

題目名稱：槌之有道 ~ 一場從減震設計到手腕保護的探究

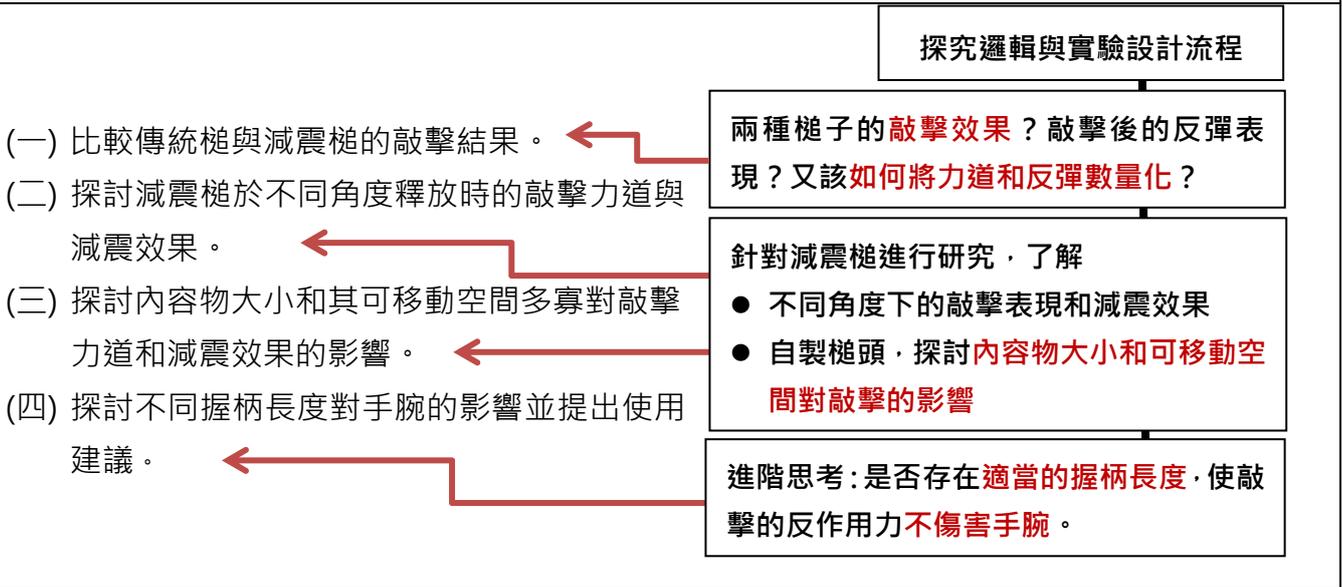
一、摘要

本研究從如何挑選槌子出發，探討不同槌子設計對敲擊表現與手部感受的影響。我們發現，傳統槌雖敲擊力強，但反作用力大；減震槌雖然力道較小，卻能穩定耗散能量，降低手腕負擔。進一步探討角度變因，**減震槌在 45 度之後展現最佳減震效果(79.34%)**。透過自製槌頭進行自由落體實驗，**我們定義「自由程度」作為量化指標，確認內容物能否自由移動，是減震的關鍵因素**，自由程度為 1 時效果最明顯(90%)。此外，我們觀察到：**當槌頭填充小顆粒內容物並搭配長握柄與大角度揮動，能同時發揮敲擊力與減震效果，達成穩定與舒適的雙重優勢**。期望這些結果能作為選擇與結構改良的實用參考。

二、探究題目與動機

在一次拆解家中三層架的經驗中，我們臨時需要一把槌子，於是走進五金行選購。然而眼前琳瑯滿目的各式槌子讓我們難以抉擇。什麼樣的槌子才適合我們的需求？特別是那些標榜「減震」的設計，真的比較不傷手腕、又能減少反彈嗎？滿滿疑惑引發我們對槌子結構與設計的好奇，決定深入探究槌子的敲擊表現與減震原理，找出最合適的選擇依據。

三、探究目的與假設



四、探究方法與驗證步驟

<實驗器材>



圖 1 由左至右為傳統槌、減震槌、自製大槌



圖 2 自製槌頭



圖 3 力度板，上方放置加速度規，右側為其搭配軟體

<數據分析說明>

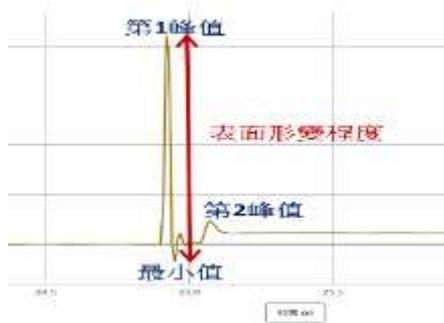


圖 4 受力變化分析說明

根據力度板紀錄的數據，分析每一次碰撞過程中的波形，紀錄下：

1. 第 1 峰值：為敲擊當下的最大力道
2. 最小值：表面的最大回復力
3. 第 2 峰值：表面第二次受力的最大值
4. 表面形變程度：以 $|\text{第 1 峰值} - \text{最小值}|$ 表示。
5. 衰減比例：以 $\frac{\text{第 2 峰值}}{\text{第 1 峰值} - \text{第 2 峰值}} \times 100\%$ 表示

<探究方法與結果>

(一)比較相同角度下，傳統槌與減震槌的敲擊結果

1. 以傳統槌與減震槌分別進行 45 度連續敲擊釘子 10 下，紀錄釘子的沒入長度。
2. 傳統槌與減震槌的下方放置力度板，上方放置加速度規，於敲擊時進行記錄，並透過手機進行慢動作錄影，用於辨識反彈次數。



圖 5 敲擊裝置示意圖

3. 釘子沒入長度

(1)傳統槌：長度 34.30cm，寬度 3.80cm，八角柱狀的槌頭，重量 11.40N，架設後初始重量為 10.11N，敲擊後釘子沒入 18.1mm。

(2)減震槌：長度 35.25cm，寬度 5.40cm，八角柱狀的槌頭，重量 7.64N，架設後初始重量為 6.31N，敲擊後釘子沒入 2.0mm。

4. 力度板數據分析：以 $\text{倍數} = \frac{\text{敲擊力道}}{\text{架設後初始重量}}$ 來表示敲擊後的效果；並計算衰減比例

槌子種類	形變力道倍數	第 1 峰值倍數	第 2 峰值倍數	衰減比例 (%)
傳統槌	9.63±0.32	8.36±0.28	2.38±0.06	71.53±1.00
減震槌	6.53±0.19	6.31±0.21	1.44±0.07	77.18±1.29

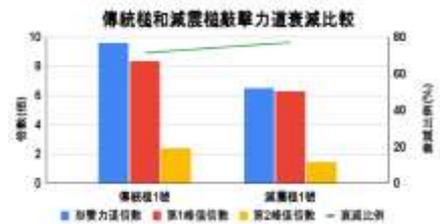


圖 6 兩種槌子敲擊後的數據比

5. 加速度規數據分析

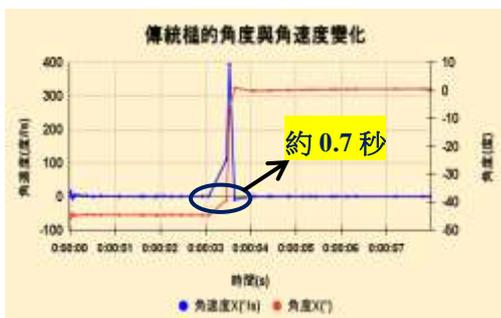


圖 7 傳統槌 45 度角敲擊的角速度變化

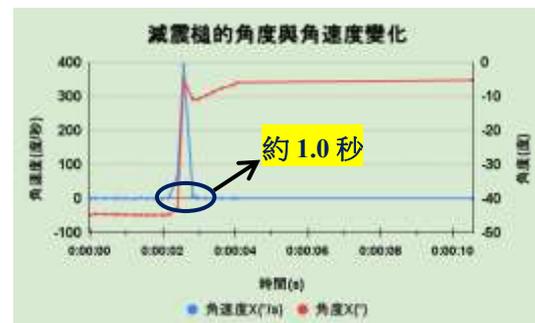


圖 8 減震槌 45 度角敲擊的角速度變化

6. 反彈次數的辨識度比較

	力度板	慢動作錄影	加速度規
傳統槌	能得到兩次撞擊的力道和辨識反彈次數	240fps 規格下，能辨識反彈次數，但過程麻煩	無法辨識
減震槌	能得到兩次撞擊的力道但未能精準辨識反彈次數	240fps 規格下，較無法清楚辨識反彈次數	無法辨識

7. 結果：

- (1)以傳統槌敲擊才能讓釘子有效沒入木塊中，顯示它在提供敲擊力道方面效果顯著。而減震槌敲擊後釘子的沒入長度僅為 2.0mm，這反映了其減震效果。
- (2)力度板的數據顯示出傳統槌的撞擊力(第 1 峰值)大，為減震槌的 1.32 倍，但衰減較少，而減震槌的力道較小但衰減較快，造成的表面形變程度也較小。而我們也對於傳統槌的第 2 峰值超過 2 倍的初始重量感到驚訝。
- (3)我們將加速度規的數據以角度和角速度合併呈現，並由角速度變化的經歷時間長短判斷出：減震槌的作用時間較長，約為 1 秒，而傳統槌則短於 1 秒。
- (4)力度板能夠記錄下力量的變化，而加速度規可能受限於規格，僅能辨識減震槌的作用時間較長，所以在之後的實驗中皆以力度板紀錄數據。

(二)探討減震槌於四種角度下的敲擊力道與減震效果

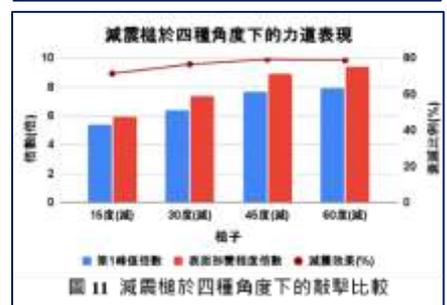
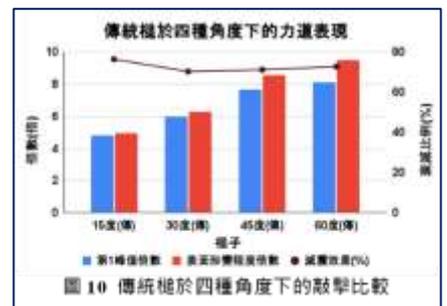
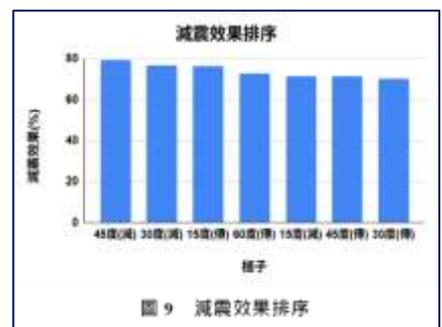
1. 減震槌分別以 15 度、30 度、45 度以及 60 度敲擊力度板中央處，每次敲擊 10 次。
2. 實驗數據分析與結果

- (1)減震槌減震效果佳，於 45 度開始表現最好效果(79.34%)，之後趨於穩定，推測在此角度下，槌頭內部的內容物具有較充足的移動時間，能更有效地轉換並耗散能量。相較之下，傳統槌的衰減比例與角度變化之間並未呈現明顯的正相關，其中以 15 度時的表現最佳 (76.46%)。

- (2)隨角度增加，兩種槌子的撞擊力道與造成表面形變的能力也隨之提升。不過在力道衰減的表現上，只有減震槌隨角度增加衰減效果也隨之提升。這代表若想要具有敲擊力又兼具減震效果，選擇減震槌並搭配較大角度敲擊，將是一個可行的選擇策略。

3. 重要啟發

此實驗	接下來的探究內容
● 槌子運動軌跡為弧線，導致內容物的作用時間短，	● 針對槌頭進行討論，可自製槌頭，統一接觸面積和材質，並排除握柄的影響。



減震效果不易展現。

- 兩種槌子的重量、握柄長度、槌頭面積和材質皆不同，存在複合式的影響。

- 改以由高處進行自由落體，延長內容物作用時間，觀察是否能夠將效果放大，以了解減震原因。
- 我們好奇內容物的大小和活動空間又如何影響著減震呢？是否可再優化效果呢？

(三)探討內容物大小和其可移動空間多寡對敲擊力道和減震效果的影響

為了進一步了解減震槌頭內部結構對敲擊表現的影響，我們聚焦在內容物的大小與活動空間兩個變因，設計兩階段自由落體實驗：

<第一階段>鋼珠大小與填充體積對敲擊表現的影響

1. 我們自製紙罐槌頭，統一由 61.00cm 高度自由落體撞擊力度板。控制變因如下：

- (1)鋼珠大小：小 (3mm)、中 (4.5mm)、大 (6mm)
- (2)鋼珠填充體積：占紙罐容積的 1/3、1/2、2/3

2. 數據與分析：

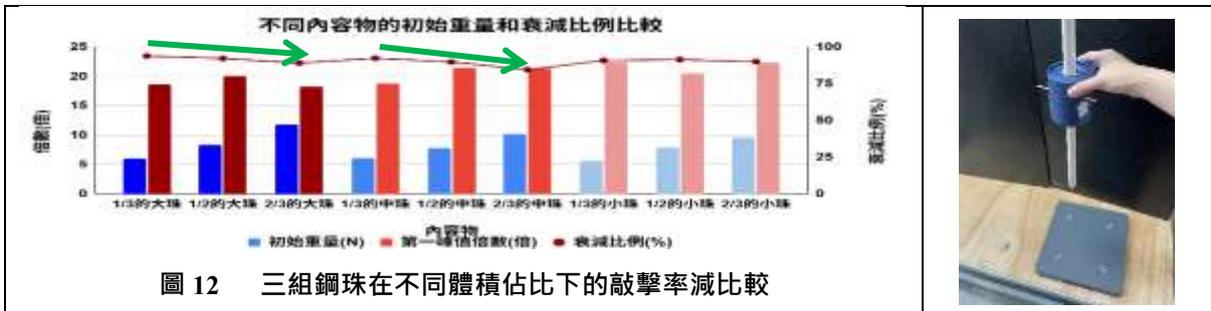
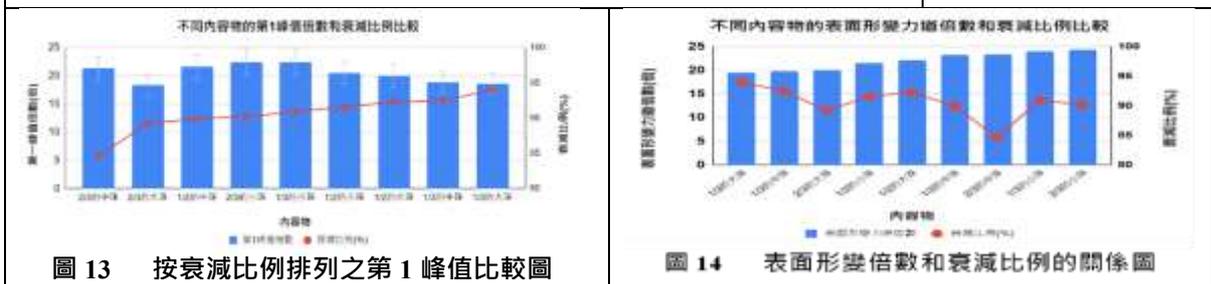


圖 12 三組鋼珠在不同體積佔比下的敲擊率減比較



3. 隨著填充比例增加，大珠與中珠的衰減效果略有下降；但在小珠組中的衰減比例變化不大，推測與內容物較小、彼此間碰撞較多有關。
4. 整體趨勢指出，填充體積愈小、內容物愈能自由移動時，衝擊能量愈能有效耗散。相較之下，單純提升內容物重量對減震效果的幫助較有限。此外，值得注意的是，小鋼珠組雖具有良好衰減表現，但其表面形變較大，可能提高損壞風險。
5. 本實驗讓我們初步理解，槌頭內容物的「自由程度」可能是影響減震表現的重要因素，甚至比重量本身更具關鍵性。

<第二階段>可移動空間對衰減效果的影響 (自由程度探究)

1. 為進一步驗證自由空間的影響，我們固定中鋼珠體積為佔紙罐的 1/3，並搭配可移動隔板，設計四種「可移動空間」條件，計算其自由程度 = 可移動體積 ÷ 鋼珠體積，實驗組的自由程度為 0(無空間)、0.5、1、2。

2. 實驗數據與分析

項目 \ 實驗組	圖 1	圖 2	圖 3	圖 4
可移動體積佔比	0	1/6	1/3	2/3
鋼珠填充體積佔比	1/3	1/3	1/3	1/3
自由程度	0	0.5	1	2

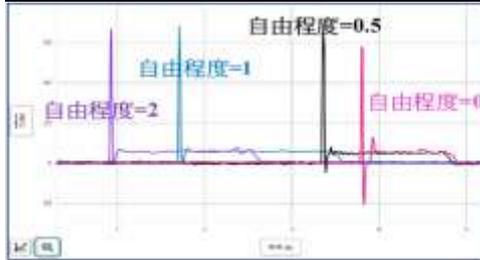


圖 15 不同自由程度的撞擊力量表現

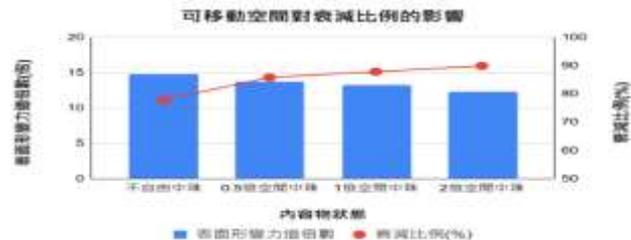


圖 16 自由程度與衰減比例之關係

- 當自由程度為 0 時，撞擊後的第 2 峰值明顯，表面形變大，表示減震效果差。
- 當自由程度達 1 時(內容物與可移動空間 1:1)，衝擊衰減最顯著，第 2 峰值幾乎消失，衰減比例高達 90%，減震效果佳。
- 整體趨勢顯示：自由程度愈高，力道衰減比例愈大。這進一步確認，減震槌的效果來自內容物在槌頭中自由移動、碰撞與能量耗散的過程，而非單靠重量或填充比例。

(四)探討不同握柄長度對手腕的影響並提出使用建議

在實際使用槌子時，敲擊所產生的反作用力若過強，可能會導致手腕負擔甚至受傷。而市售槌子的握柄長度多有差異，是否存在較佳的握持位置能降低手部晃動與衝擊力？於是我們設計實驗探討握柄長度與槌子反作用力的關係，並提出合適的使用建議。



圖 17 自製大槌敲擊裝置

- 自製大槌子，槌頭內裝入 1/3 體積的中鋼珠，並搭配隔板設定三種自由程度 (0、0.5、2)。
- 在握柄上距離槌頭 13cm(短握位)、21cm(中握位)、29cm(長握位)處分別裝上加速度規，模擬不同手握位置進行敲擊，紀錄力度板與角速度數據，分析每組在受力過程中的晃動情形。
- 力度計數據與分析：

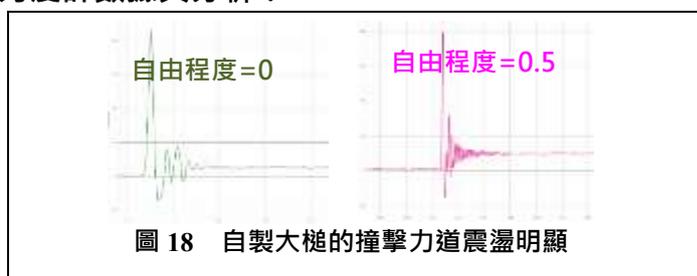


圖 18 自製大槌的撞擊力道震盪明顯

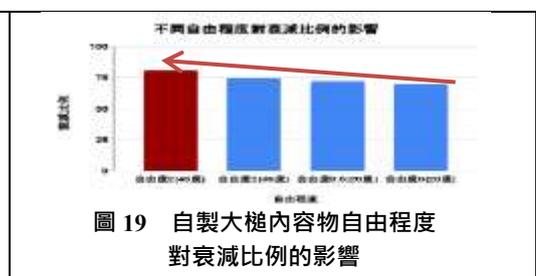
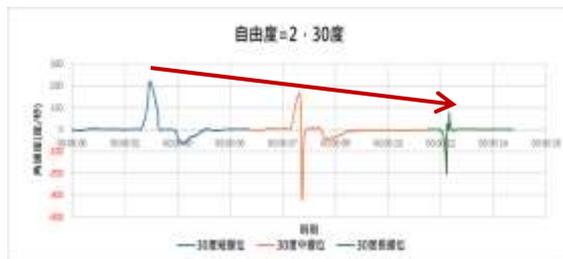
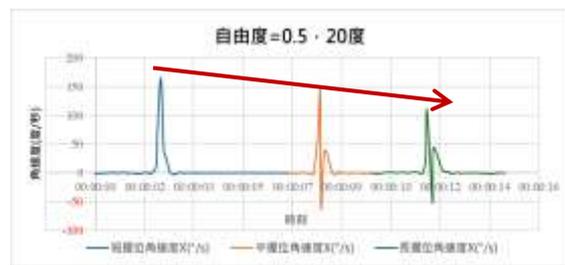
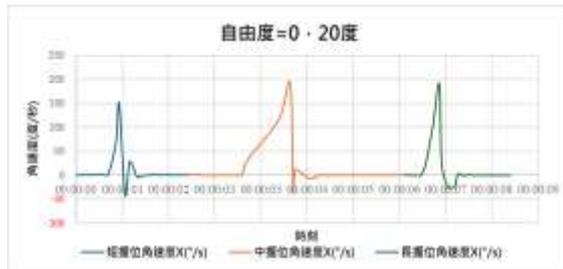


圖 19 自製大槌內容物自由程度對衰減比例的影響

當 **自由程度=0.5** 時，可觀察到槌子的震盪現象變得明顯，且隨著自由程度增加，衰減比例上升，代表**槌頭內部內容物有效吸收能量**。

4. 加速度規數據與分析：



(1)自由程度=0 時，三個握位呈現相同運動方向，代表手部與槌身一體化移動。當自由程度提升時，中握位出現明顯來回晃動，而長握位的角速度變化幅度最小，甚至出現與槌頭方向相反的擺動現象，顯示震動被緩衝吸收，有效降低回傳手腕的反作用力。

(2)線下面積顯示，長握柄的角度位移明顯較小，顯示更穩定、較不易造成手腕疲勞。

5. 採用長握柄設計搭配具有一定自由度的槌頭，有助於降低手部受到的反作用力。更可在握柄表面包覆彈性減震材質，以進一步緩衝晃動，達到保護手腕的效果。

五、結論與生活應用

1. 傳統槌敲擊力強，力道衰減慢，且其反作用力，長時間使用可能會造成手部負擔。
2. 減震槌雖然敲擊力較小，但能穩定耗散能量，減少反彈，對手腕更為友善。
3. 敲擊角度會影響槌子的表現，減震槌能在 45 度以上的角度發揮最佳的減震效果(79.34%)，且呈現角度越大，衰減愈快之趨勢。
4. 我們發現，減震的關鍵不只在重量或材質，而在於內容物是否擁有足夠的活動空間。我們定義「自由程度」作為量化指標，發現當內容物的自由程度達到 1(內容物體積=可移動空間)時，衝擊衰減效果最為顯著。
5. 槌子的握柄長度也會影響使用時的穩定性與舒適性，較長的握柄能有效降低晃動，保護使用者的手腕。

綜合上述結果，我們認為：若希望在工作中同時兼顧足夠的敲擊力與良好的減震效果，選擇具備「減震設計、內部填充小顆粒、適當自由度、長握柄」的槌子，並採用偏大角度敲擊方式，是一個能提升效率又能保護手部的理想選擇。這樣的設計原則，不僅適用於實際工具選擇，也能作為未來槌子改良與人體工學應用的設計參考。

參考資料

1. Wikipedia · 自由百科全書 (2024) 。《Dead Blow Hammer》。取自：
https://en.wikipedia.org/wiki/Dead-blow_hammer
2. 國立科學工藝博物館 <https://www.nstm.gov.tw/Exhibition.aspx?KeyID=e0da1041-ace2-4627-b98a-13c78c9f0b68>