

# 利用振動理論量測牙齒力學特性以作為牙齒健康狀態評估之研究

計畫編號：NSC 89-2314-B-038-052

執行期限：89年08月01日至91年07月31日

主持人：林哲堂 台北醫學大學口腔醫學院

共同主持人：李勝揚 台北醫學大學口腔復健醫學研究所

計畫參與人員：黃豪銘 台北醫學大學醫事技術學系

余俊傑 台北醫學大學口腔復健醫學研究所

## 一、中文摘要

牙周病是一種常見的疾病，易導致缺牙的發生。臨床上有許多方法被用來檢測齒槽骨缺損，但往往無法提供牙醫師準確的判斷。為了模擬自然牙牙周缺損的狀況並克服實驗檢測上所遭遇的困難與不便，本實驗利用有限元素模型搭配模態測試，來模擬因牙周病而產生的幾種不同牙周變化及齒槽骨缺損的情形，藉以了解並釐清不同齒槽骨缺損形式與程度對牙齒共振頻率及動搖度的影響。本研究結果顯示，利用共振頻率的方法或許可以成為診斷牙周狀態的一種臨床輔助工具。

關鍵詞：牙周病、振動分析、有限元

## Abstract

When inspecting a periodontal disease, various types of apparatus for measuring of tooth mobility have been proposed. However, these types of devices and methodologies are insufficient in terms of reliability. To assess the periodontal attachment level of natural teeth, an innovative, non-destructive and time saving method, using vibrating theories, was presented in this study. There was a linear relationship between the frequency and the attachment level. The resonance frequencies of teeth decreased with the lowering of the attachment level. These findings suggested that resonance frequency method may be a useful, auxiliary clinical tool in diagnosis of periodontal diseases.

Keywords: Periodontal disease, Vibrational analysis, finite element

## 二、緣由與目的

當齒槽骨一旦遭受病菌的侵犯，便會有不同程度與方向的破壞與喪失。這種齒槽骨的吸收可以分為水平式齒槽骨吸收及垂直性齒槽骨吸收。其中水平式齒槽骨吸收在罹患牙周病的牙齒中是最常見的，其特徵是齒槽脊尖會發生接近均勻一致的吸收。垂直性齒槽骨吸收的特徵則是齒間中隔呈現不規則的吸收<sup>2</sup>。依齒槽骨在牙周不對稱吸收的情形，可以區分為單側齒槽骨缺損、雙側齒槽骨缺損及三側齒槽骨缺損，而不同形式及程度的骨缺損將導致牙齒在不同解剖方向動搖度的差異。

臨床上用來判定齒槽骨喪失的工具主要是牙周探針，其是最常被用來檢查及判定附連高度及齒槽骨缺損程度的工具，然而其準確性卻常為人所質疑<sup>3-6</sup>。放射線影像的灰階密度變化也常被用來評估牙周齒槽骨遭破壞的程度。但以放射線影像檢測骨質流失必須有30%以上的骨流失量在X-光片上才能判斷出來<sup>7,8</sup>，以致無法作為早期診斷的工具。而且X光表現出的影像是二度空間，單側齒槽骨缺損、雙側齒槽骨缺損及三側齒槽骨缺損在X-光片上常會受到正常側的齒槽骨遮蔽而導致誤判。

近年來在口腔醫學研究上所使用的牙周檢測計<sup>10</sup>不適用於後牙區，使得這種儀器的臨床應用性大打折扣。

共振頻率為物質剛性與質量的函數<sup>11</sup>，結構物的固持狀態改變時會表現在共振頻率上，因此共振頻率也被用來作為結構物邊界狀況的評估工具。其測量方法是一種非侵入性及非破壞性的檢測方法，因此在生物醫學的應用上，這項技術應用在牙齒穩定度評估上較為可行。

Lee 等人<sup>15</sup>發現，共振頻率與牙周附

連高度之間有一近乎線性的關係存在。而 Huang 等人<sup>16</sup>發現，罹患牙周病牙齒之共振頻率有下降趨勢，且結論認為共振頻率應可作為偵測牙周狀況的依據。但他們對於遭受不同形式與程度的齒槽骨缺損(水平式或垂直性齒槽骨吸收)之牙齒的共振頻率變化，尚未有深入的探討，因此，數值模擬便成了研究此臨床現象的最好工具。

為了更進一步了解罹患牙周病後的牙周變化及齒槽骨缺損吸收情形，本研究嘗試以三維有限元素模型搭配模態測試，來模擬因牙周病而產生的各種不同牙周變化及齒槽骨缺損情形，藉以釐清不同的齒槽骨喪失吸收的形式與程度對牙齒共振頻率的影響，進而對牙周病的診斷及治療提供一個更好的參考依據。

### 三、材料與方法

本研究使用 ANSYS 套裝軟體來建構上顎正中門齒的三維有限元素模型。模型之幾何外型選自一健康且無磨耗的上顎正中門齒，而選擇的標準係基於 Ash 等人(1993)對牙齒型態的研究結果<sup>18</sup>。將牙齒沿切端至牙根方向做電腦斷層掃描，以每一毫米為間隔做一橫斷面斷層影像處理。利用 ANSYS 的前處理模組做三度空間的模型重建，在將座標點轉換成有限元素之節點之後，將其網格化。

當牙齒模型包括有牙釉質、牙本質、牙髓、牙周韌帶、緻密骨及海綿骨等部分。各部位的尺寸與材料性質則選自文獻記載<sup>19,20,21</sup>。在邊界條件設定方面，由於自然頻率的量測是沿唇舌面激發及接收振動頻率<sup>16,15</sup>，因此本模型之邊界條件選擇，為固定齒槽骨在近心面及遠心面上的所有節點。在黏彈性質方面，則對牙齒黏彈性質的量測後，以結構阻尼參數 0.0034% 帶入整個模型中。為確定模型可信度<sup>22</sup>，模型在建立完成後，係與 Lee 等人及 Huang 等人的臨床實驗結果比較<sup>15,16</sup>。

為了模擬因牙周病而產生的各種不同方向及程度的牙周變化及齒槽骨缺損，將模型中不同部位的牙周韌帶、緻密骨及海綿骨元素移除，來模擬水平式和垂直性齒槽骨吸收。模擬方法為：1. 水平式齒槽骨吸收：從 CEJ 下 3 毫米開始直至 CEJ 下 10 毫米為止<sup>15</sup>，每隔 1 毫米改變其邊界條件，

將同一水平面之牙周韌帶、緻密骨及海綿骨之元素移除。2. 垂直性齒槽骨吸收：依據部位的不同可以區分為單側齒槽骨缺損：包括了唇側、舌側、近心側、遠心側。雙側齒槽骨缺損：包括了唇側-近心側、唇側-遠心側、舌側-近心側、舌側-遠心側。三側齒槽骨缺損：包括了唇側-近心側-舌側、唇側-遠心側-舌側、近心側-唇側-遠心側、近心側-舌側-遠心側。為了模擬不同部位垂直性齒槽骨吸收，從 CEJ 下 3 毫米開始直至 CEJ 下 10 毫米為止，每隔 1 毫米改變其邊界條件，將不同部位(單側、雙側、三側)牙周韌帶、緻密骨及海綿骨之元素移除。

模型完成後則進入演算模式，利用 ANSYS 所提供的模態分析模組，來計算罹患牙周病而產生齒槽骨缺損的牙齒，在不同形式的邊界骨高度下之前四個共振頻率值。

### 四、結果與討論

圖一為模擬發生水平式齒槽骨吸收的情形，共振頻率會隨著牙周附連高度降低而由 2660 Hz 減少到 639 Hz，兩者的關係近似於線性( $Y = -274.1X + 3268.9$ ，其中 X 為牙齒之附連高度；mm，Y 為所對應之共振頻率；Hz)。這樣減少的比率和近乎線性的現象，與體外模態測試實驗的結果<sup>15</sup>呈現同一趨勢的變化。而由 Huang (2001) 等人<sup>16</sup>的體內實驗結果顯示，當牙周附連高度下降時，其共振頻率亦會減低，此現象與本研究所得結果的極為一致。此外，當牙周發生病變時，邊界條件會發生改變，此時必然導致牙齒的共振頻率發生變化，因此量測牙齒的共振頻率可間接探知牙周變化。

在模擬臨床上發生垂直式齒槽骨吸收的情形中，共振頻率變化如圖二所示。在唇側、舌側、近心側與遠心側的齒槽骨缺損時，共振頻率減少的比率分別為 14.2%、20.1%、19.9% 及 19.6%。圖三為模擬不同部位雙側齒槽骨缺損的情形，此時牙齒模型在唇側-近心側與舌側-近心側的齒槽骨缺損時，共振頻率減少的比率分別為 28.5% 及 37.1%；而在舌側-遠心側與唇側-遠心側的齒槽骨缺損時，共振頻率減少的比率則為 36.8% 及 28.6%。

模擬不同部位三側齒槽骨缺損，所計

算的共振頻率結果如圖四所示。其中，共振頻率減少的比率在唇側-近心側-遠心側齒槽骨缺損時，為 53.8 %；在唇側-近心側-舌側齒槽骨缺損時為 46.5 %；在近心側-舌側-遠心側齒槽骨缺損時為 63.9 %；在唇側-舌側-遠心側齒槽骨缺損時為 45.1 %。在圖四中，唇側-近心側-遠心側與近心側-舌側-遠心側的齒槽骨缺損發生時，共振頻率減低的比率比唇側-近心側-舌側與唇側-舌側-遠心側齒槽骨缺損時來得大；由於前兩者的共同缺損側為近心側-遠心側而後兩者的共同缺損側為唇側-舌側，因此可以知道近心側-遠心側的骨缺損對於共振頻率的影響大於唇側-舌側的骨缺損。根據 Noyes 及 Solt (1973) 的研究結果顯示<sup>23</sup>，共振頻率的減少與牙齒的動搖度有關；因此，近心側-遠心側齒槽骨缺損對牙齒動搖度的影響比唇側-舌側齒槽骨缺損來得大。

此外在圖二中卻發現，當牙周病侵犯到近心側和遠心側面齒槽骨時，較侵犯到唇側和舌側面齒槽骨時的共振頻率減少率高，即近心側和遠心側面較易振動，這可能是因為近心側和遠心側面齒槽骨為主要的邊界束縛之處，故當牙周病侵犯到近心側和遠心側面齒槽骨時代表的是整個模型的邊界條件下降，使得共振頻率值減少地較快。

由圖三亦可發現，當發生舌側-近心側與舌側-遠心側的齒槽骨缺損兩種情形下，在齒槽骨高度降低時，共振頻率的減少率比發生在唇側-近心側及唇側-遠心側齒槽骨缺損時要高；因此，當齒槽骨缺損發生在舌側時，會比發生在唇側時對牙齒的動搖度的影響來的大；這顯示在牙齒動搖度的角色扮演上，舌側齒槽骨的高度比唇側齒槽骨高度來得重要；相同的現象亦可在圖四中發現。

## 五、計畫成果自評

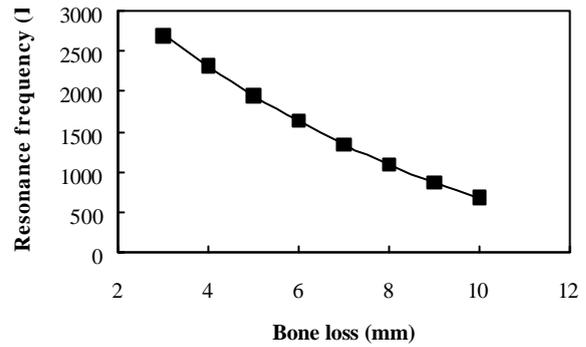
綜合以上結果(圖二至圖四)，我們發現：近心側齒槽骨對牙齒動搖度的影響與遠心側齒槽骨相當，而舌側齒槽骨對牙齒動搖度的影響則大於唇側齒槽骨。

本研究結果將可以做為臨床牙齒治療時之重要參考資料。

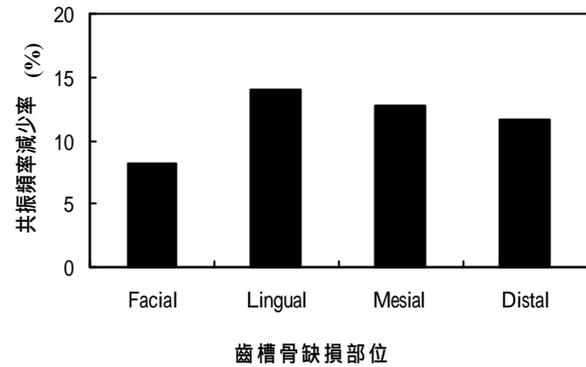
## 六、參考文獻

1. 孫安迪，牙齒與口腔疾病 1992；29-30，健康雜誌出版社
2. Schwartz, et al. Clinical Guide to Periodontics, 96-97,1995,W.B.Saunders CO.,US.
3. Saglie R, Johansen JR, Flotra L. The zone of completely and partially destructed periodontal fibers in pathological pockets. J Clin Periodontol, 2: 198-202, 1975.
4. Armitage GC, Svanberg GK, Løe H. Microscopic evaluation of clinical measurements of connective tissue attachment level. J Clin Periodontol, 4:173-190, 1977.
5. Robinson PJ, Vitek RM. The relationship between gingival inflammation and resistance to probe penetration. J Periodont Res, 14: 239-243, 1979.
6. Polson AM, Caton JG, Yeaple RN, Zander HA. Histological determination of probe tip penetration into gingival sulcus of humans using an electronic pressure-sensitive probe. J Clin Periodontol, 7: 479-488, 1980.
7. Sudden S, Grondahl K, Grondahl HG. Accuracy and precision in the radiographic diagnosis of clinical instability in brånemark dental implants. J Clin Oral Implants Res 1995;11:179-185.
8. Listgarten MA. Periodontal probing: What does it mean? J Clin Periodontol, 7: 165-176, 1980.
9. Mühlemann HR. Periodontometry, a method for measuring tooth mobility. Oral Surg Oral Med Oral Path, 4: 1220-1233, 1951.
10. Dermi K, Wolfardt JF, Dent M, Faulkner G, Grace M. Assessment of the periotest device in baseline mobility measurement of craniofacial implant. Int J Oral Maxillofacial Implants 1995;10:221-229
11. Thomson WT. Normal mode vibration of continuous systems. In "Theory of Vibration with Applications". 3rd ed, Thomson WT ed, Prentice-Hall, NY. pp. 221-224, 1988.
12. Lewis JL. A dynamic modal of a healing fractured long bone. J Biomech 1975;8:17-25

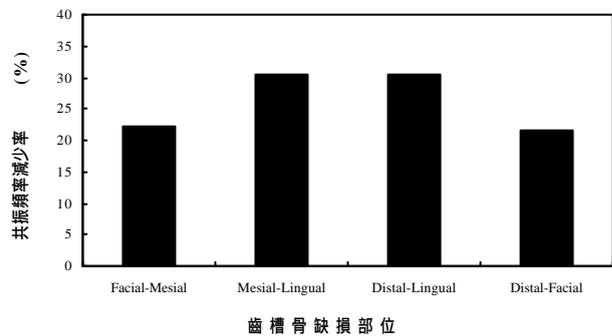
13. Lowet G. The relation between resonance frequencies and torsional stiffness of long bones in vivo validation of a simple beam modal. *J Biomech* 1993;26:689-696
14. Lowet G, Dayuan X, Vander perre G. Study of the vibrational behavior of a healing tibia using finite element modeling. *J Biomech*, 29: 1003-1010, 1996.
15. Lee S-Y, Huang HM, Lin CY. *In vivo* and *in vitro* natural frequency analysis of periodontal conditions, an innovative method. *J Periodontol*, 74: 632-640, 2000
16. Huang H.M., Yeh C.Y., Pan L.C., Lee S.Y., Factors influencing the dynamic behavior of human teeth. *Med Biol Eng Comput* 2001 (In Press)
17. K.R. Willams and A.D.C. Willams. Impluse response of a dental implant in bone by numerical analysis. *Biomaterial* 18(10)715-719, 1997.
18. M.M. Ash, Jr. *Dental Anatomy, Physiology and Occlusion*. 7<sup>th</sup> ed. W.B. Saunders CO., USA. 1993.
19. J. Linde. *Textbook of Clinical Periodontology*, 2<sup>nd</sup> ed, 1995, Munksgard Copenhagen.
20. K.H. Rateitschak, H.F. Wolf, T.M. Hassell. *Color Atlas of Dental Medicine*. 2<sup>nd</sup> ed, 1989. Thieme Medical Publishers, Inc., New York US.
21. F.A. Carranza, M.G. Newman. *Clinical Periodontology*. 8<sup>th</sup> ed, 1996. W.B. Saunders CO., US.
22. Holmes D.C. & Loftus J.T. Influence of bone quality on stress distribution for endosseous implants. *J of Oral Implantology* 1997;23:104-111
23. Noyes DH, Solt CW. Relation between "tooth mobility" and "mechanical mobility" of teeth. *J Periodontol*, 43:301-303, 1972



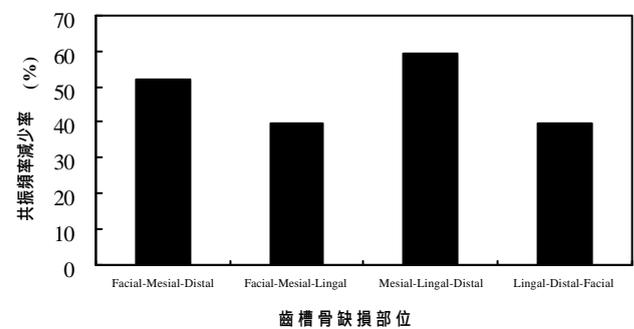
圖一、水平式齒槽骨吸收之共振頻率變化



圖二、單側齒槽骨缺損之共振頻率減少率



圖三、雙側齒槽骨缺損之共振頻率減少率



圖四、三側齒槽骨缺損之共振頻率減少率。

附件：封面格式

## 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

### 利用振動理論量測牙齒力學特性以作為 牙齒健康狀態評估之研究

計畫類別： 個別型計畫          整合型計畫

計畫編號：NSC89 - 2314 - B - 038 - 052 -

執行期間：89年08月01日至91年07月31日

計畫主持人：林哲堂

共同主持人：李勝揚

計畫參與人員：黃豪銘、余俊傑

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：台北醫學大學口腔醫學院

中 華 民 國 91 年 10 月 25 日