

新型高速採血筆的研發

李文德^{1*}、張合²、李仁方²、
葉耀仁²、李佳駿²、蔡琿祁¹、鄭憲騰¹、林孟暉¹、林群峰¹
¹黎明技術學院電機工程系
²台北科技大學製造科技研究所

*Email: leewd@mail.lit.edu.tw

摘要

本研究為一種新型的高速採血筆，為全球第一個利用彈性碰撞原理使針刺速度提升的採血筆，透過改善傳統採血筆的運動方式，利用較重的金屬塊碰撞較輕的塑膠套筒而產生高速移動，進而改善傳統採血筆使用過後的疼痛感。本實驗經由模具生產後將高速採血筆與市售的傳統採血筆進行比較，透過高速攝影機拍攝運動軌跡發現，一般傳統採血筆在皮膚上平均停留約 45.3ms，並產生 4 次的來回針刺；相較之下高速採血筆只會產生一次針刺，且進入皮膚的時間僅約 15.3ms，大約只需傳統採血筆的 1/3 時間。由此可知，我們所自行研發的高速採血筆不僅進入皮膚的時間短，也明顯改善了市售傳統採血筆使用彈簧來回針刺的缺點，可大幅減少使用者的疼痛感與疼痛時間。

關鍵字：高速採血筆、針刺速度提升、採血疼痛感

1.前言

糖尿病是目前二十一世紀全世界最重要的公共衛生課題之一，造成糖尿病除了遺傳因素之外，後天的飲食也占據很大的原因，在過去幾十年中許多開發中國家生活水平漸漸上升，生活及飲食型態有了大幅度的變化，使全球罹患糖尿病比率飆升。為了降低糖尿病患者的數量以及抑制糖尿病的發生，國際糖尿病聯盟(International Diabetes Federation, IDf)及全球醫師皆希望民眾利用血糖機來進行自我監控，因此血糖機逐漸被重視使用，血糖機的技術也不斷在進步。

目前市面上自我監測血糖(Self-monitoring of Blood Glucose, SMBG)及採血筆皆採用侵入式為主，由採血筆採集血液再讓血糖機判讀血糖值高低，因此為了讓使用者長期監控及降低疼痛感，採血筆的操作方式與結構設計相當重要[1]。其中採血筆技術，根據原理不同可分為機械彈簧式、真空式、雷射式、磁力式、一次拋棄式、電子式。由於體積大小和價格因素的考量，目前市場上的採血筆大多還是以機械彈簧式為主，大約佔市場上的 90%之多[2]。

機械彈簧式技術已經發展了 30 年，由於 2002 年美國 Bayer 公司專利(U.S Patent No.6364889 B1)就提出機械式傳統彈簧會使採血針刺擊二至六次，且針孔進入皮膚時間長而造成劇烈疼痛。而 2008 年 Heinemann, L 指出採血筆技術應以機械彈簧式為未來主軸，目前國內外文獻並沒有對機械動力式有新的研究及結構改良，使目前採血裝置在長期使用中還是造成使用者產生強烈的疼痛感[3]。本研究設計一種高速採血機構，利用碰撞原理產生高速撞擊，改善市面上採血產生的疼痛度和傳統彈簧震盪的缺失。

近年來為了改善傳統採血裝置會造成針進入皮膚中 2 到 6 次的來回穿刺，國內外有許多關於採血裝置(lancing device)的研究，研發出許多替代彈簧原理的技術，如：雷射式、電子式、真空式，但仍因為價格和操作不便而遭到市場淘汰，並且這些技術都會造成劇烈疼痛且傷口癒合不易的現象，因此目前還是持續使用傳統彈簧式採血技術[4]。

本實驗設計之高速採血筆是利用一維碰撞原



理，讓較重的金屬塊撞擊較輕的塑膠套筒進而產生高速移動，市售採血筆因彈簧造成簡諧震盪而使採血針多次穿刺皮膚，本實驗改良市售採血筆內部構造達成加速針刺速度及採血結束只造成一次震盪，以下為市售採血筆與本實驗高速採血筆之比較。

2. 產品機構與外觀設計

市售採血筆基本由七個零件組成：筆身、旋轉蓋、中心桿、彈簧、套筒、後蓋身、按鍵，而本研究改良傳統採血筆，在中間連桿部分把套筒彈簧分離，分為三個獨立零件，加入一個金屬塊裝在套筒及中心桿中間做輔助帶動，在此須控制採血針的刻度配合，設計露出長度最高達 8mm。

將高速採血筆設計共 17 個零件組成，分別為：旋轉蓋、旋轉座、採血針套筒、金屬塊、外環筒套、內環筒套、中心桿、後套身件、內固定環、按鍵、外固定環、金屬棒、裝飾件、塞片、彈簧 x3。

設計之高速採血筆在前端套筒旁設計兩個 5mm 滑流軌道，利用 0.8mm 金屬棒穿過套筒及滑軌，使採血針在第一次刺穿皮膚後不會再有第二次反彈針刺，且為了符合使用者每人皮膚厚度不同，將旋轉頭設計為 5 段式深淺，方便使用者選擇適合的深度。

3. 實驗方法

將市售傳統採血筆作為實驗測試體 A，高速採血筆作為實驗測試體 B。利用兩種不同產品進行實驗，使用高速攝影拍攝，觀測出採血針動態軌跡並進行比較，分析高速採血筆較傳統採血筆的優越性。

本實驗採用 TroubleShooter Cameras 高速攝影機，高速採血筆與傳統採血筆為測試樣本，固定拍攝模式來擊發採血針，並設定高速拍攝之速率、參數做調整，將採血針運動過程實際拍攝且紀錄軌跡點變化，進行比較分析。實驗架構如圖 3.1 所示。

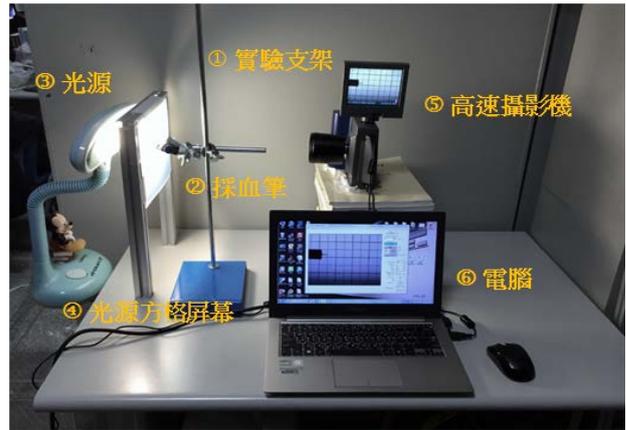


圖 3.1：高速攝影機實驗架構圖

透過 Fastec Imaging camlink 分析軟體，將物體各軌跡點記錄下來，並依照各設定的參數點、焦距、物距、偵幅做位移輸出，並清楚顯示出速度點的變化。

TroubleShooter Cameras 高速攝影機規格中最高能提供的解析度為 640x480，畫面範圍取為寬 2.5 公分，長 4 公分的畫面大小。

建立一個刻度屏幕，每一刻度以 5mm 為單位作為參考方格，再將白光照明放置屏幕後方，使物體影像透過刻度屏幕顯示在攝影中。

4. 實驗步驟與實驗結果

實驗流程簡述如下：

1. 架設光源及方格屏幕，物距設為 17.5 公分，進行編號 A 傳統採血筆的動態拍攝。
2. 將電腦軟體 Fastec Imaging camlink 設定拍攝速率 1000(張/秒)，解析度設為 640 x 480、shutter 設為 1X、像素深度為 6，對採血筆瞬間擊發進行影像分析。
3. 擷取電腦上的採血筆動態影像，並對特徵點移動軌跡及物理量進行動態分析，回放速度分別設為 2(張/秒)及 1(張/秒)。
4. 對編號 B 的高速採血筆重複 1、2、3 的實驗步驟。

4-1 傳統採血筆針刺實驗(實驗 A)

以編號 A 的傳統採血筆為試體，放置平台夾具上固定，上腔採血裝置經高速攝影機以採血針頭側面進行拍攝，設定實驗 A 之攝影參數：

拍攝頻率(Frame Rate)：1000 fps



拍攝間隔(Interval)：2 ms

曝光時間(Exposure)：1 ms

解析度(Resolution)：640 x 480

並重複三次，分別為 test1、test2、test3，以下僅以 test1 實驗為例，結果如圖 4.1 所示。

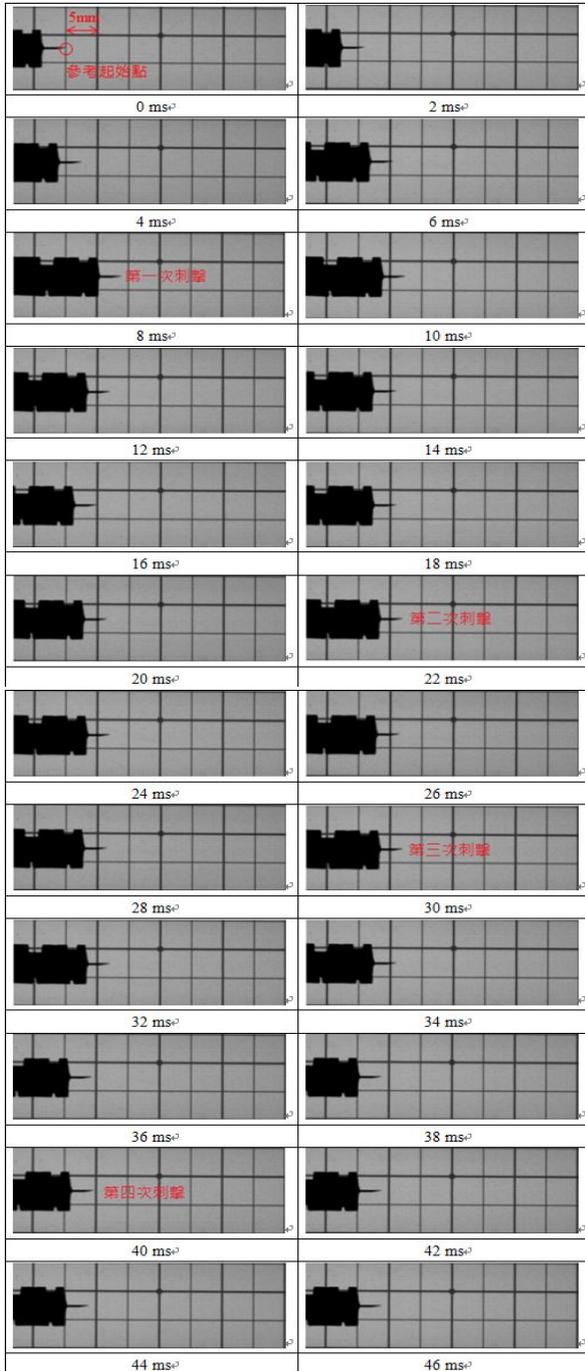


圖 4.1：實驗 A 採血針擊發過程觀測影像

採血針擊發過程中，由於質量較輕可以忽略不計，因此採血針瞬間速率維持線性，由逆光角度拍攝

針孔軌跡影像，並使用 Fastec Imaging camlink 取得參考座標軌跡點後，以每相隔 2ms 的實驗觀測圖作統計分析，其中 test1 的實驗結果如表 4.1 所示。並依此牛頓力學的基本運動方程式(4.1)、(4.2)，計算採血針擊發過程中的平均運動速度與平均運動速率。

$$\vec{v} = \frac{\partial x}{\partial t} \hat{i} + \frac{\partial y}{\partial t} \hat{j} \quad (4.1)$$

$$|\vec{v}| = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2} \quad (4.2)$$

表 4.1：實驗 A 的採血針擊發過程統計表(test1)

時間 t (ms)	位移 S (mm)	路徑長 L (mm)	平均速度 $\Delta S/\Delta t$ (m/s)	平均速率 L/t (m/s)
0	0	0	0	0
2	0.5	0.5	0.25	0.25
4	3	3	1.25	0.75
6	5.2	5.2	1.1	0.87
8	8	8	1.4	1.00
10	7.4	8.6	-0.3	0.86
12	6.3	9.7	-0.55	0.81
14	5.4	10.6	-0.45	0.76
16	4.9	11.1	-0.25	0.69
18	5.3	11.5	0.2	0.64
20	5.8	12	0.25	0.60
22	6.4	12.6	0.3	0.57
24	5.7	13.3	-0.35	0.55
26	5.3	13.7	0.2	0.53
28	5.6	14	0.15	0.50
30	6.1	14.5	0.25	0.48
32	5.8	14.8	-0.15	0.46
34	5.2	15.4	-0.3	0.45
36	4.7	15.9	-0.25	0.44
38	4.4	16.2	-0.15	0.43
40	5.1	16.5	0.2	0.41
42	4.5	17.1	-0.15	0.41
44	4.6	17.2	0.05	0.39

4-2 高速採血筆針刺實驗(實驗 B)

以編號 B 的高速採血筆為試體，進行與上述編號 A 相同的高速攝影實驗，重複三次，分別為 test1、test2、test3，以下僅以 test1 實驗為例。其中，實驗 B 的實驗參數如實驗 A，結果如圖 4.2 所示。



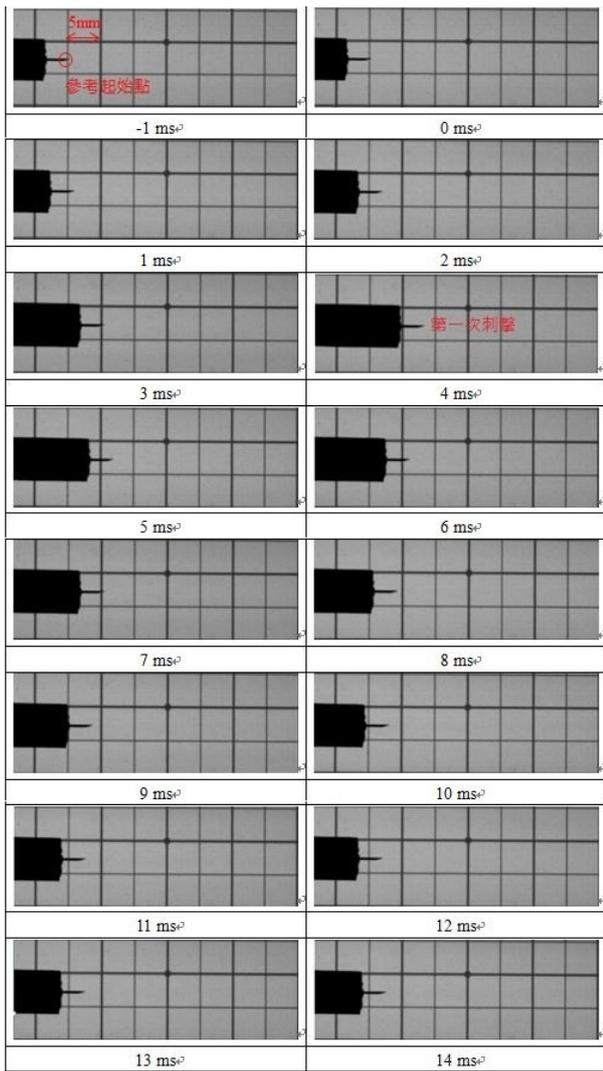


圖 4.2 : 實驗 B 採血針擊發過程觀測影像

以每相隔 1ms 的實驗觀測圖作紀錄，實驗 B 的拍攝結果，統計如表 4.2 所示，並依公式(4.1)、(4.2)計算此高速採血針在擊發過程中的平均運動速度及平均運動速率。

表 4.2 : 實驗 B 的採血針擊發過程統計(test1)

時間 t (ms)	位移 S (mm)	路徑長 L (mm)	平均速度 $\Delta S/\Delta t$ (m/s)	平均速率 L/t (m/s)
0	0	0	0	0
1	0.9	0.9	0.9	0.90
2	2.6	2.6	1.7	1.30
3	5.1	5.1	2.5	1.70
4	8	8	2.9	2.00
5	6.9	9.1	-1.1	1.82
6	6.1	9.9	-0.8	1.65
7	5.3	10.7	-0.8	1.53
8	4.6	11.4	-0.7	1.43
9	3.9	12.1	-0.7	1.34
10	3.4	12.6	-0.5	1.26
11	2.9	13.1	-0.5	1.19
12	2.4	13.6	-0.5	1.13
13	2.5	13.7	0.1	1.05
14	2.5	13.7	0	0.98

將實驗 A 與 B 的拍攝結果做相互比較，圖 4.3 為編號 A 與編號 B 的採血筆在完整擊發過程中，兩者針刺的位移變化比較。從 4.3 圖可以看出同樣都是完整刺擊 8mm 的位移後，編號 B 高速採血筆比編號 A 傳統採血筆減少了 30ms 來回針刺的運動時間，約只需傳統採血筆 1/3 的運動時間，並且高速採血筆也改善了傳統採血筆彈簧所造成的採血針來回針刺多次的缺點。此外，又由圖 4.4 及圖 4.5 可知，傳統採血筆擊發時的最高平均速度僅有 1.4m/s；最高平均速率也僅有 1m/s，但高速採血筆的最高平均速度則可達到 2.9m/s；最高平均速率則有 2m/s。因此，總結來說，我們所自行研發的高速採血筆，其擊發時的平均速率與速度，均由實驗證明可達到傳統採血筆約 2 倍左右。

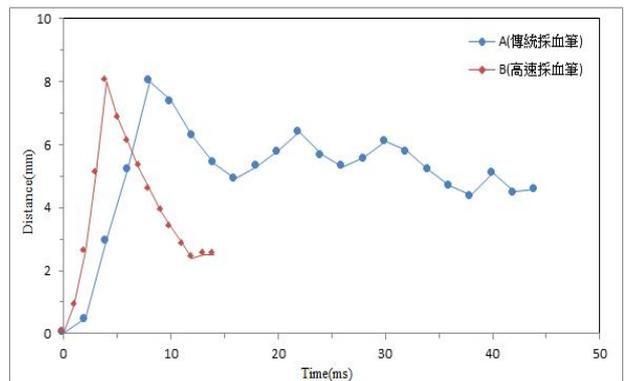


圖 4.3 : 採血針擊發後的位移比較(以 Test1 為例)



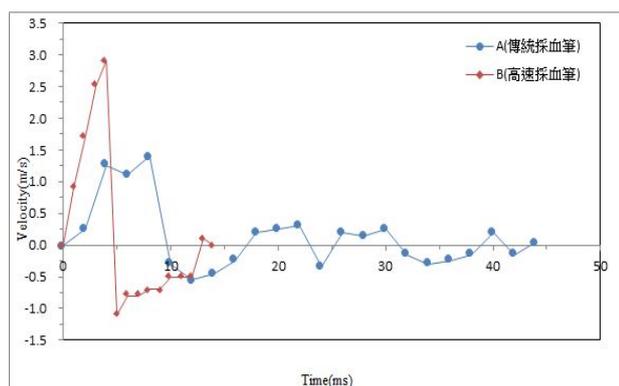


圖 4.4：採血針擊發後每兩秒平均速度比較(以 Test1 為例)

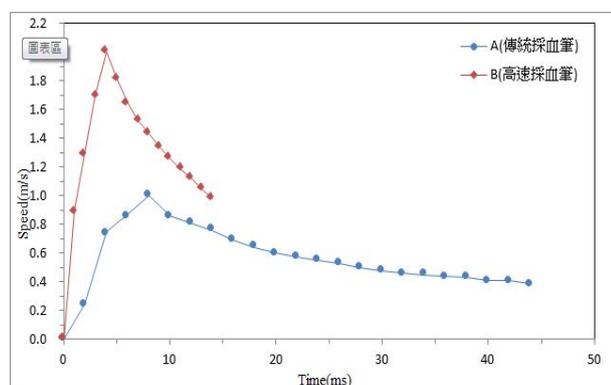


圖 4.5：採血針擊發後全程平均速率比較(以 Test1 為例)

為提高實驗可信度，本研究針對以上實驗 A 及實驗 B 各分別重複進行三次實驗量測，並分析統計其本研究分別各做了三次實驗，將三次實驗的拍攝結果運動總時間、最大速度量、來回刺擊次數之平均值，其結果與前面所提之圖 4.3、圖 4.4 及圖 4.5 的實驗結果相符，如表 5.3 所示。從統計表格可以得知傳統採血筆的平均採血時間大約 45.3ms，而高速採血筆的採血時間則平均可縮短 30ms，大約只有 15ms，是傳統採血筆的 1/3 倍時間左右。另在採血針進入皮膚的瞬間速度方面，傳統採血筆約為 1.35m/s，而高速採血筆最大速度約為 2.83m/s，提升約 2.1 倍。來回刺擊數上，傳統採血筆均產生 4 次來回振盪，高速採血筆則僅造成一次刺擊，因此可有效大幅減少糖尿病患採血

時的疼痛感與持續時間。

表 4.3：高速攝影實驗結果統計

實驗項目	總時間	
產品編號	A	B
Test1	44ms	14ms
Test2	48ms	16ms
Test3	44ms	16ms
平均值	45.3ms	15.3ms
實驗項目	最大速度	
產品編號	A	B
Test1	1.4m/s	2.9m/s
Test2	1.45m/s	2.8m/s
Test3	1.25m/s	2.8m/s
平均值	1.35m/s	2.83m/s
實驗項目	來回針刺次數	
產品編號	A	B
Test1	4	1
Test2	4	1
Test3	4	1
平均值	4	1

5.臨床實驗

本研究共有 100 位實驗測試者，其中使用傳統採血筆與高速採血筆者各 50 人，分別統計採血過程的疼痛感及疼痛持續時間，實驗結果分別如圖 5.1、圖 5.2 所示。



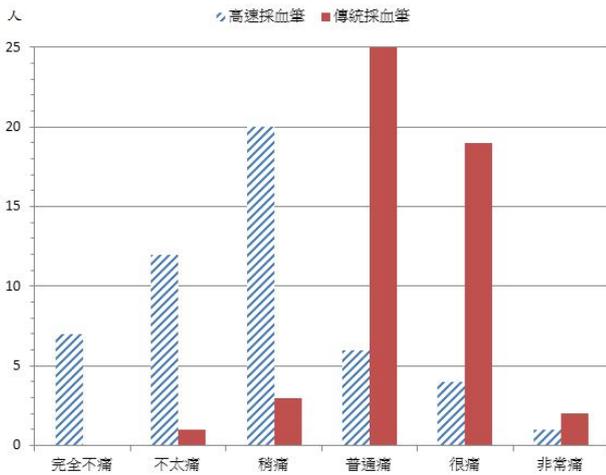


圖 5.1：採血過程的疼痛感比較

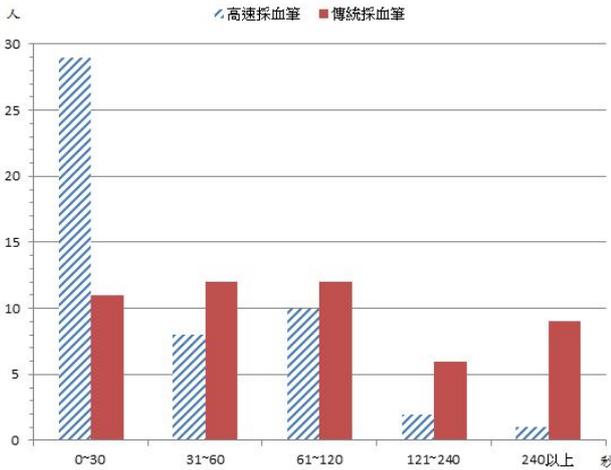


圖 5.2：採血後的疼痛持續時間比較

圖 5.1 顯示了傳統採血筆疼痛指數較多分布於普通痛以及很痛，相較之下新型採血筆疼痛指數較多分布於不太痛以及稍痛，顯示出新型採血筆降低了採血時的疼痛，圖 5.2 顯示傳統採血筆採血後疼痛的持續時間為平均分布於 0~240 秒以上，高速採血筆較多分布在 0~30 秒，也成功改善了採血後疼痛的持續時間，降低採血後的不適感。

6. 結論

從高速攝影機拍攝的動態影像可得知，一般市面上的傳統採血筆在擊發過程中，因內部彈簧的簡諧

運動將導致採血針進行 4 次的來回振盪，而高速採血筆在動態影像中則明顯看出只造成一次刺擊。另在入侵皮膚完成一次針次採血的時間上，傳統採血筆平均需約 45.3ms，高速採血筆平均只需約 15.3ms，大約只有傳統採血筆 1/3 的時間，並透過臨床實驗證實，我們所研發的高速採血筆，確實能夠有效降低使用者在採血時的疼痛感與持續時間，具有很高的市場潛力及商業價值。

7. 參考文獻

1. I. B. Hirsch, B. W. Bode, B. P. Childs, K. L. Close, W. A. Fisher, J. R. Gavin, B. H. Ginsberg, C.H. Raine, C. A. Verderese “Self-Monitoring of Blood Glucose (SMBG) in insulin- and non-insulin-using adults with diabetes: consensus recommendations for improving SMBG accuracy, utilization, and research,” *Diabetes Technology & Therapeutics*, vol. 10, no. 6, 2008, pp. 419-439.
2. L. Heinemann and D. Boecker, “Lancing: Quo vadis?,” *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 5, no. 4, 2011, pp. 996-981.
3. L. Heinemann, “Finger pricking and pain: A never ending story,” *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 2, no. 5, 2008, pp. 919-921.
4. S. Kocher, J. K. Tshiang Tshiananga and R. Koubek, “Comparison of Lancing Devices for Self-Monitoring of Blood Glucose Regarding Lancing Pain,” *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 3, no. 5, 2009, pp.1136-1143.



The Development of The New Type of High-speed Lancing Device in needling.

Win-Der Lee^{1*}, Ho Chang², Jen Fang Lee², Yao Jen Yeh², Chia Chun Lee², Cheng-Chi Tsai¹, Hsien-Teng Cheng¹, Meng-Wei Lin¹ and Qun-Feng Lin¹

¹Department of Electrical Engineering, Lee-Ming Institute of Technology

²Graduate Institute of Manufacturing Technology, Taipei University of Technology

*Email: leewd@mail.lit.edu.tw

Abstract

In this study, we developed a new type of high-speed lancing device using the elastic collision theory. Using a heavier metal block to collide a lighter plastic socket, we can enhance the needling speed. By improving the needling speed, the pain will be much more alleviated comparing with the traditional lancing device. A high-speed video camera is used to catch the moving track of the high-speed lancing device and the traditional lancing device in current market, respectively. It is shown that the traditional lancing device is injected into-and-out the patient's skin for four times and stays in the skin about 45.3ms in one work. Comparing with the traditional one, the high-speed lancing device just stays in the skin about 15.3ms and is only one time to inject into skin in one work. This high-Speed lancing device not only shortens needling time in the skin, but also improves the traditional lancing device's shortcoming to reduce the patient's pain in needling.

Keywords: High-speed lancing device, Elastic collision, Enhance the needling speed, Patient's pain

