

比較微米級電腦斷層掃描與牙科用錐狀電腦斷層掃描評估人造假骨結構型態之差異

Comparison of the Micro-Computed Tomography and Dental Cone-Beam Computed Tomography: An Artificial Foam Bone Study

何榮庭 Jung-Ting Ho¹, 許瑞廷 Jui-Ting Hsu^{1*}, 黃恆立 Heng-Li Huang¹,
陳遠謙 Yuan-Chien Chen², 吳杰 Jay Wu²

¹ 中國醫藥大學 牙醫系 School of Dentistry, China Medical University

² 中國醫藥大學 生物醫學影像暨放射科學學系 Department of Biomedical Imaging and Radiological Science, China Medical University

一、中文摘要

實驗室中，微米級電腦斷層掃描 (micro-computed tomography, Micro-CT) 已被視為分析骨小樑結構型態的標準指標，然而 Micro-CT 受限於只能掃描小體積的骨樣本，無法使用於臨床手術中。牙科用錐狀電腦斷層掃描 (cone-beam computed tomography, CBCT) 近年來具有更高的解析度，部分文獻指出 CBCT 已能測量到骨小樑結構，但文獻中並沒有探討 CBCT 量測骨小樑結構的精準度。因此本研究使用 CBCT 與 Micro-CT 量測人造假骨骨小樑結構型態，比較兩者分析結果的差異，並以 Micro-CT 分析結果為標準指標，評估 CBCT 量測人造假骨骨小樑結構的精準度。實驗結果顯示，雖然 CBCT 和 Micro-CT 量測到的骨小樑結構數值會有差異，不過兩種儀器的分析結果間仍呈現高度的正相關。

關鍵字：微米級電腦斷層掃描、牙科用錐狀電腦斷層掃描、人造假骨

Abstract

Micro-computed tomography (Micro-CT) has been confirmed as a gold standard approach to evaluate the trabecular bone structure. However, the Micro-CT can only performed on small animal or human biopsy. Recently, the dental computed tomography (or so-called cone-beam computed tomography, CBCT) has been widely used in clinical trial due to the high resolution and low-dosage. In previous studies, some investigators reported that CBCT has enough ability to measure the trabecular bone structure. However, the reliability of CBCT in the measurement of the trabecular bone structure is still unclear. The aim of present study is to compare the measurement of the trabecular bone structure by Micro-CT and CBCT. Taking Micro-CT result as a gold standard, we evaluate the reliability of CBCT analyzing artificial foam bone structure. From the experimental results, significant difference between the trabecular bone structure measured by CBCT and Micro-CT was

found. However, high positive correlation coefficient between these two approaches has been observed.

Keywords: Micro-computed tomography, dental cone-beam computed tomography, artificial foam bone

二、前言

一般而言，齒槽骨中海綿骨的骨小樑直徑約為 100~200 μm ，而目前 Micro-CT 的解析度可達到 7~35 μm 。在先前許多研究裡[1-3]，作者皆指出 Micro-CT 具有足夠的能力清晰地呈現出骨小樑外觀。因此目前在實驗室中，Micro-CT 已經被視為分析骨小樑結構的標準指標(gold standard)。然而 Micro-CT 可以掃描的範圍較小，只能使用於體外的小型標本，無法使用於牙科臨床診斷。近年來，牙科用錐狀電腦斷層掃描 (dental cone-beam computed tomography, CBCT) 越來越普及於各牙科醫療單位。由於 CBCT 有低放射劑量與高解析度(75~500 μm)的優點，目前臨床中 CBCT 常使用於齒顎矯正、顫顎關節型態判斷、植牙手術術前評估等其他部分。其中在植牙手術中，CBCT 對於手術前齒槽骨骨頭品質的判斷有相當大的幫助。但目前 CBCT 分析齒槽骨的方法，主要以灰階亮度值轉換成骨質密度的方式[4,5]，評估該區域齒槽骨的骨量，並不特別針對骨小樑結構品質去做評估。

因此，在本研究計畫中，我們嘗試探討 CBCT 量測骨小樑結構的能力。我們選用四種不同孔隙程度的人造假骨作為研究樣本，並以 Micro-CT 分析值為標準指標(gold standard)，評估 CBCT 量測骨小樑結構的精準度，期盼未來能直接在臨床使用牙科用 CBCT 評估植牙區域齒槽骨的骨小樑結構。

三、材料與方法

研究計畫流程圖如圖 1.所示。

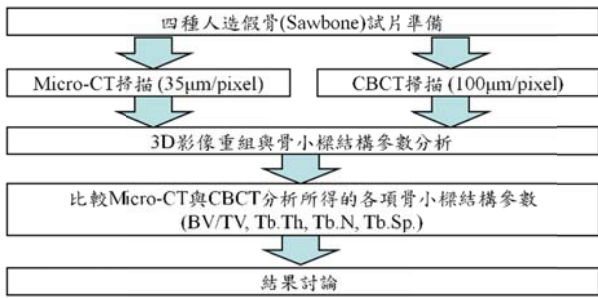


圖 1. 研究流程圖。

3.1 人造假骨試片

受限於屍體骨不易取得，且無法精確控制骨質好壞，因此本研究選用 Sawbones (Sawbones, Vashon, WA, USA)生產的不同孔洞性之人造假骨來進行實驗。我們選用四種密度分別為 0.12, 0.16, 0.20 和 0.32 (g/cm^3) (models 1522-09, 10, 11, 12) 具有骨小樑結構但不同孔洞性之人造假骨(圖 2)，來模擬四種不同骨質密度的齒槽骨。



圖 2. 本研究選用之人造假骨(由左至右：1522-09, 10, 11, 12)

3.2 微米級電腦斷層掃描影像擷取

Micro-CT 掃描部分，本研究使用 SkyScan 1076(SkyScan 1076, SkyScan, Aartselaar, Belgium, 圖 3.)，解析度設定於 $35\mu\text{m}$ 。掃描完成後續使用影像軟體：Nrecon (NRecon v.1.4.4, Skyscan)、CTAn(CTAn v.1.6.0, Skyscan)，重組影像並分析骨小樑結構參數。



圖 3. 微米級電腦斷層掃描機 (Skyscan 1076)

3.3 牙科用錐狀電腦斷層掃描影像擷取

CBCT 掃描部分，本研究使用 Asahi AZ3000(AZ 3000, Asahi Roentgen Ind. Co., Japan)(圖 4.)，解析度設定於 $100\mu\text{m}$ 。掃描完成後使用影像軟體：Image j (Rasband, W.S., ImageJ,

US National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA)之外掛程式 Bone j，重組影像並分析樣本之骨小樑結構參數。




圖 4. 牙科用錐狀電腦斷層掃描影像機 (Asahi AZ3000)

3.4 選用的骨小樑結構參數

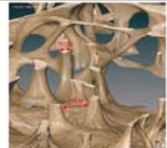
後續影像分析部分，本研究選用的分析骨小樑結構參數有以下四項：Percent Bone volume (BV/TV)、Trabecular thickness (Tb.Th.); Trabecular number (Tb.N.); Trabecular separation (Tb.Sp.)。各別參數的定義與說明見表 1。

表 1. 本研究選用的骨小樑結構參數

參數項目 (縮寫,單位)	定義與說明
Percent Bone volume (BV/TV, %)	骨頭體積與總體積之比例。
Trabecular thickness (Tb.Th, mm)	骨小樑的平均粗細。
Trabecular number (Tb.N, 1/mm)	一單位路徑長上(1 mm)，骨小樑的平均分布數目。
Trabecular separation (Tb.Sp, mm)	各骨小樑間的平均距離。



BV/TV示意圖



Tb.Th、Tb.N、Tb.Sp示意圖

四、結果與討論

從圖 5.中，我們可看到 Micro-CT 與 CBCT 掃描後建立的人造假骨(1522-09)立體模型，與外觀圖綜合比較，可發現兩種電腦斷層掃描機都具有不錯的呈現骨小樑立體結構能力。

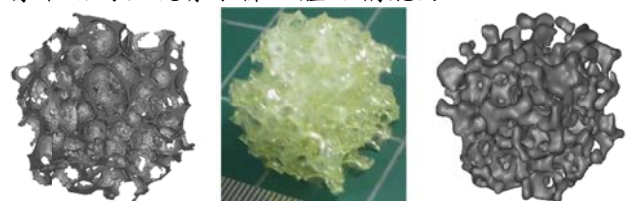


圖 5. (左)Micro-CT 建立的 1522-09 人造假骨立體模型；(中)1522-09 人造假骨樣本外觀；(右)dental CBCT 建立的 1522-09 人造假骨立體模型。

圖 6.至圖 9.為 Micro-CT 與 CBCT 掃描影像分析後，所得的四項骨小樑結構參數關聯表。在四項骨小樑結構參數中，Micro-CT 與 CBCT 的分析結果出現不小的差異。特別是在 BV/TV 項目，CBCT 分析值高於 Micro-CT 分析值達三倍左右。然而，雖然 CBCT 對於判定骨小樑結構的準確度不高，但四種參數於 CBCT 和 Micro-CT 所得的分析值皆呈現高度正相關，因此我們可以利用其回歸方程式，轉換臨床中 CBCT 所得的分析值，於實驗室中 Micro-CT 理論上的準確分析值。

在 Micro-CT 與 CBCT 評估四種不同孔隙度人造假骨的 BV/TV 結果顯示，此兩種影像評估方式，在 BV/TV 的部分，呈現極高度的正相關 ($r^2=0.9795$) (圖 6.)。

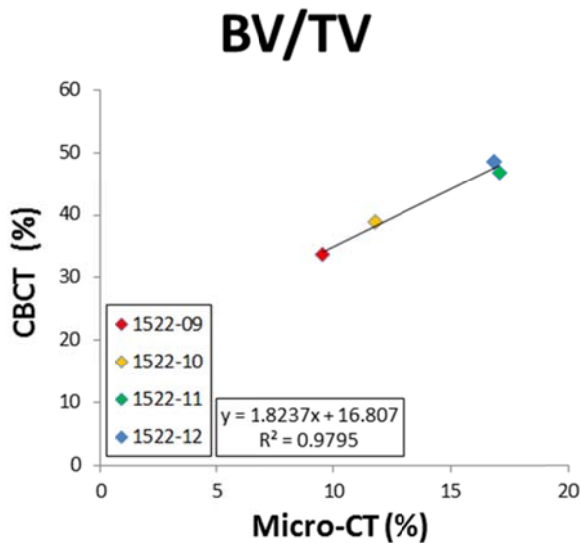


圖 6. Micro-CT 與 CBCT 所得 BV/TV 相關性比較

Tb.Th. 骨小樑結構參數中，人造假骨 1522-09 擁有最大的 Tb.Th.，相較於 1522-12 則是最小。四種人造假骨於 Micro-CT 和 CBCT 中所得的分析值，呈現高度相關性。 ($r^2=0.9479$) (圖 7.)

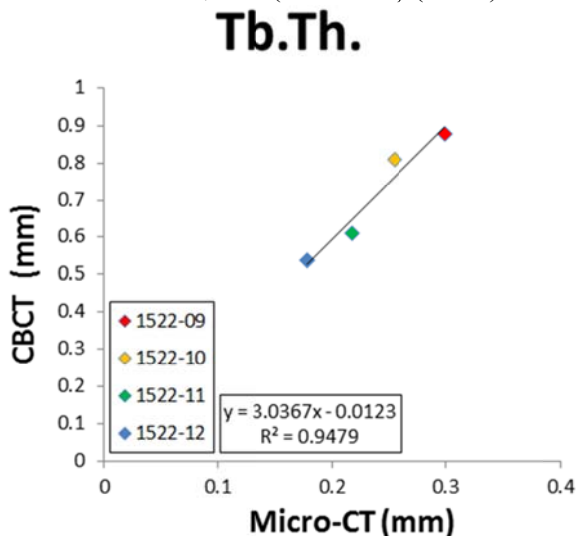


圖 7. Micro-CT 與 CBCT 所得 Tb.Th. 相關性比較

Tb.N. 骨小樑結構參數中，人造假骨 1522-09 擁有最大的 Tb.N.，相較於 1522-09 則是最小，符合我們外觀的推測。四種人造假骨於 Micro-CT 和 CBCT 中所得的 Tb.N.，一樣呈現高度相關性。 ($r^2=0.9533$) (圖 8.)

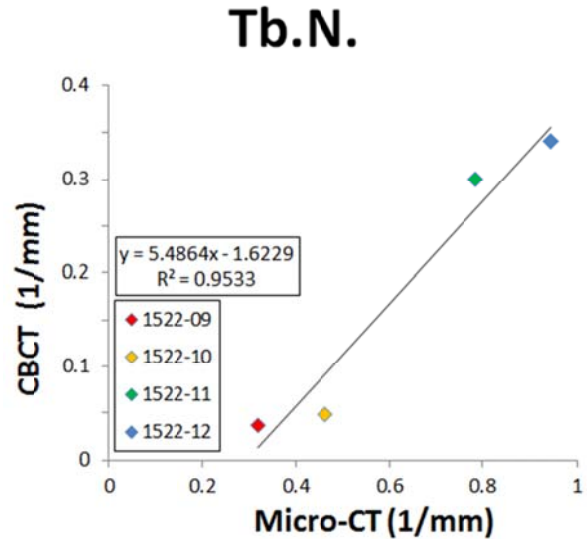


圖 8. Micro-CT 與 CBCT 所得 Tb.N. 相關性比較

Tb.Sp. 骨小樑結構參數中，我們可看到人造假骨 1522-09 擁有最大的 Tb.Sp.，相較之下，1522-12 的 Tb.Sp. 則最小，亦符合我們外觀的推測。四種人造假骨於 Micro-CT 和 CBCT 中所得的 Tb.Sp. 呈現高度相關性。 ($r^2=0.8867$) (圖 9.)

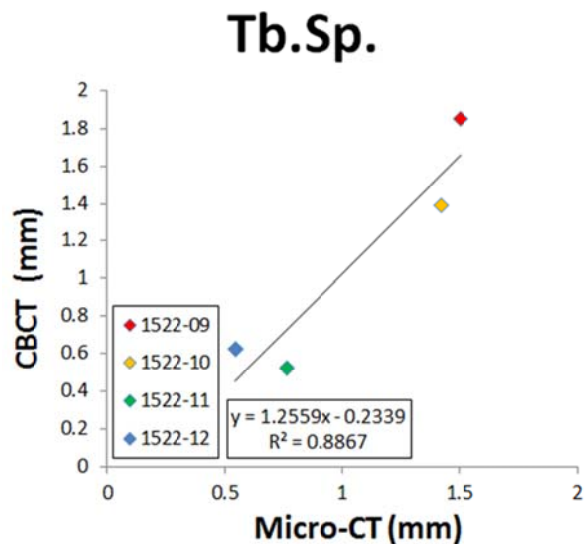


圖 9. Micro-CT 與 CBCT 所得 Tb.Sp. 相關性比較

然而，本實驗中仍有一些問題需要克服。理論上，CBCT 與 Micro-CT 的分析結果應該要相同，但目前我們只能得到正相關的趨勢，推測應該是因為 CBCT 的解析度有限或放射劑量不足，導致影像二元化過程中，改變了過多的影像外觀，影響到最終的分析結果。另一影響因素為型號 1522-12 人造假骨，廠商在人造假骨中額外加入

e-glass fiber 材料，此材料在 CBCT 中表現較緻密，導致 1522-12 骨小樑影像產生放大的作用，造成一些誤差。在後續的研究計畫中，我們希望能夠取得更合理且接近的分析值，並且加大實驗樣本數，達到統計上可信的分析結果。

五、結論

本研究率先使用牙科用電腦斷層掃描(CBCT)來評估四種人造假骨骨小樑結構參數的能力。雖然牙科用 CBCT 量測到的絕對數值會和實際(Micro-CT 量測值)有差異，但兩者間呈現高度的正相關，此資訊可提供牙科醫師對於了解齒槽骨骨小樑結構的參考依據。

六、致謝

本研究感謝國科會大專生專題計畫(NSC 101-2815-C-039-029-B)經費補助。

七、參考文獻

- [1] Fanuscu, M.I., Chang, T.L., Three-dimensional morphometric analysis of human cadaver bone: microstructural data from maxilla and mandible. *Clin. Oral Impl. Res.* 2004, 15: 213-8
- [2] Cha, J.Y., Lim, J.K., Song, J.W., Sato, D., Kenmotsu, M., Inoue, T., Park, Y.C., Influence of the length of the loading period after placement of orthodontic mini-implants on changes in bone histomorphology: microcomputed tomographic and histologic analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009, 24:842-9.
- [3] Mitra, E., Rubin, C., Gruber, B., Qin, Y.X., Evaluation of trabecular mechanical and microstructural properties in human calcaneal bone of advanced age using mechanical testing, microCT, and DXA. *J Biomech.* 2008, 41: 368-75.
- [4] de Oliveira, R.C., Leles, C.R., Normanha, L.M., Lindh, C. and Ribeiro-Rotta, R.F., Assessments of trabecular bone density at implant sites on CT images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008, 105: 231-8.
- [5] Aranyarachkul, P., Caruso, J., Gantes, B., Schulz, E., Riggs, M., Dus, I., Yamada, J.M. and Crigger, M., Bone density assessments of dental implant sites: quantitative cone-beam computerized tomography. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2005, 20: 416-24.