

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

新型牙科全瓷植體之研發 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2314-B-040-020-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：中山醫學大學口腔材料科學研究所

計畫主持人：燕敏
共同主持人：丁信智
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：魏忠楷

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 96 年 10 月 24 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※※
※ 新型牙科全瓷植體之研發 ※
※※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：NSC 95-2314-B-040-020
執行期間：95 年 8 月 1 日至 96 年 7 月 31 日

計畫主持人：燕敏

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：中山醫學大學口腔材料科學研究所

中華民國 96 年 10 月 21 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

新型牙科全瓷植體之研發

Development of new all-ceramics for dental implant applications

計畫編號：NSC 95-2314-B-040-020

執行期限：95 年 8 月 1 日至 96 年 7 月 31 日

主持人：燕敏 中山醫學大學口腔材料科學研究所

共同主持人：丁信智 中山醫學大學口腔材料科學研究所

計畫參與人員：魏忠楷 中山醫學大學口腔材料科學研究所

楊春全 寶元科技公司，牙模事業部

一、中文摘要

近年，隨著牙科陶瓷材料的不斷改良以及研發出 CAD/CAM 系統，全瓷牙冠已經應用於牙科鑲復治療。牙科陶瓷材料具有很好的生物相容性、美觀性、穩定的化學性和熱性質。但全瓷牙冠較容易受到陶瓷材料固有的脆性和弱彎曲強度的影響，陶瓷材料的機械性質對於牙科鑲復物的使用期很重要的，尤其是需要有適合的抗疲勞性質。最近研發出一些新型的抵抗破裂增殖的牙科陶瓷材料。

本研究的目的是評估三種 CAD / CAM 系統的牙科全陶瓷材料 (Pro CAD, e.max CAD 和 e.max ZirCAD) 的雙軸彎曲強度，模擬口腔咀嚼情況，探討全陶瓷的疲勞壽命。試片的形狀為圓盤狀 (12 mm x 1.2 mm)，按照 ISO 6872 標準進行雙軸彎曲強度測試以及在水的環境和反覆機械作用下的動態疲勞測試。之後對三種陶瓷材料的雙軸彎曲強度值作韋伯統計分析。結果顯示 e.max ZirCAD 的雙軸彎曲強度值 1000.2 MPa 明顯的高於 ProCAD 和 e.maxCAD (123.4 MPa 和 394.7 MPa) 的強度，用 One-way ANOVA 統計分析三種全陶瓷材料的雙軸彎曲強度間存在顯著的差異 ($p < 0.05$)。三種陶瓷材料的韋伯模數範圍在 4.5 至 14.5。當負載為 50N，機械循環次數為 20,000 次或 100,000 次的條件下，ProCAD 和 e.maxCAD 的疲勞強度有少量

改變，但機械循環作用之前、後的雙軸彎曲強度沒有統計學上的差異 ($p > 0.05$)。在疲勞試驗中當循環作用 64,000 次，ProCAD 和 e.maxCAD 試片破斷時所能承受的應力減少，只有原來強度的 76% 及 42%。此外，浸泡在人工唾液中測試的 ProCAD 和 e.maxCAD 試片的疲勞壽命也明顯減少。結論是三種應用於 CAD / CAM 系統的全陶瓷材料的雙軸彎曲強度存在顯著的差異。陶瓷材料自身的穩定性受到循環作用力以及水的環境的影響，隨著循環作用的增加，抗疲勞的強度下降。

關鍵詞：牙科全陶瓷，雙軸彎曲強度，機械性質，CAD / CAM 技術

Abstract

In recent years all-ceramic crown has been used as dental ceramics restoration because of improved dental ceramic materials, as well as newly developed computer-assisted design / computer-assisted manufacture (CAD/CAM) ceramic system. The dental ceramics exhibit their biocompatibility, aesthetics, chemical stability, and thermal stability. However, the all-ceramic crown is also susceptible to brittle fracture with the low flexural strength. Because the mechanical properties of

all-ceramic materials play a crucial role in the long-term restorative dentistry, it is worthy to examine the fatigue behavior of all-ceramics. A variety of all-ceramic materials have been developed to prevent inner crack propagation that can cause crown failure.

The aim of this study was to evaluate the biaxial flexural strength (BFS) of three all-ceramic systems (Pro CAD, e.max CAD and e.max ZirCAD) used for CAD/CAM. To simulate oral mastication the cyclic loading was performed to investigate fatigue lifetime of all-ceramic. The disc-type specimen of each material (12 mm x 1.2 mm) was fabricated. The specimens were tested in BFS test followed ISO 6872 standard, and dynamic fatigue test under aqueous and cyclic loading was also measured. The calculation of BFS and data were also analyzed with the Weibull distribution function. The results of mean BFS revealed that e.max ZirCAD had a significantly higher value of 1000.2 MPa than those of ProCAD and e.max CAD (123.4 MPa and 394.7 MPa). One-way analysis of variance (ANOVA) showed significant difference in BFS among the three groups ($p < 0.05$). Weibull modulus ranged from 4.5 to 14.5. Mechanical cycling for 20,000 or 100,000 cycles under 50N in water, small changes in the BFS for both ProCAD and e.max CAD but it was not statistically significant ($p > 0.05$). For specimens of ProCAD and e.max CAD the cyclic loading stress was lower than 76% (94 MPa) and 42% (165 MPa) of the BFS value (123 and 395 MPa), respectively, when both specimens fractured with mechanical cycling for 64,000 cycles in water. Additionally, a marked decrease in fatigued lifetime of

ProCAD and e.max CAD was recorded in artificial saliva. The results suggested that there were significant differences in BFS among the three all-ceramic systems. The stability of all-ceramic bodies was affected by the cyclic loading, and in an aqueous environment, with a remarkable decrease in strength as the number of cycles increased.

Keywords: Dental all-ceramics, Biaxial flexural strength, Mechanical property, CAD/CAM technology

二、緣由與目的

陶瓷材料具有近似天然牙齒的色澤美觀及很好的生物相容性[1]。近年，隨著牙科陶瓷材料的不斷進步，也研發出可應用 CAD / CAM (computer-assisted design / computer-assisted manufacture) 技術的牙科全陶瓷材料，目前該材料已經應用於牙科臨床治療。但是，與金屬及樹脂材料相比較，陶瓷材料具有的脆性和對於衝擊力較弱的缺點。雖然抗壓強度很強，可是其抗拉強度以及彎曲強度的較弱，當受到外力時，幾乎沒有塑性變形就發生破壞，所以陶瓷牙冠鑲復物受到較大的衝擊力作用時容易破損。

一般就牙科材料而言，對使用在牙齒咬合面的修復材料要求能夠承受來自多個方向的咀嚼壓力，特別是在飲食過程中，牙齒間長期的反覆的咬合、咀嚼壓力，會使修復物材料內部產生動、靜態的疲勞應力。當後牙區有牙冠鑲復物時，破損部位通常發生在咬合面的裂溝處，分析主要的原因是因為牙齒的咬合面比其它牙面在咀嚼食物時，需要承受多方向而且較大的咀嚼壓力，因此材料表面容易產生較大的拉應力。此外，在臨床上治療後的鑲復物都

需要承受長期配戴在口腔環境中的考驗，因飲食的需求，口腔內的溫度、酸鹼度(pH值)時常變化，口腔唾液的潮濕環境，加上一些口腔內微生物的存在等，這些因素均可能導致牙齒修補材料的溶解、脫落，特別是在牙齒受力的情況下更容易發生[2-6]。有研究報告指出：應用陶瓷冠修復物在使用後第5年時的破損率為30%[7]，其他的報告指出在使用後的第7年時的破損率為1.5-15%[8]。陶瓷牙冠修復物的臨床壽命一直是臨床研究者關注的問題，一些研究[9-11]探討了牙科陶瓷材料在不同的負載條件下的機械性質及疲勞行為，指出陶瓷材料的組成對於材料的破損的發生部位，裂縫增殖狀況，以及機械性質及疲勞行為都有顯著的影響。

本研究選用三種市售 CAD/CAM 系統的全陶瓷材料，模擬口腔環境與咀嚼狀況，測試材料的動、靜態時的雙軸彎曲強度與疲勞強度等，並使用 SEM 評估材料內部破壞結構，發生部位，探討模擬口腔環境對全陶瓷材料的機械性質及疲勞特性的影響。

三、結果與討論

雙軸彎曲強度

表 1 為使用三種 CAD/CAM 系統的牙科全瓷材料 (Pro CAD, e.max CAD 和 e.max ZirCAD) 的雙軸彎曲強度和韋伯模數(Weibull moduli, m)。實驗結果顯示使用 e.max ZirCAD 陶瓷試片的雙軸彎曲強度為最高，其次為 e.max CAD，最低的為 Pro CAD 陶瓷試片的強度，在三種全瓷材料的雙軸彎曲強度間存在著明顯差異 ($p < 0.05$)。根據一些研究報告指出：陶瓷材料的機械性質會受到材料本身組成成分、燒製溫度和製作過程方式以及試片大小的影響[8,10,11]。本研究選用的三種牙科陶瓷的製作方式雖然都屬於 CAD/CAM 技術系

統的全瓷材料，但是，如表 2 所示各材料的組成成分及臨床使用目的有很大的不同，因此三種陶瓷組成的不同應是它們強度間差異的主要原因所在。若以用途或組成為分類，與其他商品的牙科陶瓷的機械性質進行比較，本研究中所使用的三種材料的雙軸彎曲強度些微高於或相近於文獻中的強度值 [9,10]。

應用韋伯統計分析方法對三種材料的雙軸彎曲強度值計算，求出各材料的韋伯模數並以回歸分析繪出直線之斜率。圖 1 為三種材料的雙軸彎曲強度的韋伯分析結果，韋伯模數範圍在 4.5- 14.5 (表 2)。韋伯模數值的大小反應實驗結果的分佈狀況，韋伯模數值高顯示實驗結果的分佈較集中，其可信賴度高[12]。文獻報告陶瓷材料的韋伯模數大致在 5-15[13]，也有針對不同用途的牙科陶瓷材料 (包括不同組成成分以及不同製作方式) 的機械性質研究，根據雙軸彎曲強度統計分析得到的韋伯模數為 8.4-20.8[9,10]。比較上述文獻資料，本研究的結果除了使用 Pro CAD 試片的韋伯模數值低於 5 以外，其餘二種陶瓷材料試片的韋伯模數值都在該範圍內，對於牙科陶瓷是可以接受的。

疲勞測試下的雙軸彎曲強度

本研究為進一步模擬口腔實際狀況，探討負載對陶瓷材料影響以及材料的疲勞壽命。圖 2 為二種陶瓷材料經過 20,000 次及 100,000 次低負載的循環作用後的雙軸彎曲強度。比較試片疲勞測試前的結果，顯示 e.max CAD 陶瓷在水中經過 100,000 次循環後的雙軸彎曲強度有明顯降低為 298.9 ± 93.2 MPa，而 Pro CAD 陶瓷在水中經過 20,000 次循環後的雙軸彎曲強度增加為 150.2 ± 32.6 MPa，但是比較同一種材料其疲勞測試前、後的雙軸彎曲強度結果，二種材料都沒有統計學上的差異 ($p > 0.05$)。許多研究[9,11,14-18]希望模擬人

的實際口腔狀態，對不同的牙科陶瓷材料施以 4.9-300N 的負載，經過 1-100,000 次循環測試，其中有文獻指出材料發生破裂的時間可能在 1000 -100,000 次的循環中 [16]。有文獻報告指出在水中經過上述測試條件後，陶瓷材料的疲勞強度明顯降低 [11]。也有文獻報告在強度方面雖然有降低，但是結果在統計學上沒有差異 [9,18]。本研究的二種陶瓷材料經過 20,000 次 (ProCAD) 及 100,000 次 (e.max CAD) 低負載的機械循環作用後的雙軸彎曲強度測試結果與這些報告的結果一致 [9,18]。

圖 3 為陶瓷材料的 stroke-cycle 曲線。實驗結果顯示二種陶瓷材料在水中測試條件下，當機械循環次數為 64,000 時，材料發生破斷時的所承受應力分別 ProCAD 試片為 94MPa (圖 3)，e.max CAD 試片為 165MPa。二種陶瓷材料的動態疲勞強度相比靜態狀況下的雙軸彎曲強度均明顯的有減少，ProCAD 與 e.max CAD 疲勞強度分別為靜態雙軸彎曲強度的 76% 與 42%。實驗結果顯示：陶瓷材料固有的機械性質的穩定性受到循環作用力以及水的環境的影響，隨著機械循環作用的增加，抗疲勞的強度下降。與文獻報告結果一致 [11]。文獻指出人類按每天咀嚼 1400 次，咬合力為 250N 來計算，牙科陶瓷鑲覆物的使用壽命若要達到 20 年，依不同類型的陶瓷材料所承受的力不能大於 15 或 40, 43MPa [19]。一般人在咀嚼時，前牙區牙齒所承受的咀嚼壓力較小等於或小於 200N 以下，而在後牙區承受的咀嚼壓力比較大，大約 700N 甚至更高。若以二種實驗用的陶瓷材料 (ProCAD 與 e.max CAD) 在 10^7 次機械循環作用下被破壞來計算的話，這些材料的臨床壽命大約為 10 年。

本研究經人工唾液測試後的結果顯示，當二種陶瓷材料試片分別承受 94MPa (ProCAD) 與 165MPa (e.max CAD) 應力作用下而發生破斷時，試片所經歷的機

械循環次數明顯減少，ProCAD 與 e.max CAD 試片的破斷循環次數分別為 27,400 與 46,000 次，顯示人工唾液對於陶瓷的機械性質與壽命也有顯著的影響。一般認為陶瓷材料的化學性質穩定，與金屬及樹脂材料相比不容易受到口腔環境的影響，但有文獻指出在材料受力的作用狀況下，水的環境具有助於陶瓷材料內部裂隙增殖的作用 [20,21]。最近有研究指出只要陶瓷材料本身具有足夠的強度，鑲覆物有適當的設計以及使用時減少受到最大拉應力的作用，氧化鋁類的全陶瓷材料是可以抵抗反覆的機械作用和水的环境因素的影響 [22]。也有研究 [23] 指出人類咀嚼時平均速率為 0.8/1.0s，因此測試時大約 1Hz 的頻率較適宜。由於本研究在水中測試的頻率為 1Hz 而與在人工唾液中測試使用的頻率不同 (5Hz)，因此可能造成上述結果的差異性。但是真正的原因還需要後續的試驗來證實，相關人工唾液的影響因素與機制也需要今後進一步的探討和研究。

顯微結構觀察

使用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 觀察二種陶瓷材料試片的破斷面的微結構，圖像顯示經過雙軸彎曲強度和疲勞測試後的試片破斷面呈現典型的破壞結構，裂隙開始發生在試片受張力作用側，在破斷面可見 mirror 與 mist 現象，並隨裂隙增殖而出現的分枝組織結構，以及較粗糙的羽狀區 (hackle) 與較平坦的區域。

四、計畫成果自評

根據上述的實驗結果，可以瞭解到三種 CAD/CAM 系統的全陶瓷材料的機械性質，以及在模擬口腔環境與咀嚼狀況下，動態時的疲勞特性，評估實驗結果後，結論為：

1. 三種全瓷材料的雙軸彎曲強度間存在著明顯差異。

2. 二種陶瓷材料經過 20,000 次 (ProCAD)及 100,000 次(e.max CAD)的低負載 (50N) 機械循環作用後, 其強度與靜態時的雙軸彎曲強度之間沒有統計學上的顯著差異。

3. 陶瓷材料自身的機械性質的穩定性受到循環作用力以及水的環境的影響, 隨著循環作用的增加, 抗疲勞的強度下降。

4. 模擬人工唾液對於陶瓷的機械性質與壽命有顯著的影響。

本研究的成果, 對於瞭解牙科全陶瓷材料的基礎性質、組成及製作, 今後牙科全陶瓷的研發或相關機械特性的研究將有很大的幫助。同時對於口腔臨床全陶瓷覆蓋物在選擇材料, 製作設計, 使用注意事項以及延長使用期限等方面均有參考價值。

五、參考文獻

- [1]Curtis AR, Wright AJ, Fleming GJP. The influence of simulated masticatory loading regimes on the bi-axial flexure strength and reliability of a Y-TZP dental ceramic. *J Dent* 2006; 34: 317-325.
- [2]McLean JW. The science and art of dental ceramics, vol 1. The Nature of dental ceramics and their clinical use. Chicago: Quintessnce, 1979.
- [3]McLean JW. Evolution of dental ceramics in the twentieth century. *J Prosthet Dent* 2001; 85:61-66.
- [4]Wildgoose DG, Johnson A, Winstanley RB. Glass/ceramic/refractory techniques, their development and introduction into dentistry: A historical literature review. *J Prosthet Dent* 2004; 91:136-143.
- [5]Kojima Y, Yamamoto M, Murakami H, Ito Y. Stress analysis of an all ceramic crown on lower second molar. *J J Dent Mater* 2001; 20(3): 200-208.
- [6] Taskonak B and Sertgöz A. Two-year clinical evaluation of lithia-disilicate-based all-ceramic crowns and fixed partial dentures. *Dent Mater* 2006; 22(11): 1008-1013.
- [7]佐藤友彦, 古賀和憲. Castable ceramics 應用審美的的齒冠修復. Quintessnce 出版,1994, 15.
- [8]McLean JW. Dental ceramics, Proceedings of the first international symposium on ceramics. Chicago: Quintessnce, 1983.
- [9] Pittayachawan P, McDonald A, Petrie A and Knowles JC. The biaxial flexural strength and fatigue property of Lava™ Y-TZP dental ceramic. *Dent Mater* 2007; 23(8): 1018-1029.
- [10]Jin JY, Takahashi H, Iwasaki N. Effect of test methods on flexural strength of recent dental ceramics. *Dent Mater J* 2004; 18(4): 490-496.
- [11] Studarta AR, Filser F, Kocher P, Luthy H, Gauckler LJ. Cyclic fatigue in water of veneer-framework composites for all-ceramic dental bridges. *Dent Mater J* 2007; 23: 177-185.
- [12]Ritter JE. Predicting lifetimes of materials and material structures. *Dent Mater* 1995; 11:142-146.
- [13]Ban S, Anusaavice KJ. Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. *J Dent Res* 1990; 69: 1791-1799.
- [14] Drummond JL, King TJ, Bapna MS, Koperski RD. Mechanical property evaluation of pressable restorative ceramics. *Dent Mater* 2000; 16: 226-233.
- [15]Sobrinho LC, Cattell MJ, Glover RH, Knowles JC. Investigation of the dry and wet fatigue properties of three all-ceramic crown systems. *Int J Prosthodont* 1998; 11: 255-262.
- [16] Ohyama T, Yoshinari M, Oda Y. Effects of cyclic loading on the strength of all-ceramic materials. *Int J Prosthodont* 1999; 12: 28-37.
- [17] Koutayas SO, Kern M, Ferraresco F, Stub JR. Influence of design and mode of loading on the fracture strength of all-ceramic resin-bonded fixed partial dentures: an in vitro study in a dual-axis chewing simulator. *J Prosthet Dent* 2000; 83: 540-547.
- [18]Itinoche KM, Ozcan M, Bottino MA, Oyafuso D. Effect of mechanical cycling on the flexural strength of densely sintered ceramics. *Dent Mater* 2006; 22:

1029–1034.

- [19]Kelly JR. Ceramics in restorative and prosthetic dentistry. Annu Rev Mater Sci 1997; 27: 443–468.
- [20]Michalske TA, Freiman SW. A molecular mechanism for stress-corrosion in vitreous silica. J Am Ceram Soc 1983; 66: 284–288.
- [21]Chevalier J, Olagnon C, Fantozzi G. Subcritical crack propagation in 3Y-TZP ceramics: static and cyclic fatigue. J Am Ceram Soc 1999; 82: 3129–3138.
- [22]Studart AR, Filser F, Kocher P, Gauckler LJ. Fatigue of zirconia under cyclic loading in water and its implications for the design of dental bridges. Dent Mater 2007; 23: 106–114.
- [23]Jemt T, Karlsson S, Hedegard B. Mandibular movement in young adults recorded by internally placed light-emitting diode. J Prosthet Dent 1979;42: 669–73.

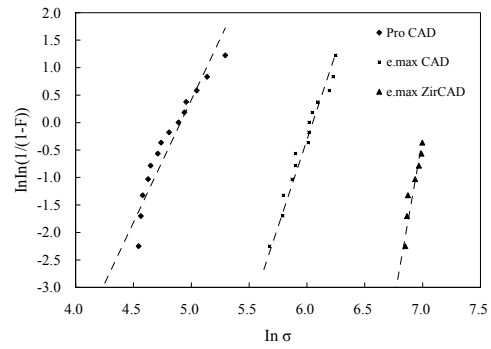


圖 1. 三種牙科陶瓷材料強度的韋伯分析

表 1. 三種牙科陶瓷材料的雙軸彎曲強度與韋伯模數(m)

Product	Biaxial flexural strength	
	mean / MPa	<i>m</i>
Pro CAD	123.4 (33.6)	4.5
e.max CAD	394.7 (73.9)	6.3
e.max Zir CAD	1000.2 (75.3)	14.5

() : SD

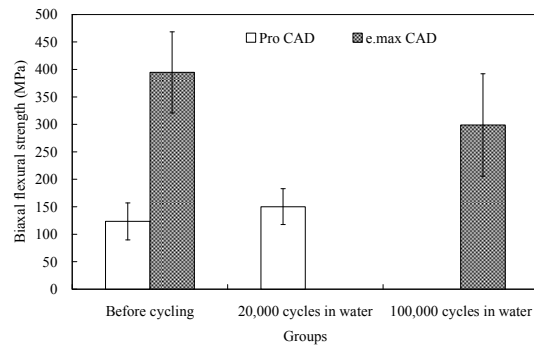


圖 2. 疲勞試驗前後兩種陶瓷材料試片的雙軸彎曲強度

表 2. 三種牙科陶瓷材料的組成成分及用途

Product	Materials	Uses
Pro CAD	Leucite-reinforced glass-ceramic	Veneers, Inlays, Onlays
e.max CAD	Lithium disilicate glass-ceramic	Single tooth copings
e.max Zir CAD	Zirconium oxide	Crown copings, 3- 4 unit bridge frameworks for anterior and posterior region

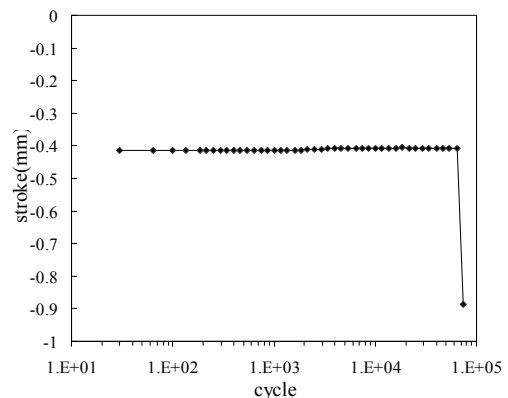


圖 3. ProCAD 的 stroke-cycle 曲線圖。材料破斷發生於作用力為 94 MPa，循環次數為 64000。

行政院國家科學委員會補助國內專家學者出席國際學術會議報告

96 年 5 月 22 日

附件三

報告人姓名	燕 敏	服務機構 及職稱	中山醫學大學 副教授
時間 會議 地點	2007 年 5 月 12-13 日本、北海道、札幌	本會核定 補助文號	95-2314-B-040-020-
會議 名稱	(中文)第 49 屆日本齒科理工學會研討會 (英文) The 49th General Session of the Japanese Society for Dental Materials and Devices		
發表 論文 題目	(中文)快速鑄造條件下鎳鉻合金鑄造物的適合性 (英文) Fitness of Ni-Cr casting made with quick heating method		
<p>報告內容應包括下列各項：</p> <p>一、參加會議經過 本人於 96 年 5 月 11 抵達日本、北海道、札幌，在 5/12 -13 期間參加、出席了今年第 49 屆日本齒科理工學會研討會一般會議，於 5 月 12 日以壁報形式發表個人近期的研究成果，之後平安返國。</p> <p>二、與會心得 今年的第 49 屆日本齒科理工學會學術大會，是與第 25 屆日本接著齒學會學術大會聯合在北海道札幌市舉辦。在本次大會上兩天時間中，共有 187 個題目在 4 個會場內進行了發表，同時也有牙科器材儀器的展示。今年的發表題目以探討接著技術、材料為多，會中並舉辦了題目為「接著齒學的現在與未來」的特別演講。其他也有對於牙科材料如合金、鈦；腐蝕；臨床應用以及牙科用雷射、機械、技術等方面有很多篇的研究報告發表。本人近年主要研究方面是對金屬鈦及牙科用全瓷材料的研究，因此對於這些相關的課題內容、試驗方法很感興趣，一些資訊將對本人今後的研究有很大的幫助和啟發。出席今年在日本齒科理工學會學術會議，也使本人能遇見在日本留學時代的老師和同學、以及有與日本的研究者相互交流的機會，獲得很多收穫。</p> <p>三、考察參觀活動(無是項活動者省略)</p> <p>四、建議</p> <p>五、攜回資料名稱及內容 第 25 屆日本接著齒學會學術大會及第 49 屆日本齒科理工學會學術大會 綜合 Program Book 一冊。</p> <p>六、其他</p>			