믹재료의 소결 및 특성

치과용 도재, 글라스-세라믹 및 글라스 아이오노머 시멘트를 합성하여 기존 제품과 비교하여 보완할 부분을 찾고자 한다. 기계적 성질 뿐 아니라 심미성과 상관되는 전기적, 광학적 성질을 평가하여 경쟁력이 있는 국산화 제품의 기초자료를 구하고자 한다.

2) 생체적합성

세포독성 시험 등 실험실 시험법으로 합성된 재료의 생체적합성을 평가하고 만족한 결과로 판단되면 2 차 시험인 동물시험을 진행하고자 한다.

3) 인산칼슘시멘트에 관한 연구

여기 조성의 인산칼슘 시멘트를 합성하여 기존의 치과용 시멘트를 대체할 수 있는가를 평가하고, 생체적합성 및 생체반응성의 평가실험 등을 병행하고자 한다.

4) 도재 적용 시의 색상특성

도재를 소성하는 과정에서 적용을 하게 되는데 이때 나타나는 색상의 특성변화를 측정, 분석하여 정확한 색조재현이 가능하도록 하는 방법을 개발하고자 한다.

5) 치과용 시멘트의 국산화

가장 빈번하게 사용하면서도 전량을 수입하고 있는 치과용 시멘트를 국산화 할 수 있는 방안을 연구하고자 한다.

3. 치과용 고분자재료/치과용 복합재료

치과용 의치상용 레진, 콤포짓트 레진 및 상아질 결합제, 금속용 및 도재용 결합제에 관한 연구분야이다.

1) 광중합형 레진의 응용

최근 광중합형 레진의 사용이 증가하고 있고 치과용 콤포짓트 레진, 치면열구전색제 및 경질레진의 기계적 특성, 용해도, 색안정성 및 생체적합성에 관한 연구를 하고 있다. 현재 많은 관심 속에서 개발하고 있는 flowable 콤포짓트 레진, condensable 콤포짓트 레진 및 표백된 치아용으로 개발한 white 콤포짓트 레진에 관한 연구를 통하여 향후 레진 개발기술을 선도할 수 있는 방법을 개발하고자 한다. 또한 중합수축을 적게 발생하거나 또는 약간 팽창할 수 있는 레진 기질의 개발에 관한 연구 및 필러의 조성, 함량 등의 변화를 통하여 수축을 감소하기 위한 연구를 병행하고자 한다.

2) 상아질 결합제

현재 사용하는 상아질 결합제는 그 사용방법이 비교적 단순하게 개선된 1 회 도포형(one step)으로 발전하였다. 향후 궁극적인 발전방향은 별도의 상아질 결합제를 사용하지 않고 충전재 자체에 결합성분은 혼입하는 방식을 적용하게 될 것으로 전망된다. 충전용 콤포짓트 레진이나 글라스 아이오노머 또는 수정형인 레진강화형 글라스 아이오노머, 콤포너 등에 상아질결합성분을 첨가하여 별도의 상아질 결합제가 필요 없는 방법 등을 개발하고자 한다.

3) 치과용 합금의 표면처리와 합금과 콤포짓트 레진의 결합강도

치과용 합금과 레진과의 결합력을 높이기 위하여 실란처리, 산처리, 주석도금, 샌드블라스팅 등의 표면처리법을 평가하여 최적의 방법을 제시하고자 한다.

4) 심미수복재를 적용하였을 때 나타나는 광학적 특성

심미수복재를 적용할 때 나타나는 광학적 특성의 변화를 측정, 분석하여 과학적인 바탕 위에서 식충이 가능하도록 하는 간단한 방법을 개발하고자 한다.

5) 방사선 불투과성 아크릴릭 레진의 개발

기존 연구를 바탕으로 상용화 할 수 있는 방사선 불투과성 아크릴릭 레진을 개발하고자 한다.

6) HPLC 및 Gas chromatography 등을 이용한 용출물질의
성량분석

최근 많은 관심을 갖고 있는 환경 호르몬과 피부 및 점막에
자극을 줄 수 있는 저 분자량의 유기물질은 검출하여 생체적합
성과 관련된 연구를 하고자 한다.

4. 그 외 분야

1) 치질의 기계적 특성 평가

치질과 치과용 재료의 결합 및 파괴기전을 평가하기 위하여
치질의 기계적 특성을 측정하고 결합력 향상을 위하여 시술하는
상아질의 산부식에 따른 물성변화를 측정하여, 새로운 결합제
및 수복방법을 개발하기 위한 기초자료를 얻고자 한다.

2) 치과용 장치, 장비 및 기구의 평가

참 고 문 헌

- H. C. Slavkin, "Clinical dentistry in the 21st century",
Compend Contin Educ Dent, Vol. 18, No. 3, pp. 212-
216, 1997
- L. L. Hench, "Biomaterials: a forecast for the future",
Biomaterials Vol. 19, No. 16, pp. 1419-1423, 1998
- G. J. Mount and W. R. Hume, "A new cavity classifica-
tion", Aust Dent J, Vol. 43, No. 3, pp. 153-159, 1998
- G. M. Radz, "Air abrasion: the future of restorative
microdentistry", Compend Contin Educ Dent, Vol. 18,
No. 6, pp. 534-538, 540, 1997
- R. N. Porth, "New concepts in air abrasion", Dent
Today, Vol. 17, No. 3, pp. 66-68, 70-71, 1998
- T. Maruyama, "Esthetic dentistry in the twenty-first cen-
tury. Healthy beauty", Dent Clin North Am, Vol. 42, No.
4, pp. 695-711, 1998
- W. R. Hume, "Restorative dentistry: Current Status and
future directions", J Dent Edu, Vol. 62, pp. 781, 1998
(10): 781-90
- K. F. Leinfelder, "New developments in resin restorative
systems", J Am Dent Assoc, Vol. 128, No. 5, pp. 573-
581, 1997
- J. Nie, L. A. Linden, J. F. Rabek and J. Ekstrand,
"Highly cross linked networks for dental applications ob-
tained by photocuring of tris[2-(acryloyloxy) ethyl/
isocyanurate, 2-ethyl-2-(hydroxymethyl)-1,3-propanediol
triacrylate, and pentaerythritol triacrylate", Acta Odontol
Scand, Vol. 57, No. 1, pp. 1-8, 1999
- N. Davidenko, M. E. Cohen, J. M. Diaz and R. Sastre,
"Development of new photopolymerizable dental sealants", J
Biomater Sci Polym, Vol. 9, No. 9, pp. 891-903, 1998
- N. Jr. Fahl and R. C. Casellini, "Ceromer/FRC technol-
ogy: the future of biofunctional adhesive aesthetic dentis-
try", Signature, Vol. 4, No. 2, pp. 7-13, 1997
- M. Behr, M. Rosentritt, A. Leibrock, S. Schneider-
Feyrer and G. Handel, "Finishing and polishing of the
ceromer material Targis. Lab-side and chair-side methods",
J Oral Rehabil, Vol. 26, No. 1, pp. 1-6, 1999
- L. Rosenthal, T. Trinkner and C. Pescatore, "A new
system for posterior restorations: a combination of ceramic
optimized polymer and fiber-reinforced composite", Pract
Periodontics Aesthet Dent, Vol. 9, No. 5(suppl), pp. 6-
10, 1997
- M. Loose, M. Rosentritt, A. Leibrock, M. Behr and G.
Handel, "In vitro study of fracture strength and marginal
adaptation of fibre-reinforced-composite versus all ceramic
fixed partial dentures", Eur J Prosthodont Restor Dent,
Vol. 6, No. 2, pp. 55-62, 1998
- K. Leinfelder and A. Prasad, "A new condensable com-
posite for the restoration of posterior teeth", Dent Today,
Vol. 17, No. 2, pp. 112-116, 1998
- S. C. Bayne, J. Y. Thompson, E. J. Jr. Swift, P.
Stamatiades and M. Wilkerson M, "A characterization of
first-generation flowable composites", J Am Dent Assoc,
Vol. 129, No. 5, pp. 567-577, 1998
- H. Uchida, J. Vaidyanathan, T. Viswanadhan and T. K.
Vaidyanathan, "Color stability of dental composites as a
function of shade", J Prosthet Dent, Vol. 79, No. 4, pp.
372-377, 1998
- J. C. Setcos, B. Tarim and S. Suzuki, "Surface finish
produced on resin composites by new polishing systems",
Quintessence Int, Vol. 30, No. 3, pp. 169-173, 1999
- J. O. Burgess, M. DeGoes, R. Walker and A. H. Ripps,
"An evaluation of four light-curing units comparing soft
and hard curing", Pract Periodontics Aesthet Dent, Vol.
11, No. 1, pp. 125-132, 1999
- Z. Tarle, A. Meniga, M. Ristic, J. Sutalo, G. Pichler
and C. L. Davidson, "The effect of the
photopolymerization method on the quality of composite
resin samples", J Oral Rehabil, Vol. 25, No. 6, pp. 436-
442, 1998
- T. C. Aw and J. I. Nicholls, "Polymerization shrinkage of
restorative resins using laser and visible light curing" 식 제
(99. 1.29), J Clin Laser Med Surg, Vol. 15, No. 3, pp.
137-141, 1997

22. V. Fano, W. Y. Ma, I. Ortalli and K. Pozela, "Study of dental materials by laser beam scanning", *Biomaterials*, Vol. 19, No. 16, pp. 1541-1545, 1998
23. J. G. Poulos and D. L. Styncer, "Curing lights : changes in intensity output with use over time", *Gen Dent*, Vol. 45, No. 1, pp. 70-73, 1997
24. R. Guggenberger, R. May and K. P. Stefan, "New trends in glass-ionomer chemistry", *Biomaterials*, Vol. 19, No. 6, pp. 479-483, 1998
25. S. Gladys, B. van Meerbeek, M. Braem, P. Lambrechts and G. Vanherle, "Comparative physico-mechanical characterization of new hybrid restorative materials with conventional glass-ionomer and resin composite restorative materials", *J Dent Res*, Vol. 76, No. 4, pp. 883-894, 1997
26. J. W. Nicholson and T. P. Croll, "Glass-ionomer cements in restorative dentistry", *Quintessence Int*, Vol. 28, No. 11, pp. 705-714, 1997
27. J. W. Nicholson, "Glass-ionomers in medicine and dentistry", *Proc Inst Mech Eng*, Vol. 212, No. 2, pp. 121-126, 1998
28. K. M. Hse, S. K. Leung and S. H. Wei, "Resin-ionomer restorative materials for children : a review", *Aust Dent J*, Vol. 44, No. 1, pp. 1-11, 1999
29. A. U. Yap, "Effects of storage, thermal and load cycling on a new reinforced glass-ionomer cement", *J Oral Rehabil*, Vol. 25, No. 1, pp. 40-44, 1998
30. R. A. Shaffer, D. G. Charlton and C. B. Hermes, "Repairability of three resin-modified glass-ionomer restorative materials", *Oper Dent*, Vol. 23, No. 4, pp. 168-172, 1998
31. B. W. Small, "Direct posterior composite restorations-state of the art 1998", *Gen Dent*, Vol. 46, No. 1, pp. 26-32, 1998
32. B. van Meerbeek et al., "The clinical performance of adhesives", *J Dent*, Vol. 26, No. 1, pp. 1-20, 1998
33. P. Magne and W. H. Douglas, "Rationalization of esthetic restorative dentistry based on biomimetics", *J Esthet Dent*, Vol. 11, No. 1, pp. 5-15, 1999
34. A. Olmez, N. Oztas, F. Basak and B. Sabuncuoglu, "A histopathologic study of direct pulp-capping with adhesive resins", *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, Vol. 86, No. 1, pp. 98-103, 1998
35. F. R. Tay, A. J. Gwinnett and S. H. Y. Wei, "Ultrastructure of the resin-dentin interface following reversible and irreversible rewetting", *Am J Dent*, Vol. 10, No. 2, pp. 77-82, 1997
36. C. Prati, S. Chersoni, R. Mongiorgi and D. H. Pashley, "Resin-infiltrated dentin layer formation of new bonding systems", *Oper Dent*, Vol. 23, No. 4, pp. 185-194, 1998
37. T. Pioch, S. Stoltz, H. J. Stachle and H. Duschner, "Applications of confocal laser scanning microscopy to dental bonding", *Adv Dent Res*, Vol. 11, No. 4, pp. 453-461, 1997
38. J. Xu, I. Stangel, I. S. Butler and D. F. Gilson, "An FT-Raman spectroscopic investigation of dentin and collagen surfaces modified by 2-hydroxyethylmethacrylate", *J Dent Res*, Vol. 76, No. 1, pp. 596-601, 1997
39. A. Versluis, D. Tanbirojn and W. H. Douglas, "Why do shear bond tests pull out dentin?" *J Dent Res*, Vol. 76, No. 6, pp. 1298-1307, 1997
40. S. Sudsangiam, R. van Noort, "Do dentin bond strength tests serve a useful purpose?" *J Adhes Dent*, Vol. 1, No. 1, pp. 57-67, 1999
41. O. M. el-Mowafy, M. H. Rubo and W. A. el-Badrawy, "Hardening of new resin cements cured through a ceramic inlay", *Oper Dent*, Vol. 24, No. 1, pp. 38-44, 1999
42. J. Perdigao, L. N. Baratieri and M. Lopes M, "Laboratory evaluation and clinical application of a new one-bottle adhesive", *J Esthet Dent*, Vol. 11, No. 1, pp. 23-35, 1999
43. A. Peutzfeldt and E. Asmussen, "Influence of eugenol-containing temporary cement on efficacy of dentin-bonding systems", *Eur J Oral Sci*, Vol. 107, No. 1, pp. 65-69, 1999
44. Y. Imai and M. Ishikawa, "New initiator system for bonding to dentin using methylcyclohexanedione", *Dent Mater J*, Vol. 16, No. 1, pp. 31-39, 1997
45. D. E. Fischer, "Tissue management needs for adhesive dentistry now and in the future", *Dent Clin North Am*, Vol. 42, No. 4, pp. 595-606, 1998
46. A. J. Qualtrough and V. Piddock, "Ceramics update", *J Dent*, Vol. 25, No. 2, pp. 91-95, 1997
47. K. T. Yetzler, R. D. Woody, A. W. 3rd Miller and B. H. Miller, "In vitro investigation of the wear of human enamel by dental porcelain", *J Prosthet Dent*, Vol. 81, No. 3, pp. 356-364, 1999
48. E. A. McLaren, "Utilization of advanced metal-ceramic technology: clinical and laboratory procedures for a lower-fusing porcelain", *Pract Periodontics Aesthet Dent*, Vol. 10, No. 7, pp. 835-842, 1998
49. R. D. Trushkowsky, "Ceramic inlay fabrication with three-dimensional copy milling technology - Celax", *Compend*

- Contin Educ Dent, Vol. 19, No. 11, pp. 1077-1180, 1182-1184, 1998
50. L. Culp, "Empress 2. First year clinical results", J Dent Technol, Vol. 16, No. 2, pp. 12-15, 1999
 51. T. Sewitch, "Resin-bonded metal-ceramic inlays: a new approach", J Prosthet Dent, Vol. 78, No. 4, pp. 408-411, 1997
 52. A. Leibrock, M. Degenhart, M. Behr, M. Rosentritt and G. Handel, "In vitro study of the effect of thermo- and load-cycling on the bond strength of porcelain repair systems", J Oral Rehabil, Vol. 26, No. 2, pp. 130-137, 1999
 53. A. C. Merjering, N. H. Creugers, F. J. Roeters and J. Mulder, "Survival of three types of veneer restorations in a clinical trial: a 2.5-year interim evaluation", J Dent, Vol. 26, No. 7, pp. 563-568, 1998
 54. P. A. Watson, "Development and manufacture of prosthodontic components: do we need changes?" Int J Prosthodont, Vol. 11, No. 5, pp. 513-516, 1998
 55. P. D. Scott and S. Runner, "The Food and Drug Administration and the regulation of clinical trials for endosseous implants", Ann Periodontol, Vol. 2, No. 1, pp. 284-290, 1997
 56. A. Piattelli, A. Scarano and M. Quaranta, "High-precision, cost-effective cutting system for producing thin sections of oral tissues containing dental implants", Biomaterials, Vol. 18, No. 7, pp. 577-579, 1997
 57. P. R. Klokkevold, R. D. Nishimura, M. Adachi and A. Caputo, "Osseointegration enhanced by chemical etching of the titanium surface. A torque removal study in the rabbit", Clin Oral Implants Res, Vol. 8, No. 6, pp. 442-447, 1997
 58. S. Takagi, L. C. Chow and K. Ishikawa, "Formation of hydroxyapatite in new calcium phosphate cements", Biomaterials, Vol. 19, No. 17, pp. 1593-1599, 1998
 59. F. C. Eichmiller, "Promising new dental materials on the horizon", Compend Contin Educ Dent, Vol. 18, No. 3, pp. 254, 256, 258, 260, 1997
 60. P. Weiss, S. Bobic, M. Lapkowski and G. Daculsi, "Application of FT-IR microspectroscopy to the study of an injectable composite for bone and dental surgery", J Biomed Mater Res, Vol. 41, No. 1, pp. 167-170, 1998
 61. M. Kobayashi, T. Nakamura, J. Tanura, T. Kokubo and T. Kikutani, "Bioactive bone cement: comparison of AW-GC filler with hydroxyapatite and beta-TCP fillers on mechanical and biological properties", J Biomed Mater Res, Vol. 37, No. 6, pp. 301-313, 1997
 62. H. Ohno, Y. Yamane, K. Endo, Y. Araki and Y. Iizuka, "Adhesion of adhesive resin to dental precious metal alloys. Part I. New precious metal alloys with base metals for resin bonding", Dent Mater J, Vol. 17, No. 4, pp. 285-293, 1998
 63. J. Vilaplana and C. Romaguera, "New developments in jewellery and dental materials", Contact Dermatitis, Vol. 39, No. 2, pp. 55-57, 1998
 64. T. G. Berry, J. B. Summitt, A. K. Chung and J. W. Osborne, "Amalgam at the new millennium", J Am Dent Assoc, Vol. 129, No. 11, pp. 1547-1556, 1998
 65. B. M. Eley, "The future of dental amalgam: a review of the literature. Part 7: Possible alternative materials to amalgam for the restoration of posterior teeth", Br Dent J, Vol. 183, No. 1, pp. 11-14, 1997
 66. H. Nakajima, et al., "Surface characterization of amalgam made with Hg-In liquid alloy", J Dent Res, Vol. 76, No. 1, pp. 610-616, 1997
 67. J. W. Osborne, "Photoelastic assessment of the expansion of direct-placement gallium restorative alloys", Quintessence Int, Vol. 30, No. 3, pp. 185-191, 1999
 68. D. McComb, "Gallium restorative materials", J Can Dent Assoc, Vol. 64, No. 9, pp. 645-647, 1998
 69. E. J. DeSchepper, Y. Oshida, B. K. Moore, N. B. Cook and H. Eggertson, "In vitro corrosion behavior and microstructure examination of a gallium-based restorative", Oper Dent, Vol. 22, No. 5, pp. 209-216, 1997
 70. R. R. Wang and Y. Li, "In vitro evaluation of biocompatibility of experimental titanium alloys for dental restorations", J Prosthet Dent, Vol. 80, No. 4, pp. 495-500, 1998
 71. T. I. Kim, J. H. Han, I. S. Lee, K. H. Lee, M. C. Shin and B. B. Choi, "New titanium alloys for biomaterials: a study of mechanical and corrosion properties and cytotoxicity", Biomed Mater Eng, Vol. 7, No. 4, pp. 253-263, 1997
 72. J. P. Fricker, "A new self curing resin-modified glass-ionomer cement for the direct bonding of orthodontic brackets in vivo", Am J Orthod Dentofacial Orthop, Vol. 113, No. 4, pp. 384-386, 1998
 73. H. Eberhard, U. Hirschfelder and J. Sindel, "Compomers - a new bracket bonding generation in orthodontics?" J Orofac Orthop, Vol. 58, No. 1, pp. 62-69, 1997
 74. R. J. Nikolai, "Orthodontic wire: a continuing evolution", Semin Orthod, Vol. 3, No. 3, pp. 157-165, 1997

75. J. P. Dean, B. G. Jeansonne and N. Sarkar, "In vitro evaluation of a carbon fiber post", J Endod, Vol. 24, No. 12, pp. 807-810, 1998
76. Y. Kakehashi, H. Luthy, R. Naef, A. Wohlwend and P. Schärer, "A new all-ceramic post and core system: clinical, technical, and in vitro results", Int J Periodontics Restorative Dent, Vol. 18, No. 6, pp. 586-593, 1998
77. M. N. Mandikos, "Polyvinyl siloxane impression materials: an update on clinical use", Aust Dent J, Vol. 43, No. 6, pp. 428-434, 1998
78. J. G. Poulos and L. R. Antonoff, "Disinfection of impressions. Methods and effects on accuracy", N Y State Dent J, Vol. 63, No. 6, pp. 34-36, 1997
79. R. D. Trushkowsky, "One visit composite onlay utilizing a new flexible model material", Am J Dent, Vol. 10, No. 1, pp. 55-56, 1997
80. M. Yan and H. Takahashi, "Gypsum-bonded alumina dental investment for high-fusing casting", Dent Mater J, Vol. 17, No. 3, pp. 174-185, 1998
81. R. D. Trushkowsky, "Use of a clear matrix to minimize finishing of a posterior resin composite", Am J Dent, Vol. 10, No. 2, pp. 111-112, 1997
82. J. C. Hamilton, K. E. Krestik and J. B. Dennison, "Evaluation of custom occlusal matrix technique for posterior light-cured composites", Oper Dent, Vol. 23, No. 6, pp. 303-307, 1998
83. A. Hamid and W. R. Hume, "A study of component release from resin pit and fissure sealants in vitro", Dent Mater, Vol. 13, No. 2, pp. 98-102, 1997
84. M.-L. Henriks-Eckerman and L. Kanvera, "Product analysis of acrylic resins compared to information given in material safety data sheet", Contact Dermatitis, Vol. 36, No. 3, pp. 164-165, 1997
85. M. R. Wirthlin, G. C. Armitage, S. Rao, B. Fritzingler, S. Phillips and J. Heller, "A mucosal irritancy test device for intraoral use in dogs", J Periodontol, Vol. 68, No. 8, pp. 746-749, 1997
86. C. J. Kirkpatrick, et al., "The cell and molecular biologic approach to biomaterial research: a perspective", J Mat Sci Mat Med, Vol. 8, pp. 131, 1997
87. P. K. Vallittu, "Glass fiber reinforcement in repaired acrylic resin removable dentures: preliminary results of a clinical study", Quintessence Int, Vol. 28, No. 1, pp. 39-44, 1997
88. H. E. Strassler, A. Haeri and J. P. Gultz, "New-generation bonded reinforcing materials for anterior periodontal tooth stabilization and splinting", Dent Clin North Am, Vol. 43, No. 1, pp. 105-126, 1999
89. M. Yoshikawa, Y. Terada and T. Toda, "Setting time and sealing ability of alpha-tricalcium phosphate cement containing titanite oxide", J Osaka Dent Univ, Vol. 32, No. 2, pp. 67-70, 1998
90. R. K. Bansal, U. S. Tewari, P. Singh and D. V. Murthy, "Influence of talc on the properties of polycarboxylate cement", J Oral Rehabil, Vol. 24, No. 1, pp. 76-79, 1997