結合觸感(haptic)技術設計互動式電腦學習系統 -以牙科脫蠟鑄造噴火槍融熔鈀銀合金為例

Using Haptic Technologies to Design Computer Assisted Learning Systems for Dental Casting Training

楊承益 [a]，劉建財 [a*]

[a] 台北醫學大學醫學資訊研究所

110 台北市信義區吳興街 250 號 醫學綜合大樓 4 樓

**通訊作者：劉建財，ctliu@tmu.edu.tw*

摘要

牙科脫蠟鑄造(Dental Lost-Wax Casting technique)最常利用噴火槍(blow torch 或稱 blow pipe)融熔合金。噴火槍調整具一定危險與困難度，需透過重複練習以熟悉調整方式，初學者無法獨自練習，需有教師陪伴，否則將造成鑄造失敗損失成本，更可能釀成嚴重公安意外。本研究利用電腦輔助學習(Computer Assisted Instruction；CAI)的方式，以視覺化介面與任天堂公司開發的 Wii remote 觸感無線互動裝置，有效模擬噴火槍調整，建立具真實性、直覺性操作並有效監控學習過程的鑄造輔助教學環境，供學生自我學習、減低教學成本、提昇操作安全，降低教師教學負擔。

關鍵字：Dental Casting、CAI 、Haptic Technologies

1.前言

牙科鑄造學對於牙體技術系學生及牙技師而言是非常重要的一門科目，無論是在小型的假牙修復物，例如:嵌體(inlay)、蓋體(onlay)、牙冠(crown)、根管支柱(endodontic post)到大型的假牙基底(denture base)等，都需要使用鑄造技術[1]。牙科精密鑄造過程，會使用噴火槍混合氣體融熔金屬合金，利用正確的火焰位置對金屬加熱並透過肉眼以及噴火槍發出的聲響、震動、判斷噴火槍是否已經調整至最佳狀況，需透過不斷練習才能熟悉之技術。噴火槍混合氣體調整錯誤不但會造成加熱時熄火，而且會回火而造成氣爆的可能。當火焰強度不夠高時，會造成金屬溶解不均勻，導致鑄造物產生鑄巢和鑄造不全；反之，加熱過當，則可能會造成金屬沸騰濺出而燙傷、鑄造物夾雜碳化物或是空氣、鑄造物表面粗糙等等[9]。

經驗不足的牙體技術人員或學生，常因技術不純熟不僅造成鑄造品失敗和浪費成本，甚至對身體造成嚴重傷害如：燒燙傷視力受損(金屬熔解時會產生極度刺眼的強光)、呼吸系統損害、公安意外如氣爆或火災等[4-7]。有些金屬，尤其是賤金屬(Base Metal)合金會因為由乙炔火焰中攝入碳而造成金屬變硬變脆。且極高的溫度會造成金屬過度氧化，因此若要使用乙炔/氧氣 或 乙炔/空氣 時，較不易控制，因此培養高技術能力的牙技師是非常重要的[3,8]。

傳統牙科鑄造學實驗授課時，授課教師需要針對每位學生操作時產生的不同問題進行技術導正與即時教學，並維護環境的安全，費時費力。當學生課後想要練習時，因缺乏專業教師指導和顧慮到學習環境的安全問題，很難有機會練習。

近年來觸感技術 (Haptic technology) 已被廣泛的應用[16,17]，尤其在電動遊戲上，如任天堂(Nintendo) Wii 遊戲機和蘋果(Apple)手機 iPhone 等。採用這種觸感技術，使用者在操作時，會獲得震動或壓力觸覺反應，使得更像是在與實體接觸一樣。Wii Remote(遠端遙控)內建有運動感測和支援震動功能，透過藍芽通訊技術與主機相連，感應使用者的動作，也可將視訊以外的輸出信號回饋到玩家的手上。

本研究將利用 Wii remote 遠端遙控觸感技術與電腦視覺化介面來分別模擬噴火槍裝置控制的臨場震動感和金屬融熔視覺互動，設計學習噴火槍溫度控制之技術與牙科鑄造之電腦輔助教學與學習系統，以期降低牙體技術系學生學習鑄造實驗時的危險與臨床教師的負擔，減少鑄造學習成本，和提供同學自我學習及反覆練習的機會。

2. 系統設計

2.1 噴火槍 (blow pipe) 工作原理

目前牙科最常用脫蠟鑄造法(Lost-Wax technique)來製造假牙[3]。脫蠟鑄造法是由 W.H. Taggart 於 1907 年將此技術運用在牙科鑄造領域中[2]。此種鑄造法是利用鑄造噴火槍(torch)融熔金屬，如熔解高貴金屬合金，最能將不對稱的物品以及物品最精細的部份鑄造出來，且容易操作，因此最受牙科鑄造的喜愛[3]。

噴火槍可透過不同氣體之混合產生不同的高溫，例如在製作 inlay、牙冠與牙橋等高貴金屬就需要 gas/air torch 產生的高溫來熔解鑄造[3]，在氣體混合的搭配種類如下[3]：

1. Gas/Air
2. Gas/Oxygen
3. Air/Acetylene
4. Oxygen/Acetylene

噴火槍之調整需要透過視覺、觸覺、聽覺來判斷是否調整至最佳狀態。當噴火槍調整至正確的位置時，會產生穩定持續刺耳之聒噪聲，此時也會伴隨著噴火槍的陣動感出現。而在視覺方面，判斷調整完成之噴火槍火焰可分為三個區域 (如圖 1)：

A 區(未完全燃燒區):包含未燃燒之瓦斯，而且溫度不夠高，不能用來熔化金屬；

B 區(還原焰):燃燒藍色火焰並產生還原氣體，此處的

Point X 為最佳熔解與焊接的點，因為此點為火焰最高溫之區域；

C 區(氧化焰):此處為燃燒過之氣體，產生氧化氣體，鑄造時應該避免使用到此區域 [3] [1] 。

噴火槍混合氣體之使用與關閉都有一定的流程：

開啟：

1. 先開啟微量瓦斯
2. 利用打火機點火
3. 再度開啟氧氣
4. 透過經驗調整兩種氣體之混和至正確狀態(此處極易造成熄火，需要多加練習)

關閉

1. 先關閉瓦斯
2. 在關氧氣

關閉時初學者容易因為高溫與緊張，關閉順序錯誤而產生回火與氣爆音，若無使用安全裝置則會造成瓦斯爆炸。

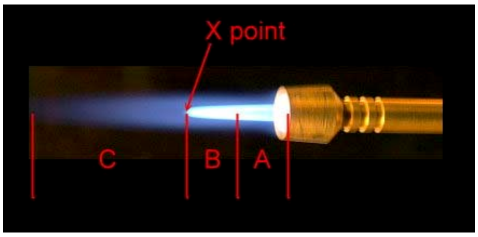


圖 1. 噴火槍 torch 調整

2.2 牙科用鈀-銀合金

鈀-銀合金是用於製作陶瓷融合金屬與牙冠牙橋的合金[3,8]，是現在個牙技師最常用且重要的合金材料之一。鈀-銀合金在牙科固定補綴物的鑄造相當常見，他可以取代美國牙醫協會第 5 號規範牙科鑄造用合金之第三類型金合金。維氏硬度在 120 至 150 間，適合用來製作較薄的 3/4 牙冠、金屬鑄造背架(Cast Backings)、牙冠、義齒基底和短式的牙橋。若鈀-銀合金中，將銀的含量升高則將會增加合金的延展性，但卻會降低合金的硬度與抗腐蝕性的能力。鈀銀合金形成的是連續性的固溶體，所以製作時通常不必經過熱處理。鈀銀合金在混合時的物理現象可利用鈀-銀合金相圖來呈現，如圖 2，為鈀-銀兩種純金屬依照不同比例而組成的相圖，在曲線 ACB 以上的溫度，金屬呈現液態，故此線稱為液相線(Liquidus Line)，在 ADB 以下合金是呈現固態，故此線稱為固相線(Solidus Line)，在以上兩線之間的溫度時，金屬呈現液態與固態並存的狀態。在固相線和液相線之間的成份所佔比例之計算，一般多採用結線(Tie Line)如圖中的 XYZ 線來決定出這兩種相的成份。因此當溫度確定，液相與固相所佔的百分比必需應用槓桿律(Lever Law)來計算：

$$\text{相的百分比} = \frac{\text{相反方向的桿臂}}{\text{結線總長}} \text{ X } 100\%$$

以圖 2.為例，鈀銀合金在其成分為 Ag 40% Pd 60%、溫度在攝氏 1400 度以上時，合金為液態。攝氏 1250 度以下為固溶體，合金成固態。溫度在攝氏 1320 度時，利用槓桿律來計算，液態合金比率為 XY/XZ×100%，固態合金的比率為 YZ/XZ×100%。當鈀-銀合金固溶體冷卻時，其固化所需的成核與成長(Growth)現象都須發生，當液體到達液相線溫度時就發生固化現象。

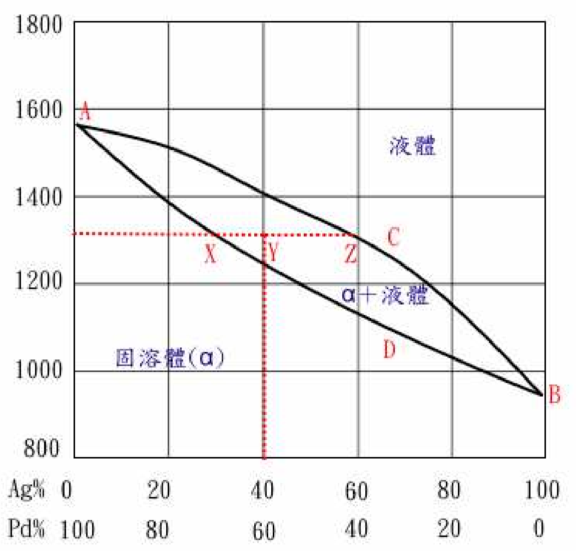


圖 2. 鈀-銀合金相圖

2.3 系統需求

透過文獻探討、牙科鑄造學教師與臨床牙技師之教學與學習經驗中發現，建立牙科鑄造輔助教學電腦系統需包含以下重點：

(1) 輔助教師針對每位同學的操作進行即時性指導，並降低教師授課時的負擔與操作時的危險；

(2) 提供反覆訓練的環境以提升學習者的臨床操做熟練度；

(3) 提供學習者操作學習狀況之記錄檔，讓授課教師能夠針對學生操作或觀念之弱點進行加強。

本研究實施步驟如下：

(1) 針對噴火槍調整的過程進行實際評估，並蒐集確認噴火槍調整時所有可能發生的狀況。

(2) 利用 Wii remote 模擬真實噴火槍使用之方式與所有可能使用之情況。

(3) 透過專業牙技師試用確認模擬效果成功後即停止 Wii remote 參數修正

(4) 以正確的設定參數值為基礎，與學習者操作的值做比較，發展出人工智慧即時語音教學。

(5) 建立學習者使用過程之記錄檔，讓教師進行學習者學習成效評估。

(6) 以鈀-銀合金為例，進行金屬融熔教學，透過合金相圖與 Lever Law 計算不同成分合金的融熔溫度與噴火槍使用的改變。

本研究採用 C#程式所製做撰寫，觸感裝置為任天堂公司所生產的 Wii remote，透過藍芽傳輸技術與電腦模擬之動畫環境做互動。Wii remote 不但能模擬鑄造噴火槍在瓦斯與氧氣混合時所產生的震動回饋，並且還能模擬噴槍調整時的音效，讓使用者能夠經過電

腦動畫並結合 Wii remote 的振動與音效判斷鑄造噴火槍是否已經調整至最佳的狀態，以提供更富直覺性、真實性的操作。

3 系統架構

本研究開發牙科鑄造輔助教學電腦系統架構如圖 3。滑鼠(Mouse)為操作點選系統之輸入裝置，任天堂 Wii remote 觸感裝置用來模擬牙科鑄造噴火槍，以進行牙科噴火槍金屬熔融技術模擬。本系統在操作上有三種模式(mode)：帳號管理(Account mode)、學習[CAI mode 包含教學(Teaching mode)與訓練(Training mode)]和學習報告(Report Mode)等模式。

3.1 帳號管理

帳號管理主要建立與管理使用者帳號之介面，所有使用者登入之名稱、基本資料、登入時間、登出時間都會儲存至 LOG DB 中，方便日後做學習結果報表與學習成效分析。

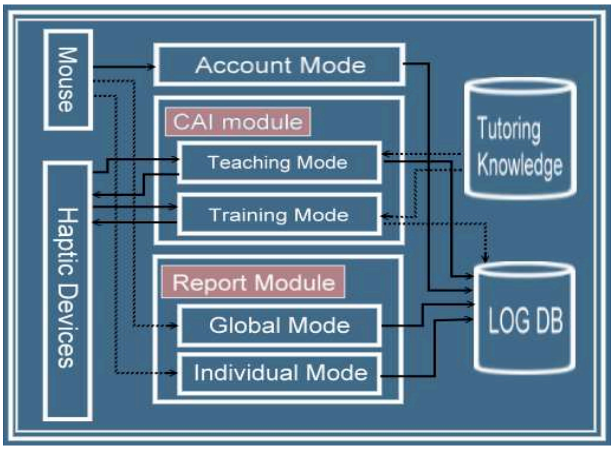


圖 3. 系統架構圖

3.2 學習(CAI)管理

Teaching Mode 與 Training Mode 構成學習管理模式。學習者可以透過 Teaching mode 獲得即時教師教導，猶如家庭教師一般，當操作有錯誤即產生語音提醒。例如，火焰離開噴火槍噴嘴過遠以致快要熄滅，此時系統會發出語音提醒：「請先將 Air 氣閥關小，再將 Gas 氣閥調整至火焰離開噴嘴 0.5 公分處」)。另外，學習者利用此系統操作時的所有紀錄將會被紀錄到 LOG DB 資料庫中。而各種判斷與教導的條件則由教學知識庫(Tutoring knowledge base)提供。Teaching Mode 透過任天堂 Wii remote 觸感裝置模擬鑄造噴火槍，給予使用者震動與聽覺回饋，並結合電腦視覺，成功模擬出虛擬牙科鑄造實驗室金屬融熔的操作。

Training Mode 可以讓學生自我操作學習，但不會有 Teaching Mode 中之教師即時語音教學。當同學完整操作後會有各步驟完成的評分及評語。每一次操作結束後的評分及評語將會記錄到 LOG DB 中。而各種判斷操作的準則，則由教學知識庫提供。

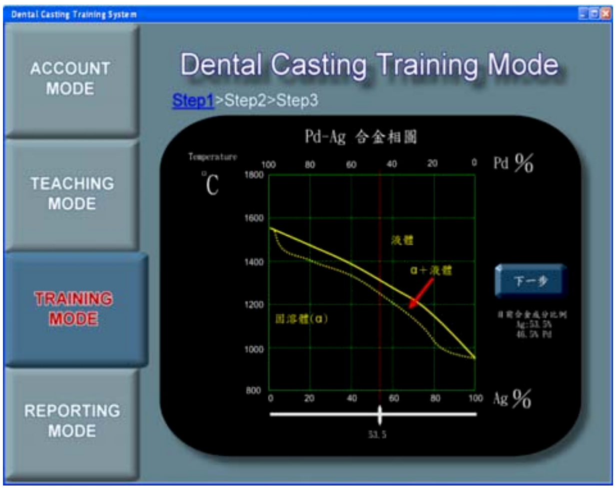


圖 4. Training Mode Step1

Training Mode 一般操作可以分三個步驟：在 Step 1 (圖 4)，使用者需要先利用下方橫軸拖拉，設定鈀-銀合金的百分比，設定完成後按下一步進入 Step 2 (圖 5)，設定融熔金屬的噴火槍(blow pipe)所要混合的氣體種類。

Step 3 (圖 6)利用 Wii remote 遙控操作噴火槍，開始調整融熔金屬所需要的混合氣體火焰大小。圖 7 為圖 6 的近照細部圖，在左上方可以看見兩種氣體的氣閥壓力表以及目前兩種氣體混合後的溫度，左下方為鈀銀合金相圖，其顯示出 Step 1 所調整的金屬成分百分比，而橫向紅線為目前溫度，會隨著噴火槍的溫度而上升，利用於金屬相圖上橫向紅線與直向紅線交接處，即能判斷目前鈀銀合金處於何種狀態，是否已成為液體可供鑄造。

圖 5. Training Mode Step2

使用 Wii remote 遙控操作右方噴火槍融熔金屬，透過螢幕上顯示火焰的形態以及 Wii remote 所發出的震動與音效，判斷噴火槍是否已調整至可以開始融熔金屬正確的狀態。右上方可以看到火焰加熱鈀銀合金後，金屬相的成份變化。當金屬融熔完成至可以啟動離心機鑄造時，按下 Finish Button (右下方)，此時系統會自動產生此次操作結果與成績報表。

圖 6. Training Mode Step3

3.3 學習報告(Reporting Mode)

Reporting Mode 可以透過 LOG DB 中擷取相關系統操作資料，提供學習報告包括 Global Mode 與 Individual Mode。Global Mode 針對全體的使用者狀況做出報表，以呈現所有使用者在學習期間各模式操作使用時間、平均使用人次、平均成績等。Individual Mode(圖 8)可以針對個人的練習過程與結果做出報表，看個人使用系統學習之狀況、呈現個人在學習期間各模式操作使用時間長短、各模組使用正確性與錯誤點、成績記錄等。透過這些報表使用者可以了解自己學習的狀況，教師也可以透過報表，針對個人或全體的學生做評估分析，了解學生學習的弱點，並針對弱點加以強化。

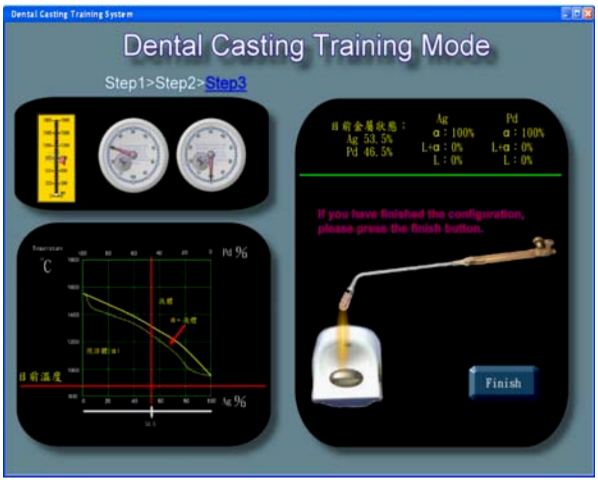


圖 7. Training Mode 操作螢幕近照

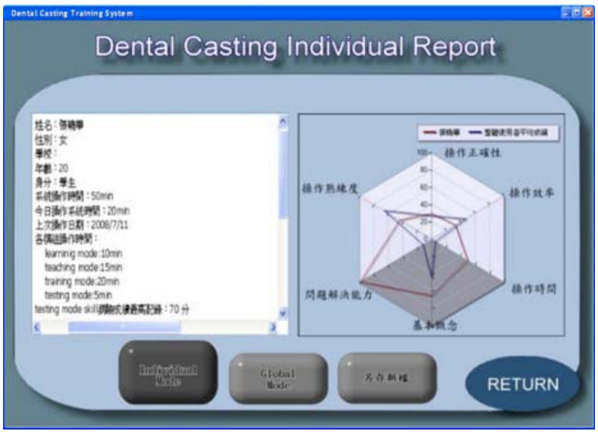
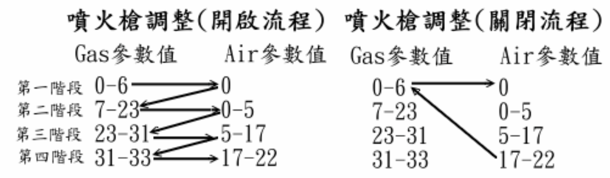


圖 8. Reporting Module , Individual Mode

教學知識庫和判斷規則(rules)主要作為使用者在 Teaching Mode 與 Tutoring Mode 操作時的噴火槍調整與合金溶溶狀態的判斷依據。以下以 Gas/Air 混合氣體之參數，說明知識庫與判斷規則的建立。首先依據文獻教材訂定噴火槍開啟(關閉)流程的相關參數：



每一階段之設定皆利用實際噴火槍操作修正出的最小誤差值。正確操作流程應照箭頭之方向進行，每階段皆有一判斷式，當調整參數非依箭頭方向進行，即為錯誤之操作，此時系統會判斷其錯誤之方向，自動產生操作失誤記錄。程式依據使用者之操作方向，會產生不同的事件驅動。當錯誤方向造成錯誤事件驅動時，系統會自動建立一操作失誤到學習記錄，記錄出在哪一階段造成了哪一種方向的操作錯誤(例如第三階段 Air 值超過參數值 range、或第四階段 Gas 過大&熄火)，並啟動對應的語音教學檔，產生 tutoring 教學的功能。

4.討論及結論

本系統建立之牙科鑄造輔助教學電腦系統，輔助教師教學與學生自我學習，在 Yuen-Kuang Cliff Liao 研究中發現台灣學生利用 computer assisted instruction(CAI) 比 traditional instruction(TI)學習成效會更好[10]。Hossein Mahdizadeh 等人也認為教師應該被鼓勵使用嘗試 e-learning 在他們的課程中且使用 e-learning 環境在高等教育是可被促進的[11]。因此本研究將電腦教學環境使用在牙體技術學系之高等教育環境中是可被促進使用的。

系統利用影像與音效同步，來模擬牙科鑄造噴火槍，讓學習者因多方刺激更容易學習噴火槍之調整，且 Robyn S. Kim 等人之研究中也發現一致性影音刺激比非一致性與單一視覺刺激都能有更良好的學習成效[12]。系統透過影音同步，加上觸感裝置模擬牙科鑄造噴火槍，使操作更加直覺性、真實性，也可以吸引學生的興趣，Masayuki Inoue 等人發現 觸感使虛擬實驗的操作更直覺化與直接，從系統的評估得知學生可從此獲得興趣，因而獲得學習之效果[13]。M.Gail Jones 等人針對觸感回饋的加入與學生學習態度的評估，結果顯示出觸感裝置的介入能使學生更融入學習的環境， 不但使系統更有吸引力，也能有效加強學生理解科學概念[14]。John N .Howell 等人，也利用觸感技術創造 VHB (Virtual Haptic Back)訓練骨科醫學生在觸診學習之效用，其結果顯示利用 VHB 作為輔助教學具有良好的學習效果[15]。

本系統運用觸感技術，成功的應用到牙科脫蠟鑄造教學領域。透過此電腦輔助教學系統不但能降低牙體技術系學生學習鑄造實驗時的危險與臨床教師的負擔，還能減少鑄造練習所需耗費的高成本，並提供同

學自我練習之環境，提升學生學習成效。本系統使用視覺化與影音同步教學能夠使學生因為多方面的知覺刺激而更迅速學習，也因為觸感的技術加入，使得學生學習效果能夠更加提升。本系統為首次將觸感結合電腦輔助教學應用到牙科脫蠟鑄造教學之領域的研究，期望能夠透過未來研究發展，持續評估其成效，並結合鑄造學理論課程，發展出更全面化的系統。

5.参考文獻

[1] 鍾國雄, 牙科材料學, (合計圖書出版社第四版, 1997)

[2] Henning G. , The casting of precious metal alloys in dentistry. *Brit. Dent. J*. 133: 428-35, 1972

[3] William J. O'Brien, *Dental Materials: Properties and Selection*(Quintessence, 1989)

[4] http://www.iosh.gov.tw/data/f5/news930716.htm

[5] http://www.iosh.gov.tw/data/f5/news940325.htm
http://www.iosh.gov.tw/data/f5/news930116.htm

[6] http://www.iosh.gov.tw/data/f5/news931109.htm

[7] Kenneth j. Anusavice, D.M.D.,*PHILLIPS' SCIENCE OF DENTAL MATERIALS*(W.B. SAUNDERS COMPANY, 10th ed. , 1996)

[8] Kenneth j. Anusavice, D.M.D.,*PHILLIPS' SCIENCE OF DENTAL MATERIALS*(W.B. SAUNDERS COMPANY, 11th ed. , 2003)

[9] Yuen-Kuang Cliff Liao , Effects of computer-assisted instruction on students' achievement in Taiwan : A meta-analysis, *Computers & Education* , 48 , 2007 , 216-233.

[10] Hossein Mahizadeh, Harm Biemans & Martin Mulder, Determining factors of the use of e-learning environments by university teachers, *Computer & Education 52*, 2008, 142-154

[11] Robyn S. Kim, Aaron R. Seitz, Ladan Shams, Benefits of Stimulus Congruency for Multisensory Facilitation of Visual Learning, *Multisensory Learning, PLoS One3*(1), 2008

[12] Masayuki Inoue, Yukihiro Matsubara, Noriyuki Iwane, Manabu Nakamura & Makoto Ichitsubo, VR-Based Dynamics Learning System Using Haptic Device and its Evaluation, Proc. 5*th* *IEEE Conf. on Advanced Learning Technologies, 2005.*

[13] M Gail Jones, James Minogue, Thomas R. Tretter, Atsuko Negishi, Russell Taylor, Haptic Augmentation of Science Instruction: Does Touch Matter, *Haptic Augmentation of Science instruction*, 2005, 111-123.

[14] John N Howell, Robert R. Conatser, Robert L. Williams II, Janet M. Burns, Palpatory Diagnosis Training on the Virtual Haptic Back: Performance Improvement and User Evaluations, *JAOA*, 108(1), 2008, 29-36

[15] IEEEhttp://hapticshistory.chc61.uci.cu/haptic/site/pages/Introduction.php

[16] McLinden, M. and McCall, S., Learning Through Touch: Supporting children with visual impairment and additional difficulties.(London: David Fulton Publishers, Ltd. The Chiswick Centre, 414 Chiswick High Road, London W4 5TF. www.fultonpublishers.co.uk., 2002)