

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

協助投籃訓練的輔具之設計與動態模擬

Innovative Design and Dynamic Simulation of
Orthosis for Training Basketball Shooting

研究生：林永修

指導教授：鄭璧瑩 博士

中華民國九十九年九月

協助投籃訓練的輔具之設計與動態模擬

Innovative Design and Dynamic Simulation of Orthosis for
Training Basketball Shooting

研究生：林永修

Student : Yung-Shiou Lin

指導教授：鄭璧瑩 博士

Advisor: Dr. Pi-Ying Cheng



A Thesis
Submitted to Department of Mechanical Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
In Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of
Master
In
Mechanical Engineering
September 2010
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年九月

協助投籃訓練的輔具之設計與動態模擬

學生：林永修

指導教授：鄭璧瑩博士

國立交通大學機械工程學系碩士班

中文摘要

在籃球比賽中，進的球越多就能得到越多分數，而得到越多分數再配合嚴密的防守，就有很大的機會贏球。進球的方式有分三種：投籃、上籃、與灌籃，本研究討論的即為投籃過程的手部動作。在參考幾篇相關文獻後，便能知道標準的投籃動作。但是文獻中提出的標準投籃動作裡，似乎又細分出分四種看起來相差無幾的動作。為了瞭解哪種才是最標準的，就以 SolidWorks 建構出人體模型，緊接著以 COSMOSMotion 進行此四種投籃動作的模擬，由模擬結果便知道了哪一種動作投出去的球的偏移量最少，就是「最標準的投籃動作」。然後就根據此最標準的投籃動作，用機構合成的三個位置合成，設計出能限制並帶動手臂做出一樣動作的輔具。為了驗證本輔具有達到效果，以 SolidWorks 建構出輔具的模型，並與人體模型組合，然後以 COSMOSMotion 進行投籃的模擬。最後由模擬結果可看出手臂的動作確

實有被矯正，而投出去的球因為手掌並沒有完全被輔具拘束住，所以造成球還是有一點點偏移，但其偏移量又比最標準投籃動作的還要小，因此證明穿戴本輔具投籃可以投得比較準。

關鍵字：投籃、機構合成、三個位置合成、動態模擬



Innovative Design and Dynamic Simulation of Orthosis for Training Basketball Shooting

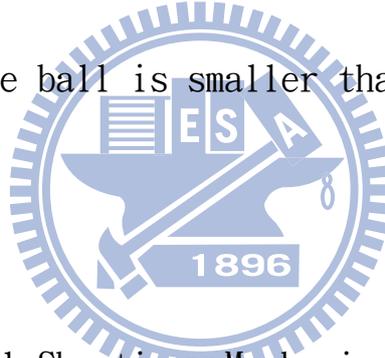
Student: Yung-Shiou Lin

Advisor: Dr. Pi-Ying Cheng

Abstract

The more field goals you get, the more points you get. If you get many points with strong defense, you will have great opportunities to win the game. There are three ways to get field goals: jump-shooting, layup, and dunk. This thesis discusses the arm's movement of jump-shooting. We can realize standard basketball shooting movement by consulting some references. But there seem to be four kinds of standard shooting movement which have little differences. In order to find out which movement is the most standard, I use SolidWorks to construct a human model and then use COSMOSMotion to do dynamic simulation of these four shooting movement. The shooting movement which makes the ball producing least deviation in simulation is the

most standard shooting movement. Then based on the most standard movement, I use three position synthesis of mechanism synthesis to design an orthosis that can lead arms to do the same movement. In order to verify whether this orthosis works, I use SolidWorks to construct the orthosis model. Then I combine the orthosis model with human model, and I use COSMOSMotion to simulate basketball shooting. In the end, we can know from the result of simulation that the arm's movement is corrected and the deviation of the ball is smaller than the human model without orthosis.



Keywords: Basketball Shooting · Mechanism Synthesis · Three
Position Synthesis · Dynamic Simulation

誌謝

一篇論文是字字血汗，頁頁辛苦，不單是自己的努力，旁人的協助更是不計其數。許多人的建議、創意及想法，都使得論文更有價值、更有意義。沒有這些恩師的幫忙，就沒有今天的論文。因此畢業前夕我要將內心保留許久的真摯之言，對我的恩師們一一道謝。

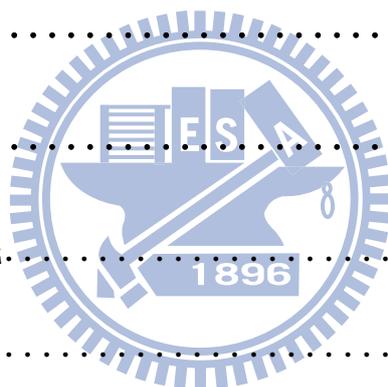
鄭璧瑩老師，是我的指導老師，也是我永遠的恩師。記得第一次跟鄭老師見面，他的親切與熱情就讓我印像深刻。接觸一段時間後，更體會到老師的專業知識的艱深，以及老師對我的用心與期望。碩一的時候，我對論文方向充滿著徬徨和不安，不知從何下手。幸虧鄭老師這時候即時推了我一把，他了解我的興趣與能力。因為我大三開始有參加籃球隊，一直參加到碩二寒假，為了全力衝刺做研究、寫論文，才在寒訓時退隊。鄭老師知道我對籃球運動方面的知識、經驗豐富，所以毅然決定將我安排在「協助投籃訓練的輔具的設計與動態模擬」的方向。在研究的路上，鄭老師給了我很大的發展空間，並培養我解決問題的能力。當我遇到問題時，鄭老師也能適時的給我指導，所以我才能在研究所兩年內學會做研究的方法與做研究的精神。

最後，我要感謝我的父母，實驗室同學林詩漢、簡漢加、蘇軒承、簡嗣展大哥、呂長懋、熊昱登、李首余，讓我在實驗室的期間充滿歡笑、互相成長。

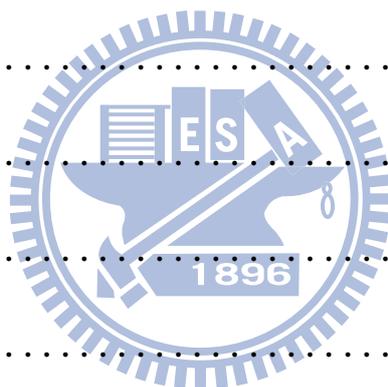
學生 林永修 謹致 2010/8/27

目錄

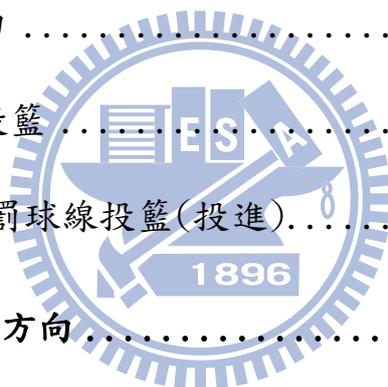
中文摘要.....	I
ABSTRACT.....	III
誌謝.....	V
目錄.....	VI
表目錄.....	IX
圖目錄.....	X
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 文獻回顧.....	2
1.3 投籃動作介紹.....	8
1.4 籃球員常犯的錯誤投籃動作.....	10
1.4.1 投籃動作一.....	11
1.4.2 投籃動作二.....	12
1.4.3 投籃動作三.....	14
1.4.4 投籃動作四—標準投籃動作.....	15
1.5 動作標準與否以外的需求.....	16



1.6 論文架構	16
第二章 研究方法	18
2.1 尺寸合成.....	18
2.1.1 兩個位置的合成.....	18
2.1.2. 三個位置合成	24
2.2 軟體介紹—SOLIDWORKS 2008 繪圖軟體.....	25
第三章 輔具的機構設計	28
3.1 設計目標.....	28
3.2 機構合成.....	28
3.2.1 手臂合成一.....	28
3.2.2 手臂合成二.....	34
3.2.3 手臂合成三	35
3.2.4 手臂合成四	36
3.2.5 手臂合成五.....	38
3.3 手腕合成	39
3.3.1 手腕合成一	40
3.3.2 手腕合成二.....	43
3.3.4 手腕合成四	46



3.4 合成結果的作動情況與真實投籃比較	48
第四章 動態模擬與比較	50
4.1 投籃動作模擬介紹	50
4.2 COSMOSMOTION 投籃動作模擬	58
4.2.1 投籃動作一	58
4.2.2 投籃動作二	69
4.2.3 投籃動作三	77
4.2.4 投籃動作四	84
4.3 裝上輔具模擬投籃	91
4.4 裝上輔具模擬罰球線投籃(投進)	103
第五章 結論與未來方向	106
5.1 結論	106
5.2 未來方向	107



表目錄

表 4.1 李雲光量測 — 三分投籃情況下，不同投籃姿勢之各關節 最大角速度(度/秒).....	64
表 4.2 李雲光量測 — 後仰跳投情況下，不同投籃姿勢之各關節 最大角速度(度/秒).....	64
表 4.3 李雲光量測 — 運球跳投情況下，不同投籃姿勢之各關節 最大角速度(度/秒).....	65
表 4.4 湯文慈等人量測 — 優秀與一般籃球選手原地跳投慣用側 各關節角速度峰值之平均數及標準差(度/秒).....	65
表 4.5 湯文慈等人量測 — 優秀與一般籃球選手運球跨步跳投慣 用側各關節角速度峰值之平均數及標準差(度/秒)	65

圖目錄

圖 1.1	美國上市的投籃輔具示意圖	3
圖 1.2	美國上市的投籃輔具	4
圖 1.3	裝於輪椅上的輔具.....	4
圖 1.4	輔具機構圖	4
圖 1.5	可以穿戴在身上的輔具	5
圖 1.6	Jiping He 等人設計的可穿戴又有動力的輔具	6
圖 1.7	P. Garrec 等人設計的可穿戴又有動力的輔具	7
圖 1.8	輔具外觀示意圖	7
圖 1.9	單一關節構造剖示圖	8
圖 1.10	手肘與地板垂直.....	9
圖 1.11	手肘打直.....	10
圖 1.12	投籃動作一	11
圖 1.13	投籃動作二.....	12
圖 1.14	Kobe Bryant 罰球.....	13
圖 1.15	錯誤動作三.....	14
圖 1.16	標準投籃動作.....	15
圖 2. 1	範例 1 圖示.....	19

圖 2.2	範例 2 示意圖	21
圖 2.3	範例 3 示意圖	23
圖 2.4	範例 4 示意圖	24
圖 2.5	SolidWorks 2008 操作圖	27
圖 3.1	從起始位置到中間位置再到結束位置	29
圖 3.2	手臂合成一	30
圖 3.3	手臂合成一的起始位置	31
圖 3.4	手臂合成一的中間位置	32
圖 3.5	手臂合成一的結束位置	32
圖 3.6	手臂合成一的肘節位置	33
圖 3.7	手臂合成二	34
圖 3.8	手臂合成二的肘節位置	35
圖 3.9	手臂合成三	35
圖 3.10	手臂合成三的肘節位置	36
圖 3.11	手臂合成四	36
圖 3.12	手臂合成四的動作過程	37
圖 3.13	手臂合成五	38
圖 3.14	手臂合成五的起始位置、中間位置、結束位置	39
圖 3.15	手腕合成一	40



圖 3.16	手腕合成一的起始位置	41
圖 3.17	手腕合成一的中間位置與結束位置.....	41
圖 3.18	移動到結束位置的過程 1	42
圖 3.19	移動到結束位置的過程 2	42
圖 3.20	移動到結束位置的過程 3	43
圖 3.21	手腕合成二.....	43
圖 3.22	手腕合成二的起始位置與中間位置.....	44
圖 3.23	手腕合成二的結束位置與「繞道」所達到的結束位置.....	44
圖 3.24	手腕合成三.....	45
圖 3.25	手腕合成三的起始位置	45
圖 3.26	手腕合成三的中間位置	46
圖 3.27	手腕合成三的結束位置	46
圖 3.28	手腕合成四的起始位置和中間位置.....	47
圖 3.29	手腕合成四的結束動作與「繞道」達到的結束動作.....	47
圖 4.1	(a) 人體模型視角 1(b) 人體模型視角 2.....	50
圖 4.2	(a) 人體模型的腕部(b)關節透明化的人體模型的腕部	51
圖 4.3	(a)人體模型的肘部(b)上臂透明化時的人體模型的肘部.....	51
圖 4.4	(a)人體模型的肩部(b)肩部及軀幹透明化的人體模型的肩部	51

圖 4. 5	2008-2009 球季罰球命中率 9 成以上的球員	52
圖 4. 6	2009-2010 球季罰球命中率 9 成以上球員	52
圖 4. 7	Chauncey Billups 罰球	53
圖 4. 8	Chauncey Billups 急停跳投連續動作圖 1	53
圖 4. 9	Chauncey Billups 急停跳投連續動作圖 2	54
圖 4. 10	Chauncey Billups 急停跳投連續動作圖 3	54
圖 4. 11	Chauncey Billups 急停跳投連續動作圖 3	55
圖 4. 12	Jose Calderon 罰球連續動作圖 1	55
圖 4. 13	Jose Calderon 罰球連續動作圖 2	56
圖 4. 14	Kevin Durant 罰球連續動作圖 1	56
圖 4. 15	Kevin Durant 罰球連續動作圖 2	57
圖 4. 16	投籃動作一的手臂與驅幹的相對位置	58
圖 4. 17	投籃動作一的重力設定	59
圖 4. 18	投籃動作一的 3D 接觸設定	59
圖 4. 19	投籃動作一的動力設定 1	59
圖 4. 20	投籃動作一的動力設定 2	60
圖 4. 21	投籃動作一的動力設定 3	60
圖 4. 22	投籃動作一計算	61
圖 4. 23	投籃動作一模擬結果側視圖	61

圖 4. 24	投籃動作一模擬結果後視圖	62
圖 4. 25	投籃動作一的肩部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	62
圖 4. 26	投籃動作一的肘部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	63
圖 4. 27	投籃動作一的腕部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	63
圖 4. 28	球心與原點的相對位置	66
圖 4. 29	投籃動作一在 X 軸的「球心位置(mm) -時間(sec)」關係圖	67
圖 4. 30	投籃動作一在 Y 軸的「球心位置(mm) -時間(sec)」關係圖	67
圖 4. 31	投籃動作一在 Z 軸的「球心位置(mm) -時間(sec)」關係圖	67
圖 4. 32	人體模型可能產生的真實人體達不到的動作	68
圖 4. 33	人體模型在投籃過程中的動作	68
圖 4. 34	投籃動作二的手臂與驅幹的相對位置 1	69
圖 4. 35	投籃動作二的手臂與驅幹的相對位置 2	70
圖 4. 36	投籃動作二的手掌與驅幹的相對位置 1	70
圖 4. 37	投籃動作二的手掌與驅幹的相對位置 2	71
圖 4. 38	投籃動作二的動力設定 1	71
圖 4. 39	投籃動作二的動力設定 2	72

圖 4. 40	投籃動作二的動力設定 3	72
圖 4. 41	投籃動作二模擬結果側視圖	72
圖 4. 42	投籃動作二模擬結果後視圖	73
圖 4.43	投籃動作二的肩部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	74
圖 4.44	投籃動作二的肘部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	74
圖 4.45	投籃動作二的腕部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	74
圖 4. 46	投籃動作二—量測球剛投出去時的肘關節角速度	75
圖 4. 47	投籃動作一與投籃動作二在球剛投出去時的動作比較	75
圖 4.48	投籃動作二在 X 軸的「球心位置(mm)-時間(sec)」關係圖	76
圖 4.49	投籃動作二在 Y 軸的「球心位置(mm)-時間(sec)」關係圖	76
圖 4.50	投籃動作二在 X 軸的「球心位置(mm)-時間(sec)」關係圖	76
圖 4. 51	投籃動作三的手臂與驅幹的相對位置 1	77
圖 4. 52	投籃動作三的手臂與驅幹的相對位置 2	78
圖 4. 53	投籃動作三的動力設定 1	78
圖 4. 54	投籃動作三的動力設定 2	78
圖 4. 55	投籃動作三的動力設定 3	79

圖 4. 56	投籃動作三模擬結果側視圖	79
圖 4. 57	投籃動作三模擬結果後視圖	80
圖 4. 58	投籃動作三的肩部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	80
圖 4. 59	投籃動作三的肘部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	81
圖 4. 60	投籃動作三的腕部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	81
圖 4. 61	投籃動作二(左)與投籃動作三(右)球剛投出去時的動作比較	82
圖 4. 62	投籃動作三在 X 軸的「球心位置(mm) -時間(sec)」關係圖	82
圖 4. 63	投籃動作三在 Y 軸的「球心位置(mm) -時間(sec)」關係圖	82
圖 4. 64	投籃動作二在 Z 軸的「球心位置(mm) -時間(sec)」關係圖	83
圖 4. 65	投籃動作四的手臂與驅幹的相對位置 1	84
圖 4. 66	投籃動作四的手臂與驅幹的相對位置 2	84
圖 4. 67	投籃動作四的動力設定 1	85
圖 4. 68	投籃動作四的動力設定 2	85
圖 4. 69	投籃動作四的動力設定 3	85
圖 4. 70	投籃動作四模擬結果側視圖	86
圖 4. 71	投籃動作四模擬結果後視圖	86

圖 4.72 投籃動作四的肩部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	87
圖 4.73 投籃動作四的肘部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	87
圖 4.74 投籃動作四的腕部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	87
圖 4.75 投籃動作四球剛投出去時的動作	88
圖 4.76 投籃動作四—量測球剛投出去時的肘關節角速度	88
圖 4.77 投籃動作四在 Z 軸的「球心位置(mm) -時間(sec)」關係圖	89
圖 4.78 無法轉動的 XY 座標	89
圖 4.79 量測投籃動作四模擬結果的球心偏移距離	90
圖 4.80 裝上輔具示意圖	91
圖 4.81(a) 肩膀轉軸上的長方形	92
圖 4.82 裝上輔具時上、下臂打直	93
圖 4.83 計算裝上輔具肩部轉動角度示意圖	93
圖 4.84 裝上輔具投籃的 3D 接觸設定	94
圖 4.85 裝上輔具投籃的動力設定	94
圖 4.86 裝上輔具投籃模擬結果側視圖	95
圖 4.87 裝上輔具投籃模擬側視圖	95
圖 4.88 量測裝上輔具投籃模擬結果的球心偏移距離	96

圖 4.89 裝上輔具投籃-肩部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	96
圖 4.90 裝上輔具投籃-肘部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	97
圖 4.91 裝上輔具投籃-肘部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖	97
圖 4.92 裝上輔具投籃—Z 軸的「球心位置(mm) -時間(sec)」關係圖	97
圖 4.93 座標順時針轉 20° —人體模型	98
圖 4.94 座標順時針轉 20° —人體模型裝上輔具	99
圖 4.95 標準投籃—X 軸的「上臂質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖	99
圖 4.96 標準投籃—X 軸的「下臂質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖	99
圖 4.97 標準投籃—X 軸的「手掌質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖	100
圖 4.98 裝上輔具—X 軸的「上臂質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖	100
圖 4.99 裝上輔具—X 軸的「下臂質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖	100
圖 4.100 裝上輔具—X 軸的「手掌質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖	100

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

籃球運動從 1891 年被發明到現在，已有一百多年的歷史。將籃球投進籃框當然是最主要的目的。而將球投進籃框的方法有很多，最常見的即是原地單手投籃。

籃球是一項非常全面的運動，本人從國小就接觸過籃球運動。雖然國中因為過於注重課業，變得非常少從事籃球運動，但是高一開始又重新拾回打籃球的樂趣。到了大學更參加了籃球隊，一直到今年寒假為了專心做研究、寫論文，才在寒訓之前退隊。由於接觸籃球這麼長的時間，難免會了解到現實的殘酷，贏得比賽的勝利變成了主要的目標。而想贏得比賽，能得到較多的分數是相對較為可靠的；而想得到較多的分數，當然投球出手後也需要較高的命中率。而投籃的動作千奇百怪，到了籃球場，各種投籃出手的動作看得到。何種投籃動作、出手姿式才是最適合人類的身體結構呢？這當然是所有從事籃球運動的人都非常想得到的答案。其實有許多文章、論文、書籍都有提出標準的投籃動作，相信許多人也都有見識過。但是為何籃球場上還是那麼多人使用的投籃姿式，不同於這些文獻所提出的標準動作呢？或許是他們剛開始學習打籃球時，沒有先看過那些文獻，而且在他使用

了不標準的投籃動作在打籃球時，也沒有高手糾正他。而用久了這「不標準」的投籃動作以後也越變越準，所以從此就習慣於自己的投籃方式了。雖然這些人自己感覺這樣投起球來比較順手，但這些異於籃球相關文獻所提出的投籃方式，難道真的適合他們嗎？還是這些人只是一時覺得自己的投籃動作較為方便，但其實無意中更花廢了不需要的力氣來維持自己的命中率呢？所以本研究以 SolidWorks 建構出與人的驅幹、手臂相近的模型，然後再用 COSMOSMotion 做動態模擬，分析常見的四種不同的投籃動作，觀察哪一種能把球投得比較準。當我們確定何種投籃動作最為標準，便能用機構合成的三個位置合成，來設計一輔具來輔助投籃的訓練。如此一來，從事籃球訓練的人，便不用再煩惱自己的投籃動作是不是正確的，並且提高投籃的命中率，進而贏得比賽的勝利。

1.2 文獻回顧

輔具分為非常多種，日常生活中最常見的就是殘障人士或是老年人用的輔具，這種也是佔最大多數的輔具。因為先天或後天的肢體障礙，或是因為年紀大而肌肉無力，所造成的行動不便，可以靠著輔具幫助他們過著接近正常的生活。而在運動上，為了使得運動員更精進，也會有幫助訓練用的輔具，本論文所研究的便是此類的輔具。幫助訓練投籃的輔具雖然很不常見，但在美國已經有簡單、輕便的產品

[1]，見圖 1.1 及圖 1.2。此輔具主要是限制上臂與下臂的夾角，在投籃時無法小於 90° ，為何要這樣限制，在後面的標準投籃動作介紹會提到。不過此產品屬於非常簡易的輔具，功能有限，若是能設計得像 Tariq Rahman 等人[2]、[3]的輔具—WREX 一樣，是由幾個連桿組成並加上彈性帶的機構(圖 1.3 及圖 1.4)，如此一來便能限制到肩關節的動作了，而不會只能限制肘關節而已。

The Bandit shooting machine gives your arm just the right amount of movement.



Develops & Improves your Muscle Memory

***The Bandit
Shooting Arm Machine***

圖 1.1 美國上市的投籃輔具示意圖



圖 1.2 美國上市的投籃輔具

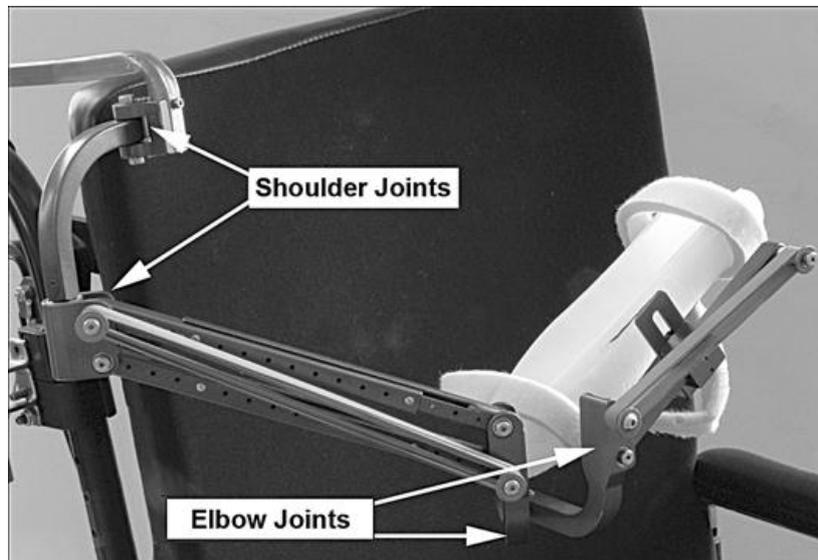


圖 1.3 裝於輪椅上的輔具

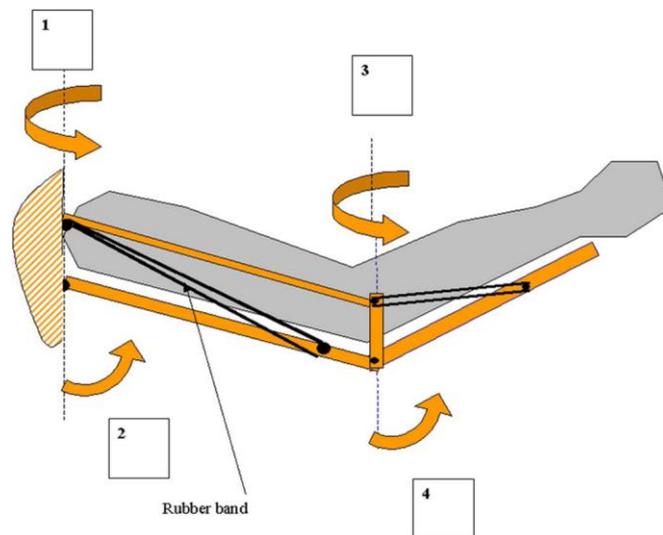


圖 1.4 輔具機構圖



圖 1.5 可以穿戴在身上的輔具

不過 Tariq Rahman 設計的此種輔具是屬於重力平衡式的輔具，主要還是適合殘障人士用的，可以幫助他們做出原本沒有力量做出的動作或是較為精密的動作，例如拿杯子、或寫字。Jiping He 等人[4]

的輔具可以穿在身上，反覆地做著復健的動作。由四個氣動肌肉 (pneumatic muscles) 提供動力，有五個自由度(2 個在肩部，2 個在肘部，1 個在腕部)用於密集、重覆動作的治療(中風患者)，請參照圖 1.6。P. Garrec 等人[5]所設計的上肢外骨骼輔具—四軸外骨骼輔具，由螺旋電纜驅動器(screw-and-cable actuators)驅動，屬於「主動式」的輔具，用於復健，也能用於測量手臂的力與扭矩(圖 1.7)，可以幫助上肢受過傷的人復健，或是直接作為上肢殘障者的輔具，協

助他們做出正常人能做的動作。高天賜[6]的「下肢輔助架的關節構造之改良」，此專利雖然不是穿戴於手臂上，但是能束縛著殘障者下肢以幫助行走，其關節構造確實操作肢架的直立、彎曲動作，即和本論文想要設計給手臂使用的輔具的目的相同，見圖 1.8 及圖 1.9。



圖 1.6 Jiping He 等人設計的可穿戴又有動力的輔具

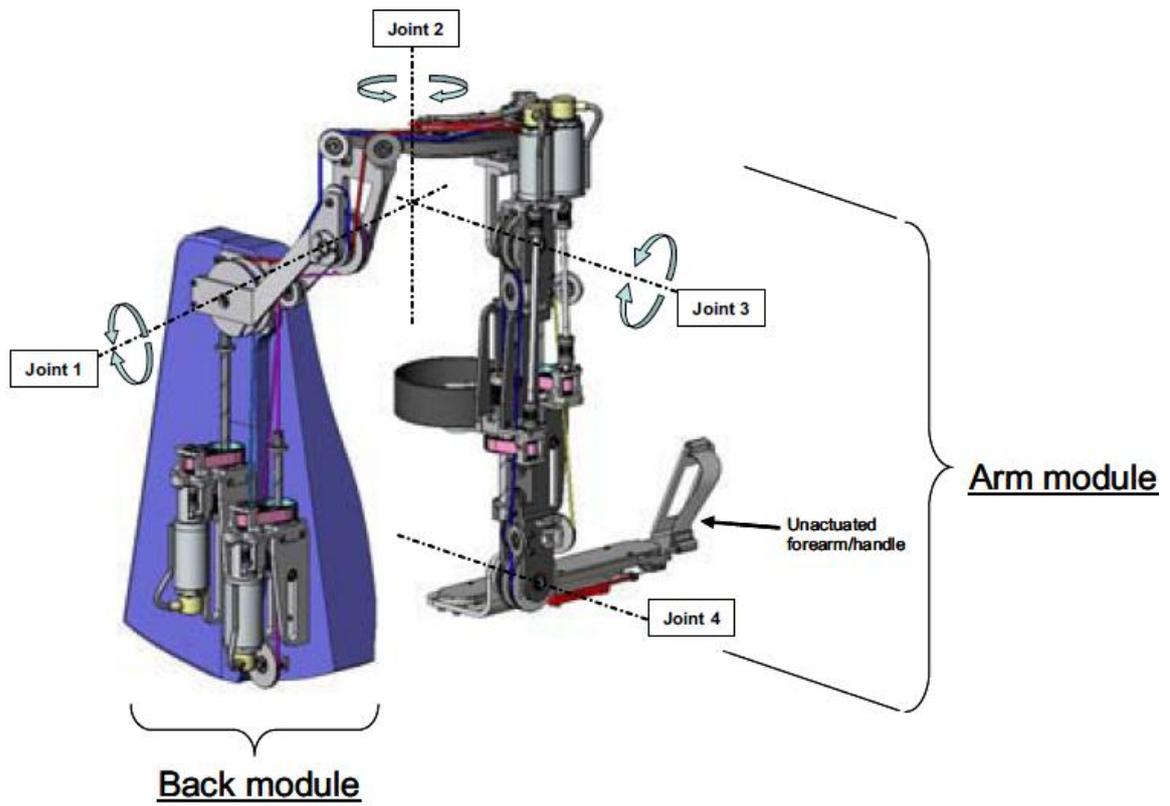


圖 1.7 P. Garrec 等人設計的可穿戴又有動力的輔具

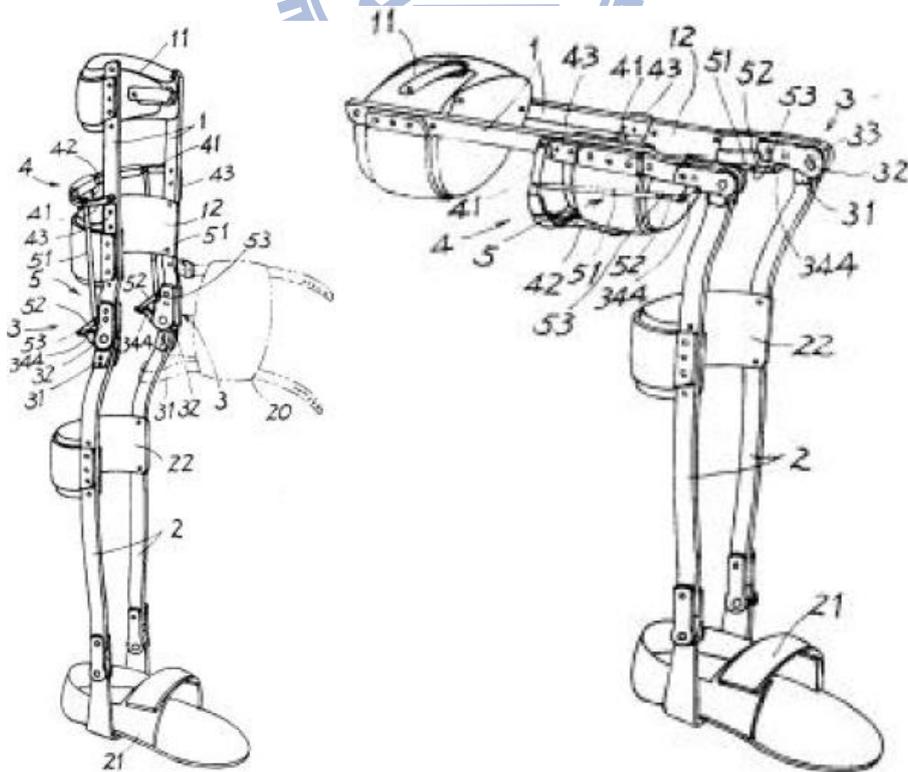


圖 1.8 下肢輔助架外觀示意圖

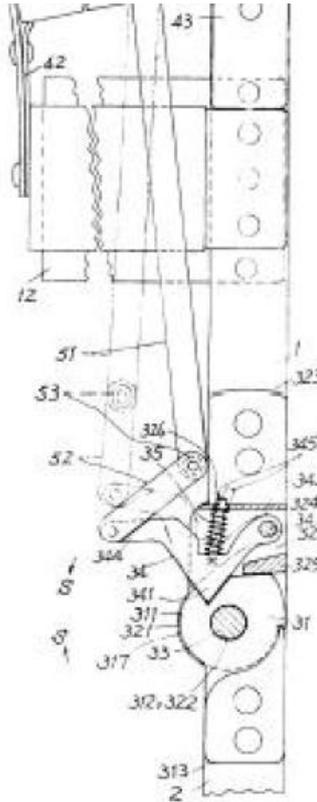


圖 1.9 單一關節構造剖示圖

1.3 投籃動作介紹

胥樹玲[7]在「籃球投籃技術」裡提出，兩手手指自然分開，兩手姆指相對形成「V 字形」，參照圖 1.17，用手指根部部位握住球，除了掌心皆接觸球面，兩臂自然屈肘，將肘關節下垂，並將置球胸腹之間。



圖 1.17

王人生[8]在「談籃球運動不同方式投籃之力學分析」中提到，投籃必須將五隻手指頭張開，以增大接觸球的面積，投籃手的肩膀、手肘及手腕的三個關節應該在同一個平面上，如此才易於掌控球，掌握方向。將球舉起來時，投籃手的手腕需轉正，使手掌正對籃框，另一手置於球的側面用於支撐。為了容易控制球，手指必須盡量張開，但不要過度用力。當球離手時，應用手指控制力量，因為指尖是感觸知覺集中的存在。

李宇載[9]在「籃球絕技圖解手冊」裡提出，投籃時兩腳的寬度與肩同寬，膝關節保持柔軟，腹部放鬆，肩膀呈水平且放鬆，頭擺直使身體重心呈垂直狀態，持球瞄準區域定在下顎至額頭之間，手肘與地板呈垂直(參照圖 1.10)，投出去時將手直直的推出，伸展手臂，直到手肘完全打直(參照圖 1.11)。

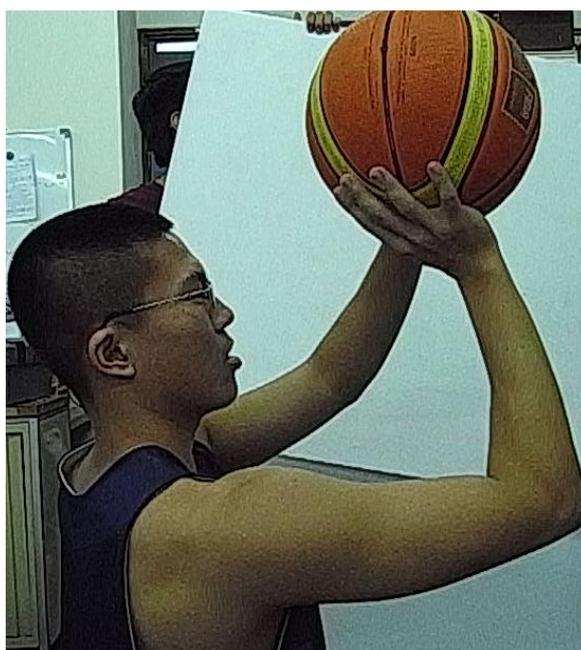


圖 1.10 手肘與地板垂直

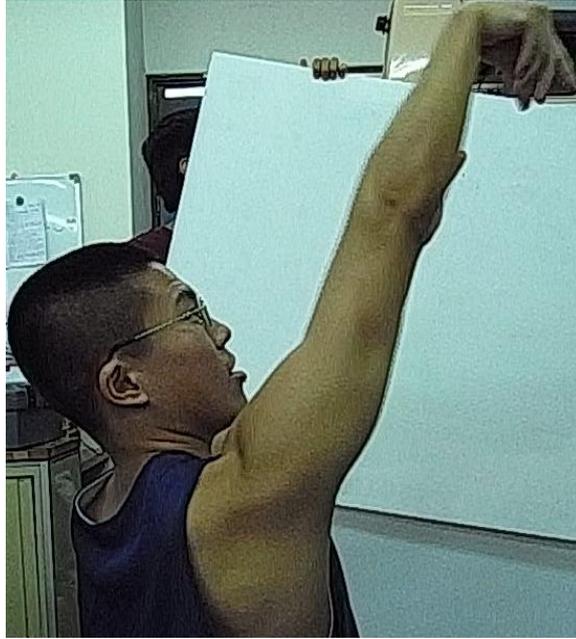


圖 1.11 手肘打直

1.4 籃球員常犯的錯誤投籃動作

既然緒論中提到有許多人的投籃方式都與現在公認的標準姿式有所差別，那到底有哪些常見的呢？下面將敘述幾種現在所公認的不夠標準的投籃動作[10]：

1.4.1 投籃動作一



圖 1.12 投籃動作一

這個動作(參照圖 1.12)將球放在肩膀上，所以整個人的重心是偏於球的那一邊，這樣不利於起跳，因此會影響到跳投的命中率，除非是花了更多的時間去練習，來習慣這種投籃動作。而且這種投籃動作，球即然放在肩上，也就是頭的右方，便完全無配合眼睛的瞄準，只能用感覺的，這也是造成此投籃動作必須花更多練習時間才能比較準的原因。

1.4.2 投籃動作二



圖 1.13 投籃動作二

這種動作(參照圖 1.13)往往出現在你身邊的高手當中。因為這個動作是可以有不錯的命中率的，並且可以在跳投當中佔有一席之地，科比·布萊恩(Kobe Bryant)的投籃動作正是屬於此一類型。因為這個動作下臂是垂直向上的，也就是說能保證了小臂是直線出手的，這是很重要的，能做到這一點，就足以證明他打球非常用心了，很多校隊的主力球員都在使用這個動作，無論是中距離還是三分，命中率都不錯，不仔細看，都會以為是無可挑剔了。這個動作錯誤的地方是，右肘部內收過多，而且是身體正面朝向籃圈(大多數人知道投籃需要側身一些，而他們自信地認為沒必要)。因為正面朝向籃筐，為了較

好瞄準、將球置於額頭上方，但是又不想讓手肘外擴，所以才右手肘過度內收，在出手以後經常需要手腕來調節球的路線。所以你可以看到，很多科比罰球的照片，右手的手掌到手指不是垂直向下，而是向外側偏出去很多的，就是因為手肘向內發力，所以手腕向外甩了(圖 1.14)。也就是說，這個動作在一部分時間是不容易直線出手的，也造成了他們在和重量級的對手對決時中命中率相對不高的情況。



圖 1.14 Kobe Bryant 罰球

1.4.3 投籃動作三



如圖 1.15 所示，紅色代表著錯誤的位置，綠色代表了正確的位置。這是在大多數球場遇到的最常見的投籃錯誤動作。這種投籃動作的使用者中有不少程度不錯的，但是為何這動作還是算錯誤的呢？這動作會這麼多人使用，是因為它方便眼睛的瞄準。為了將球擺在頭部中間，而使得下臂與地面不呈垂直了，這樣會使得施力無法垂直向上，就算用輔助手去施與反向的力，這樣球在投出去以後還是容易產生偏移。

1.4.4 投籃動作四—標準投籃動作



圖 1.16 標準投籃動作

參照圖 1.16，上臂與地面平行，下臂與地面垂直，所以上臂與下臂呈 90° 。上臂指向籃框、手掌正對籃框，但是身體必須側身，而不是正對籃框。如此一來更可利於眼睛瞄準，而且投球的過程中，上臂、下臂、手腕的動作又能在同一平面上。

1.5 動作標準與否以外的需求

最後，徐武雄[11]提到，姿式正確了還需要有連慣的動作將球投出去，才會有比較高的命中率。很多人或許看起來姿式是正確的，但是在持球、由胸前高舉過頭過程中，根本沒看籃框，以致持球高舉過頭後「才要描籃」。所以在他持球要投籃的瞬間，當然要「停頓」一下描籃，造成投籃動作的不連慣。另一種可能是，心理只想著要用手臂的力量，所以在持球高舉過頭停頓後，「才」要用手臂的力量投籃。

施翔[12]提到，在了解正確的姿式和動作連慣性以後，還需要有足夠的身體素質，也就是要有夠強的體能條件。例如，良好的速度、力量、耐力、彈跳、靈活性和協調能力是在激烈對抗中爭取時空優勢的保證。若沒有良好的體能訓練，在緊張激烈的比賽中，將會很快出現疲勞、四肢無力、呼吸急促等現象，致使投籃動作失調，降低投籃的準確性。

1.6 論文架構

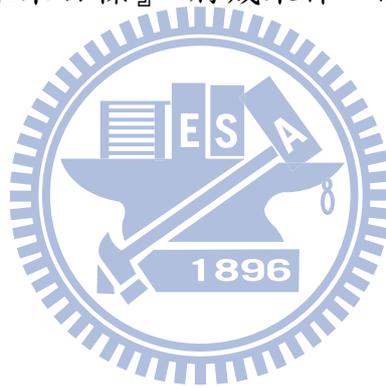
第一章『緒論』：說明本論文研究之動機與背景、文獻回顧、研究流程與章節架構的介紹。

第二章『研究方法』：介紹機構合成的原理，以及 3D 繪圖軟體—SolidWorks 和 COSMOSMotion 的介紹。

第三章『輔具機構設計』：使用機構合成中的圖解法，將幫助投籃訓練的輔具機構設計出來。

第四章『動態模擬分析與比較』：用 SolidWorks 建構出人體模型，還有合成好的的輔具機構，再用 COSMOSMotion 分析緒論裡提到的幾種投籃動作，驗證上述的文章及論文所教的「正確投籃動作」是否比文中的「錯誤投籃動作」還要準確。然後再將輔具裝上去，看看穿戴輔具後投籃是否有矯正的效果。

第五章『結果與未來目標』：將成果作一結論並闡述未來論文進行的部分及方向。



第二章 研究方法

2.1 尺寸合成

“Design of Machinery” — Robert L. Norton[13]著，引用此書中所提到：尺寸合成是決定連桿組的連桿比例(或長度)，以完成需要的運動。有許多技巧可應用在四連桿組的尺寸合成，最簡單迅速的方法是圖解法，它適用在多達三組精確位置的尺寸合成。更多精確位置的尺寸合成就必須使用數學解析法，而且通常需要使用電腦。圖解法是歐氏幾何原理的應用，也就是平分線段和平分角的定理、平行線與垂直線的性質、圓弧線的定義等等。連桿組合成的圖解法只須使用圓規、量角器和直尺等作圖工具。

2.1.1 兩個位置的合成

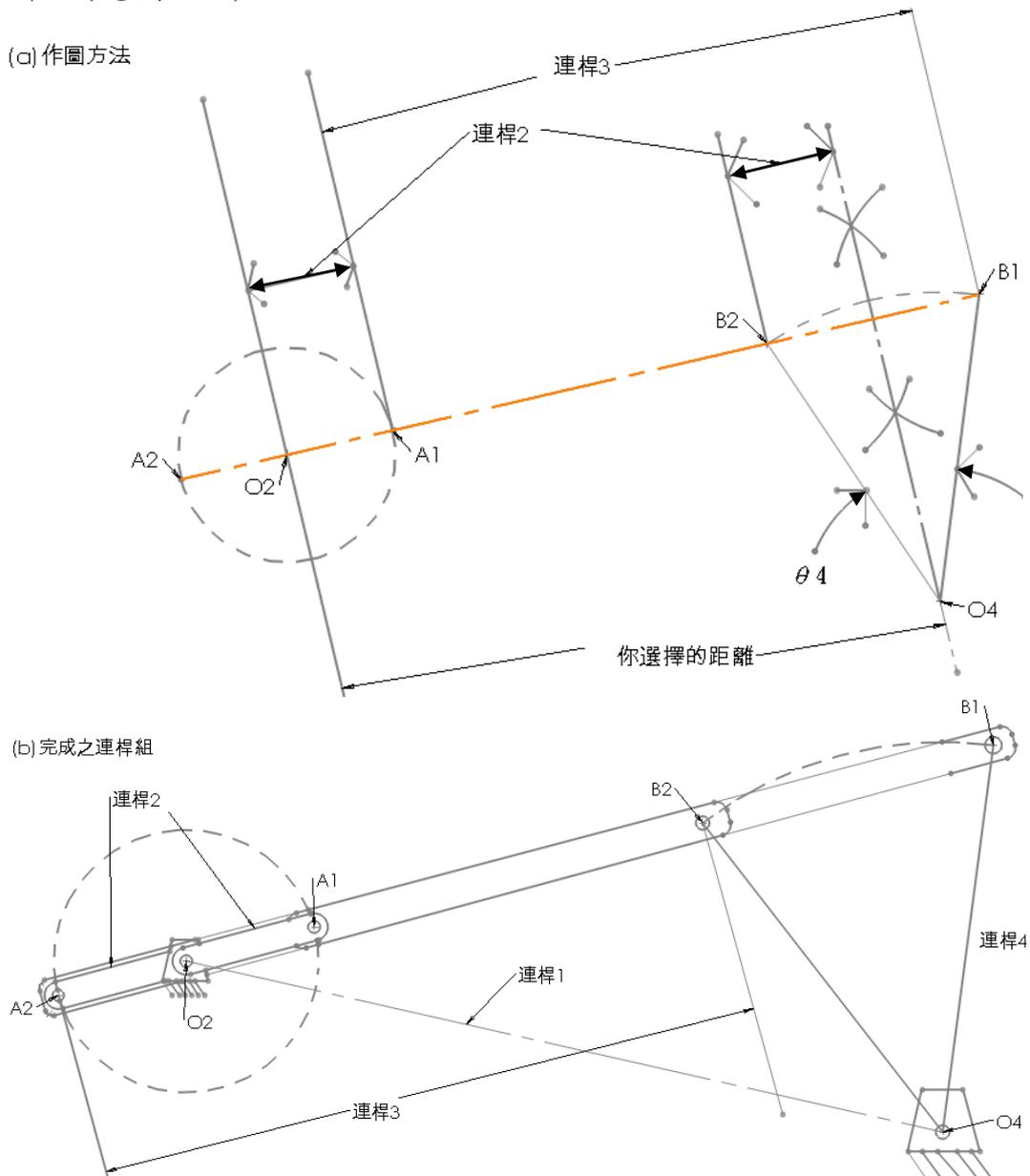
兩個位置的合成可以區分為純旋轉搖桿輸出和複合運動的聯結桿輸出兩類型。搖桿輸出最適合使用在需要葛士浩曲柄搖桿的情況，事實上，搖桿輸出是一種函數產生器，其輸出函數定義成搖桿在兩個不同角度的函數。聯結桿輸出是一種應用更廣泛，而且簡單的運動產生器，在平面上一條線段的兩個位置被定義成輸出函數。通常，聯結桿輸出會得到雙搖桿機構，必須再添加兩根連桿所構成的對矢才方便使用馬達驅動，結果就得到包含一個葛士浩四連桿組子運動鏈的瓦特

六連桿機構。以下我們將探討各類型的兩個位置合成問題(引用於[13]書中的範例 3-1~範例 3-5)。

1. 範例 1：搖桿輸出—兩個角位移(函數產生器)

問題：設計一個葛士浩曲柄搖桿四連桿機構，其輸出搖桿擺動 45° ，來回行程的運動時間相等。輸入連桿以等角速馬達驅動。

解：(見圖 2.1)



- (1) 在平面上畫出輸出連桿 O_4B 的兩個極限位置 B_1 和 B_2 ，使輸出連桿的經歷角度為需要的運動角 θ_4 。
- (2) 畫出弦 B_1B_2 ，並且往方便的方向作出其延伸線。
- (3) 在 B_1B_2 延伸線上任選一點為 O_2 。
- (4) 將線段 B_1B_2 切成兩等分，以此等分距離為半徑，在 O_2 點作一個圓。
- (5) 將圓與 B_1B_2 的延伸線之交點標示為 A_1 和 A_2 。
- (6) 量取 $A_1 B_1$ 的距離或是 $A_2 B_2$ 距離，作為聯結桿的長度。
- (7) 量取接地連桿 1、曲柄 2、和連桿 4 的長度。
- (8) 檢驗葛士浩條件。如果不是葛士浩機構，應該讓 O_2 更遠離 O_4 點，重新執行步驟 8。



機構合成程序有幾點應該注意的事項，我們從系統的輸出端著手設計，因為它是問題所定義的地方。由於問題擁有的變數數目比方程式數目多，我們必須假設一些變數的值以進行合成。在作圖時，我們經常需要任意選擇一些角度或長度的值，事實上，這些自由選定值就定義了設計的變數。不當的選擇會得到不好的設計結果，於是必須倚賴定性合成的方法以及反複迭代的設計過程，即使如同前述這麼簡單的範例也是如此。你最初得到的解答也許不能令人滿意，必須再經過幾次迭代過程來得到合理的答案。當你擁有更多設計機構的經驗，將有能力選擇好的變數值，而以較少次的迭代過程就得到合理的答案。

2. 範例 2：搖桿輸出一複合運動的兩個位置合成(運動產生器)

問題：設計一個四連桿組將連桿 CD 從 C_1D_1 移到 C_2D_2 。

解：(見圖 2.2)

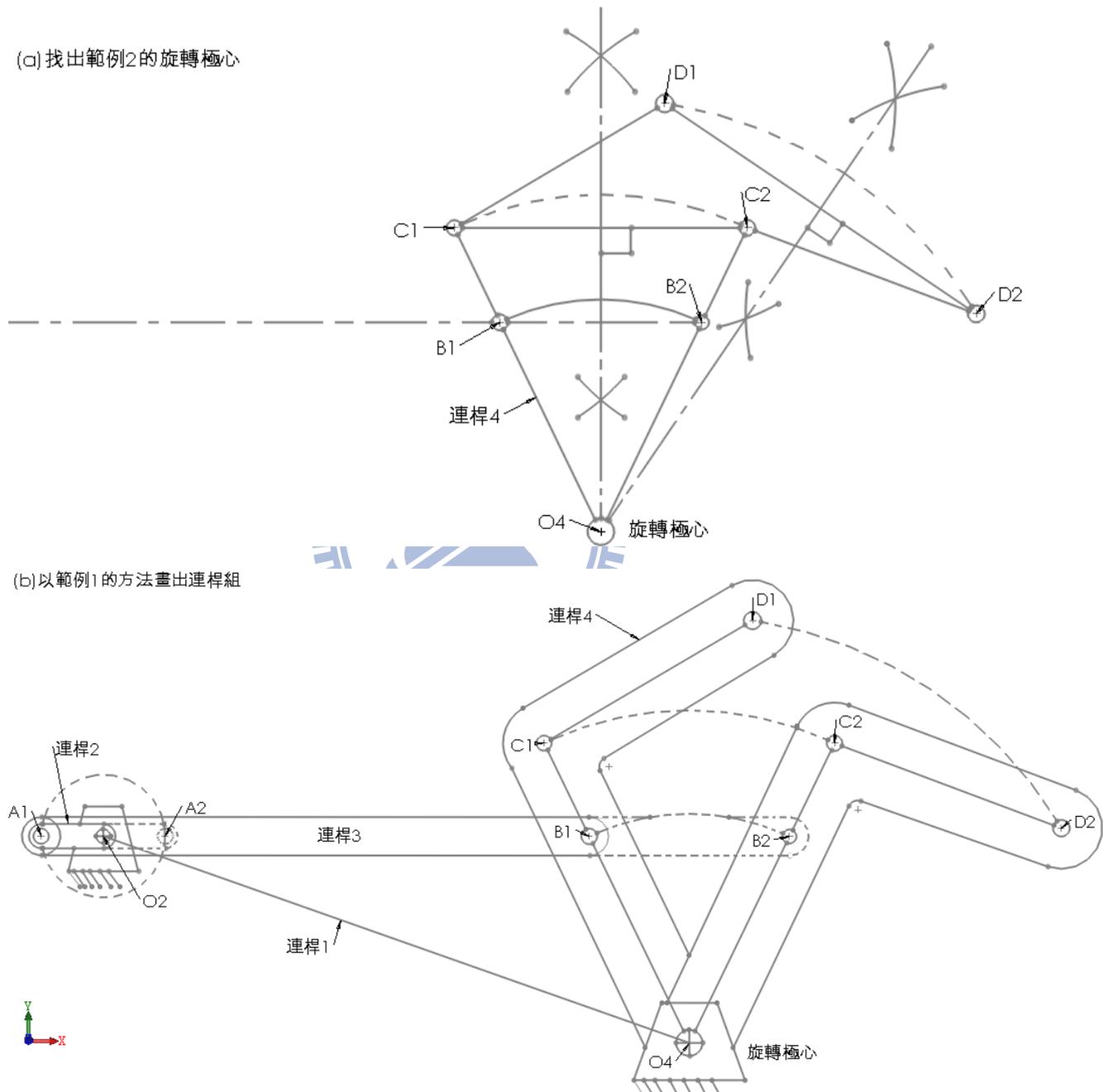


圖 2.2 範例 2 示意圖

(1) 在平面上畫出連桿 CD 要到達的兩個位置 C_1D_1 和 C_2D_2 。

(2)作輔助線連接 C_1 到 C_2 ，連接 D_1 到 D_2 。

(3)作線段 C_1C_2 的垂直平分線和線段 D_1D_2 的垂直平分線，兩條平分線
延伸交於 O_4 點，此交點是旋轉極心。

(4)任選一個半徑長度，以旋轉極心為中心畫圓弧和 O_4C_1 與 O_4C_2 兩條
線相交，交點分別標註為 B_1 和 B_2 。

(5)執行範例 1 的步驟 2 到步驟 8，以完成連桿組。

請注意，一旦找到旋轉極心，範例 2 就縮減成範例 1 的解題方法，於是，從一根直線連桿的複合運動問題轉變成較簡單的純旋轉運動問題，而且讓四連桿組之搖桿移經過平面的兩個位置。在下一個範例，我們要把同一根連桿用作四連桿組的聯結桿，移經相同的兩個位置。



3. 範例 3：聯結桿輸出一複合運動的兩個位置合成(運動產生器)

問題：設計一個四連桿組將連桿 CD 從 C_1D_1 移到 C_2D_2 ，而且將 C 點和 D 點用作移動樞軸。

解：(見圖 2.3)

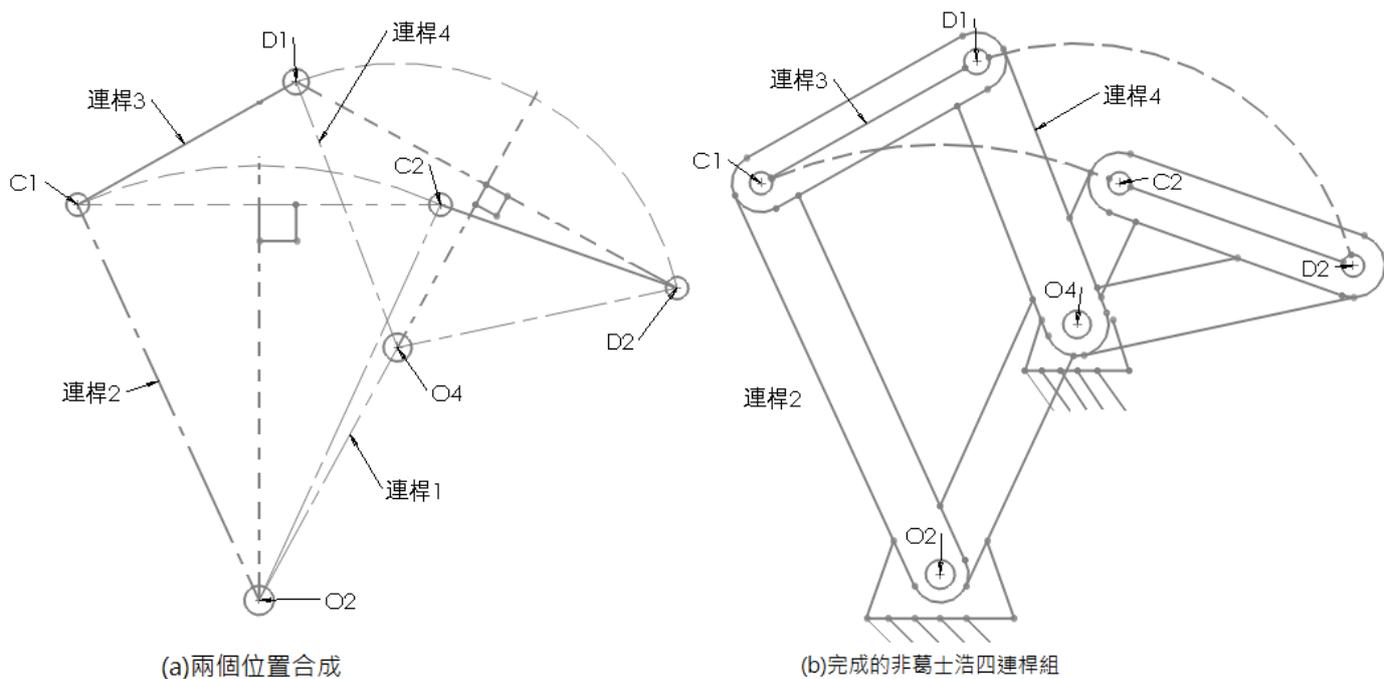


圖 2.3 範例 3 示意圖

- (1) 在平面上畫出連桿 CD 要到達的兩個位置 C_1D_1 和 C_2D_2 。
- (2) 作輔助線連接 C_1 到 C_2 ，連接 D_1 到 D_2 。
- (3) 作線段 C_1C_2 的垂直平分線和線段 D_1D_2 的垂直平分線。本方法將不使用旋轉極心求解。
- (4) 在各條平分線上任選一點為固定樞軸，分別標註為 O_2 和 O_4 。
- (5) 連接 O_2 點與 C_1 點為連桿 2。連接 O_4 點與 D_1 點為連桿 4。
- (6) 直線 C_1D_1 就是連桿 3，直線 O_2O_4 就是連桿 1。
- (7) 檢驗葛士浩條件。若是不滿足該條件，就重覆步驟 4 到步驟 7。

請注意，本範例可以接納任何形式的葛士浩機構。

2.1.2.三個位置合成

三個位置合成將創造一個讓一條線段移經平面上三個位置的四連桿組。這屬於運動產生器的問題，這種合成技巧可以視為範例 3 以聯結桿輸出的兩個位置合成技巧的延伸。得到的連桿組可以是任一形式的葛士浩機構，再添加一個對控制和限制機構運動，使其移經需要的位置。圖解法只需使用圓規、量角器和尺等繪圖工具。

範例 4： 聯結桿輸出一複合運動的三個位置合成(運動產生器)

問題：設計一個四連桿組將連桿 CD 從 C_1D_1 移到 C_2D_2 ，再移到 C_3D_3 。C

點和 D 點都是移動樞軸。請找出固定樞軸的位置。

解：(圖 2.4)

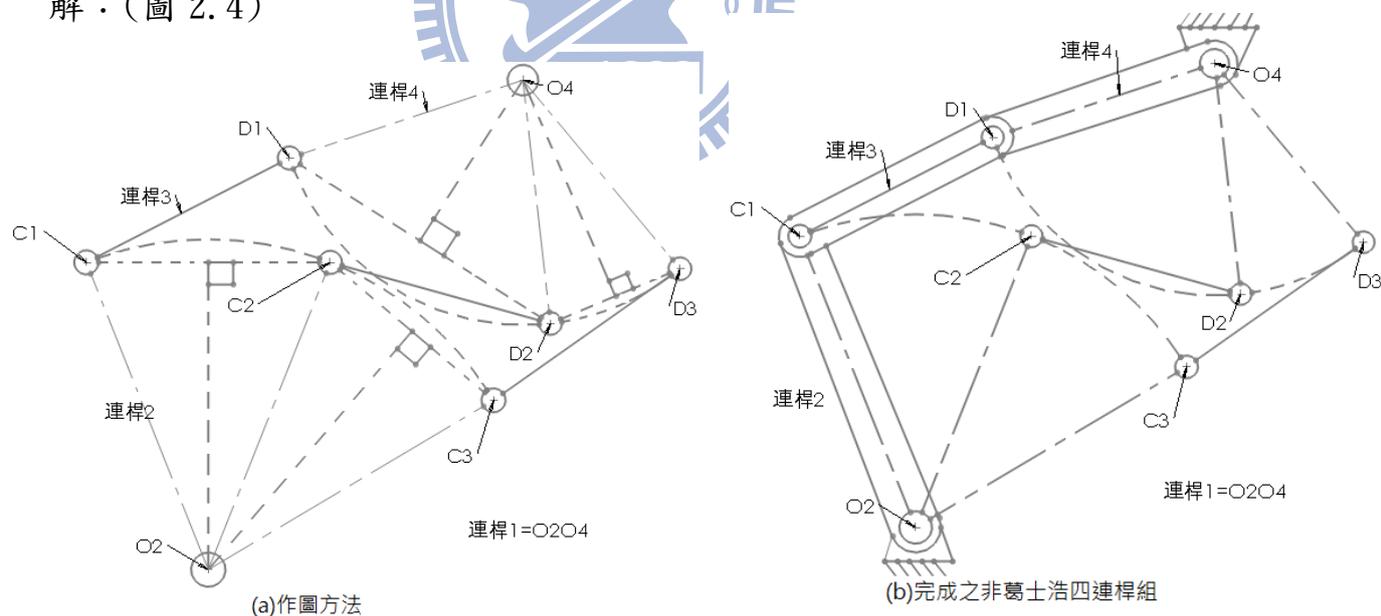


圖 2.4 範例 4 示意圖

(1) 在平面上畫出連桿 CD 的三個設計位置 C_1D_1 、 C_2D_2 、 C_3D_3 。

- (2)作輔助線連接 C_1 到 C_2 ，連接 C_2 到 C_3 。
- (3)作 C_1C_2 的垂直平分線和 C_2C_3 的垂直平分線，兩條垂直平分線延伸交於 O_2 點。
- (4)針對線段 D_1D_2 和 D_2D_3 重覆步驟 2 與步驟 3，交點為 O_4 點。
- (5)連接 O_2 點和 C_1 點為連桿 2，連桿 O_4 點和 D_1 點為連桿 4。
- (6)直線 C_1D_1 為連桿 3， O_2O_4 為連桿 1。
- (7)檢驗葛士浩條件。本範例可以接納任何形式的葛士浩機構。

雖然這種合成技巧通常可以得到一個答案，但是機構從一個設計位置到另一個設計位置之間卻可能遭遇到障礙，以致於機構無法在設計位置之間連續地運動，而不算是可以接納的答案。圖 2.4 的機構在第一個位置時，連桿 3 與連桿 4 造成肘節位置；機構在第三組位置時，連桿 2 與連桿 3 造成肘節位置，所以我們用驅動對來驅動連桿 3，以避免陷入連桿 2 或連桿 4 所造成的肘節位置。在第一個位置時，施加在連桿 2 的轉矩無法將連桿 2 移離開 D_1 點。在第三個位置時，如果驅動連桿 4 也無法使連桿 2 移離開 C_3 點。

2.2 軟體介紹—SolidWorks 2008 繪圖軟體

設計中所使用的 3D 機械設計軟體，是採用美國 Dassault Systèmes SolidWorks Corporation 的 SolidWorks 2008 作為投籃輔

具機械結構設計的輔助。它可以接受多種從其他不同的 2D 和 3D 輔助設計軟體所建立的文件類型。超過十年的發展，與客戶意見的回饋，讓它提供了相當人性化的操作介面。在 SolidWorks 2008 中，除了機械設計工具外，更整合該公司發維建模、鈹金、材質設定、零件裝配等，並可將建立的虛擬模型檔案轉存為其他檔案類型，方便提供其他軟體利用。在建立虛擬模型的同時，除了建立快速瀏覽的外觀外，也能指定零件的特性，如密度、彈性、強度等，可以配合建立出的模型估算出實際成品的機械特性。建立出的組零件亦可給予動作設定，產生模擬動畫，給予更完整的設計輔助。COSMOS 模擬軟體方面，分別包含 COSMOSXpress 與 COSMOSMotion，藉由與 Solidworks 整合的介面，使得建立完的零件與組零件可以快速的完成應力、應變分析，以及機械運作模擬，節省在傳統設計流程中可能浪費的時間與成本，提升了設計工作時的效率。軟體操作圖示請參照圖 2.5。

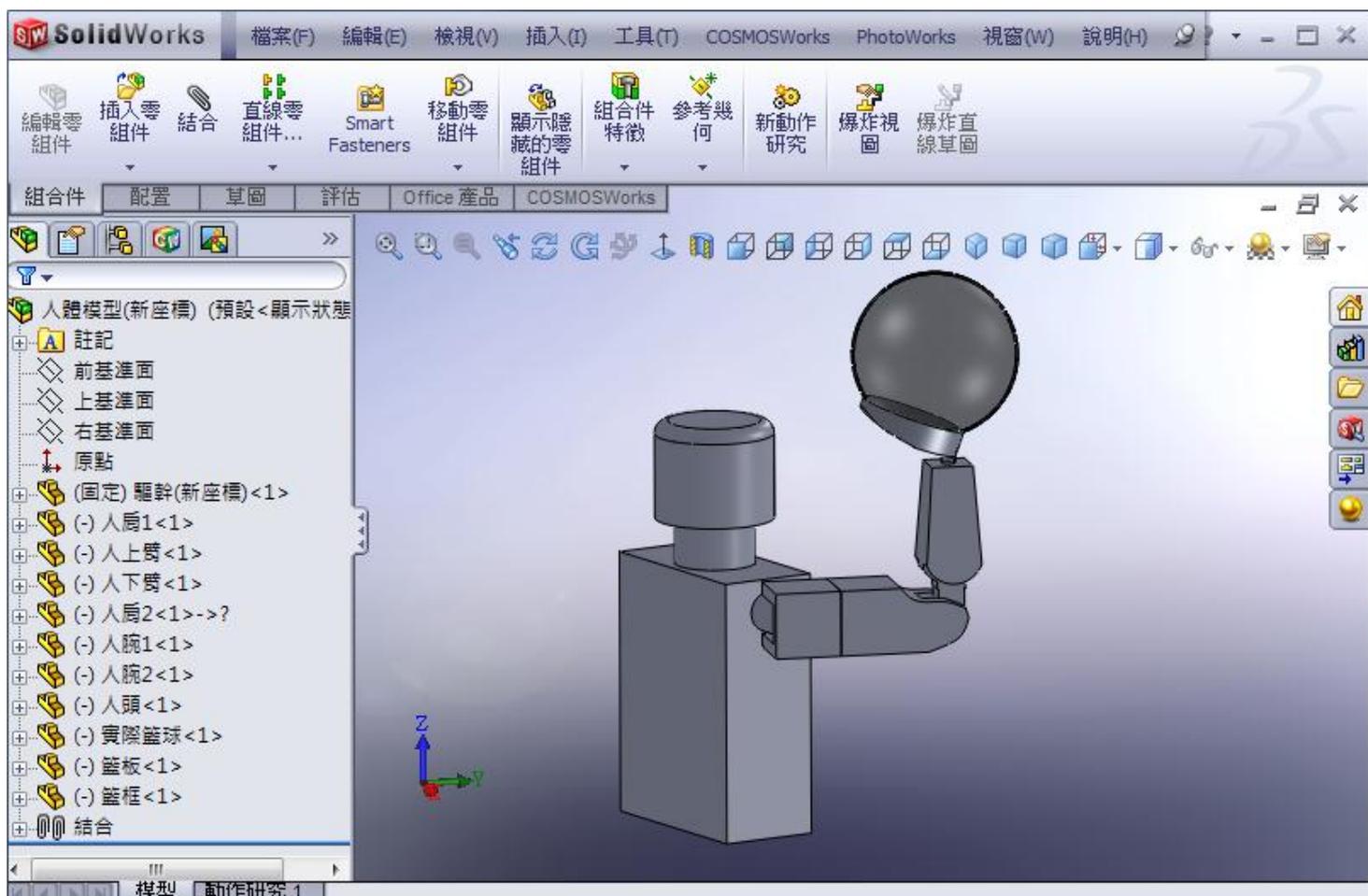


圖 2.5 SolidWorks 軟體操作圖示

第三章 輔具的機構設計

3.1 設計目標

雖然已經有文章、有論文、有教練在教導標準的投籃動作，那為什麼還會出現一大堆不一樣的投籃動作呢？因為從人的上臂、下臂、再由手腕到手掌，自由度實在太多了，所以要是一個人在練習投籃時，沒有每次都有人在旁邊幫他看他的動作，並提醒他哪裡有問題，實在很難練成標準投籃動作。在緒論裡的投籃動作介紹裡有提到，在做投籃動作時，上臂、下臂、手掌的動作都是在同一個平面上的，這樣才能確保籃球沒有受到向左或向右的力量，而只有向上和向前的力量，所以現在要設計的輔具當然要是平面多連桿的機構。除此之外，這個機構還要只有一個自由度，所以要先訂好起始位置、中間位置、與結束位置，這樣在穿上此輔具投籃時，上臂轉了多少角度，下臂自動跟著轉動一定的角度，就不會再出現不標準、千奇百怪的投籃動作了。

3.2 機構合成

3.2.1 手臂合成一

根據 1.3 及 1.4 對於投籃動作的介紹，和觀察眾多球員的投籃動

作，還有加上本研究生自己投籃的經驗，定出投籃動作的三個位置：起始位置、中間位置、結束位置，這樣就能用三個位置合成來決定輔具的桿件的尺寸了。請參照圖 3.1， O_1A 為限制上臂動作的連桿 1，將裝載於上臂，所以設定其與上臂等長，為 250 mm(本人的上臂長度)； AB 為限制下臂動作的連桿 2，將裝載於下臂，由於上臂與下臂長度相當接近，亦設定其為 250 mm。 O_1A_1 為上臂的起始位置， O_1A_2 為上臂中間位置， O_1A_3 為上臂結束位置； A_1B_1 為下臂起始位置， A_2B_2 為下臂中間位置， A_3B_3 為下臂結束位置。從 A 往下延長，作出線段 AC ，設定 AC 為 200 mm。現在必須做出一連桿連接 C 點，能使 AC 由 A_1C_1 移動到 A_2C_2 再移動到 A_3C_3 。

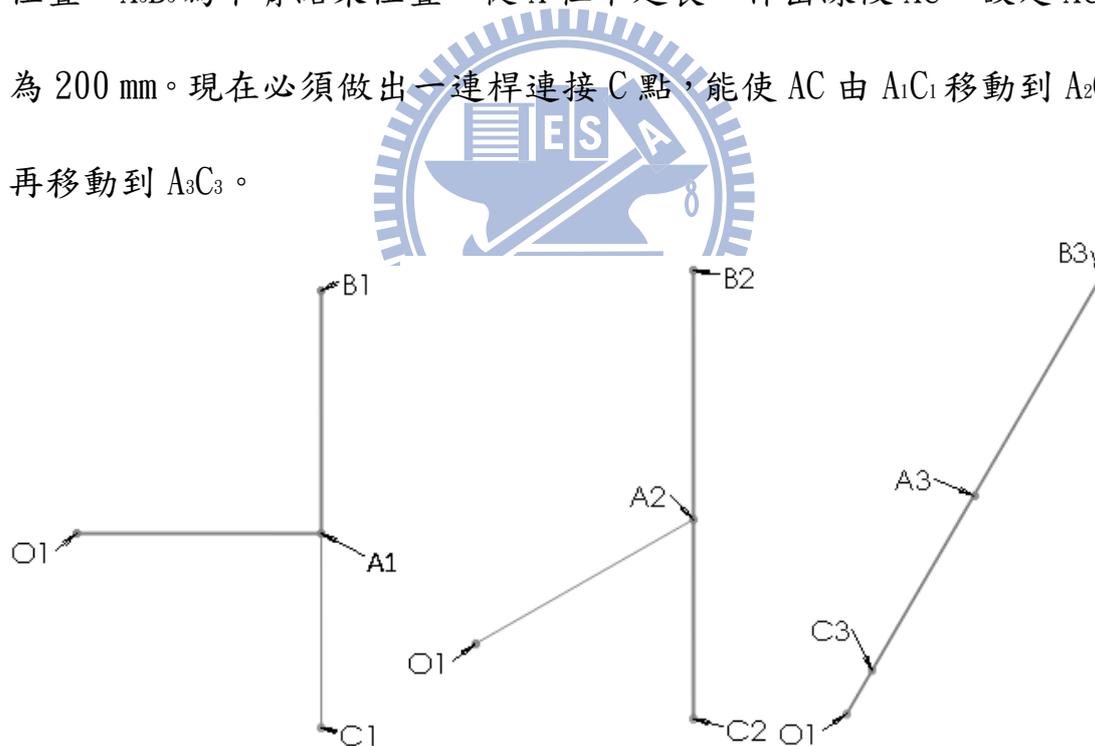


圖 3. 1 從起始位置到中間位置再到結束位置

作法：

參照圖 3.2，先作線段 C_1C_2 與線段 C_2C_3 ，再作 C_1C_2 與 C_2C_3 的垂直平分線，兩垂直平分線交於交點 O_2 ， O_2 即為旋轉極心。連接 O_2C ，其長

動到結束位置的過程中，連桿 1(用來帶動上臂的連桿)的整體動作已出現往復的動作：由與地面夾 0° ，作動到 73.05° ，再往回變成 60° ，這種動作不夠接近標準投籃動作，因為有此缺點，所以必須再進行新的機構合成。

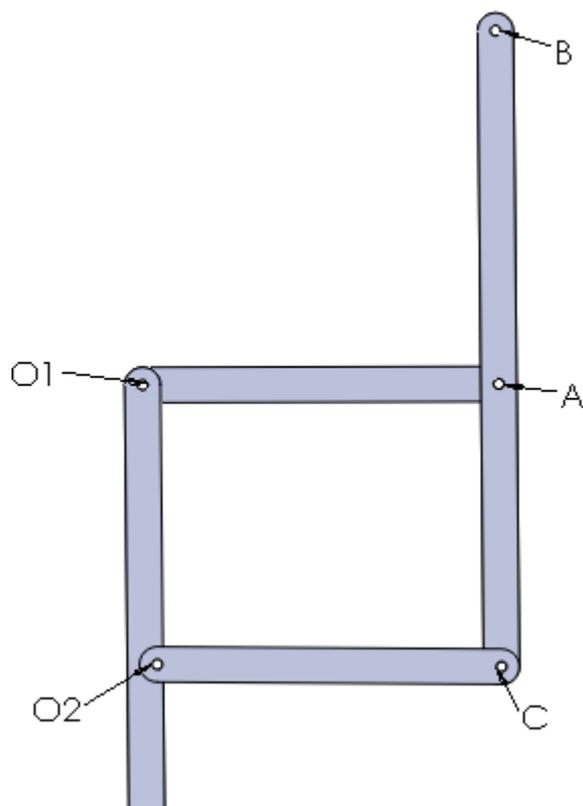


圖 3.3 手臂合成一的起始位置

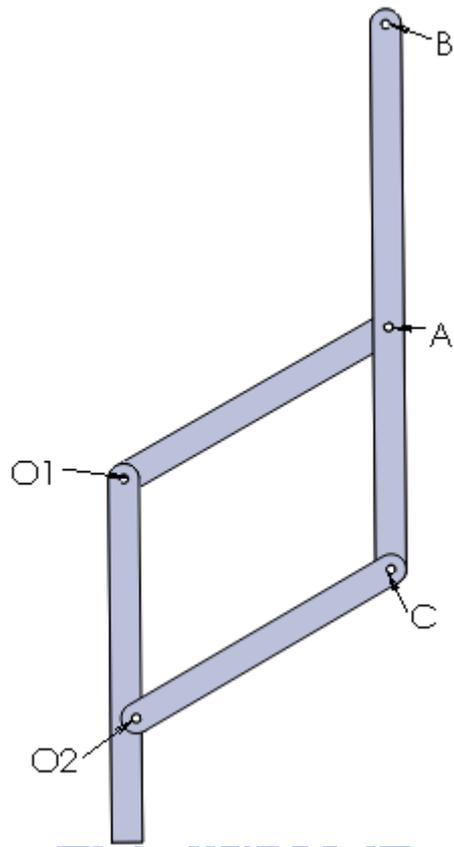


圖 3.4 手臂合成一的中間位置

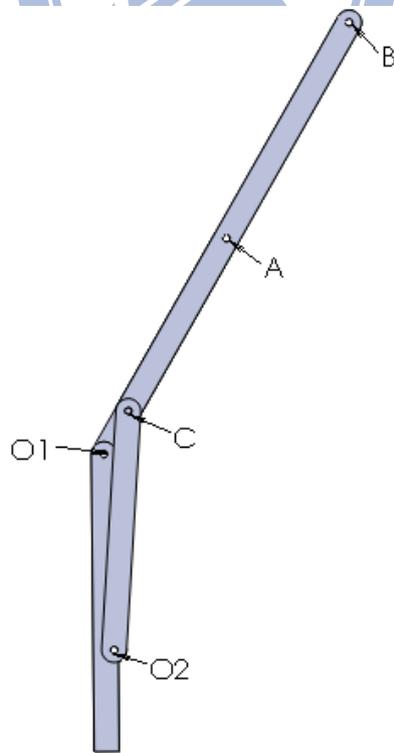


圖 3.5 手臂合成一的結束位置

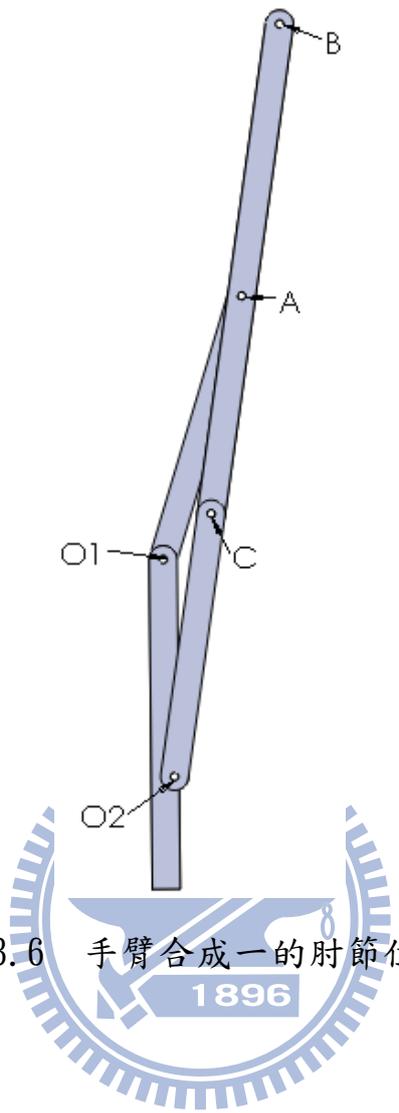


圖 3.6 手臂合成一的肘節位置

3.2.2 手臂合成二

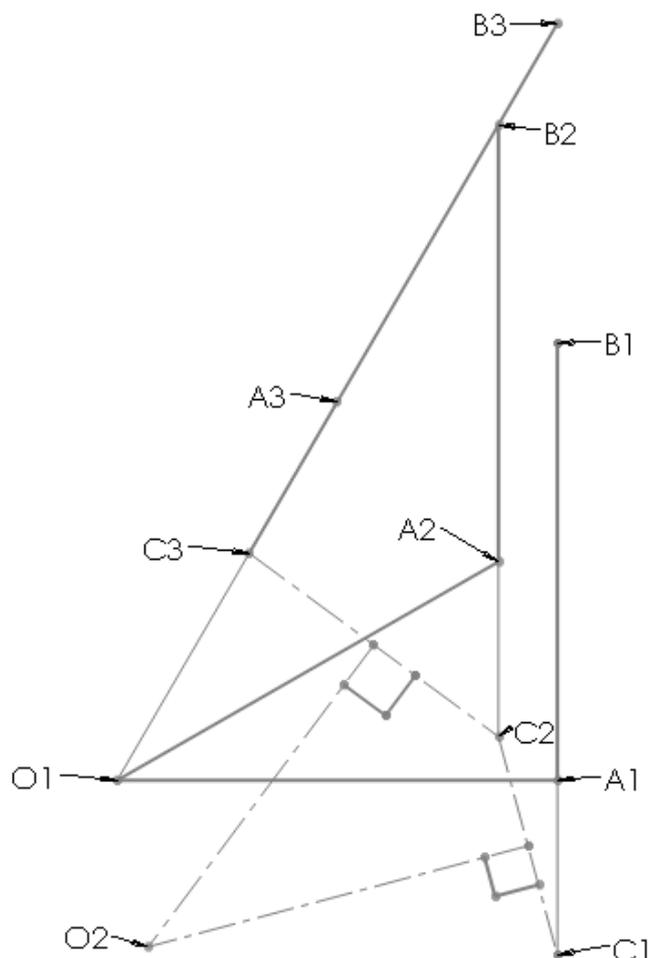


圖 3. 7 手臂合成二

在合成一中，合成出來的結果，上臂的動作會從與地面夾 0° 移動到超過 60° 再往回到 60° ，為了避免這種往復的動作，在合成二裡嘗試先將 AC 變短，將 AC 縮短成 100 mm，試看看合成出來是否能使動作更接近標準投籃動作。由圖中可看出，合成二的結果已經使得 O_2 比合成一更靠近連桿 1，能讓整個機構所佔的空間縮小一些。

將各連桿畫出並組合，發現當連桿 1 移動到 73.29° 時，桿 2 與桿 3 仍造成肘節位置(圖 3.8)。因此仍必須再嘗試新的機構合成。

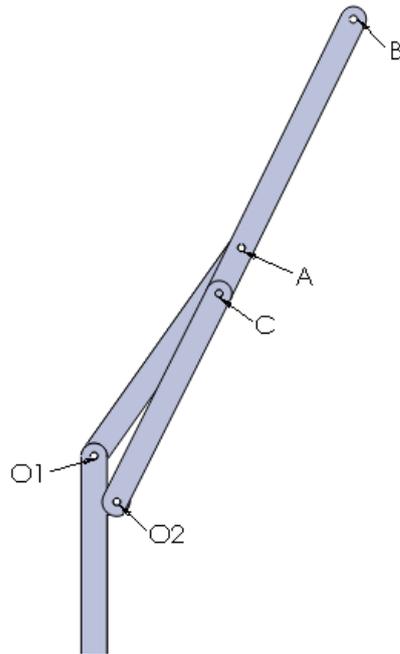


圖 3. 10 手臂合成三的肘節位置

3.2.4 手臂合成四

將 A_2B_2 調整為與地面夾角 80° ，意即將中間位置的連桿 2 從垂直改為與地面夾角 80° ，然後依照同樣方法進行合成，參照圖 3.11。

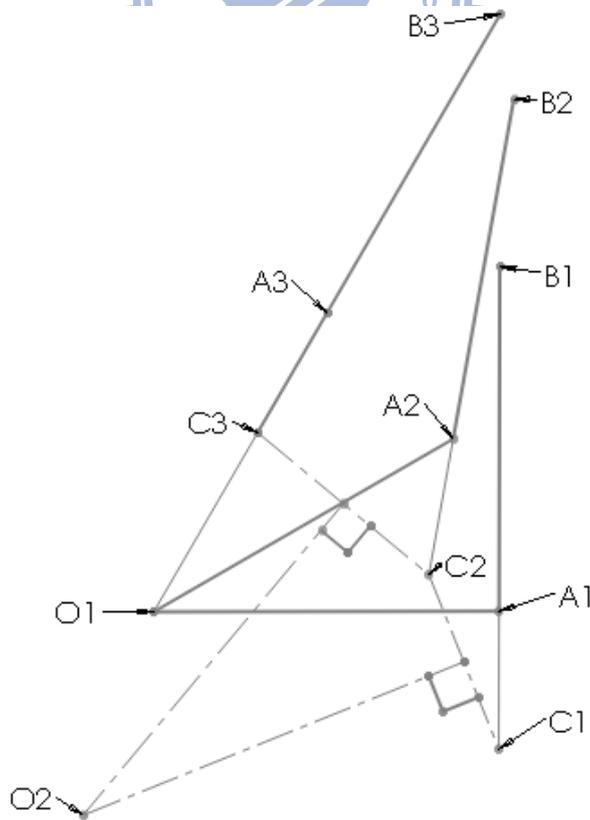


圖 3. 11 手臂合成四

由圖 3.11 可看出連桿 3 變得更長，而且 O_2 更轉移到了 O_1 的左下方，前三次的合成皆在 O_1 的右下方。然後再看繪製完並組合的連桿組（參照圖 3.12），發現連桿 1 仍是先達到與地面夾 61.19° 時，連桿 2 與連桿 3 此時造成肘節位置，然後連桿 1 才能再往返，達到結束位置。

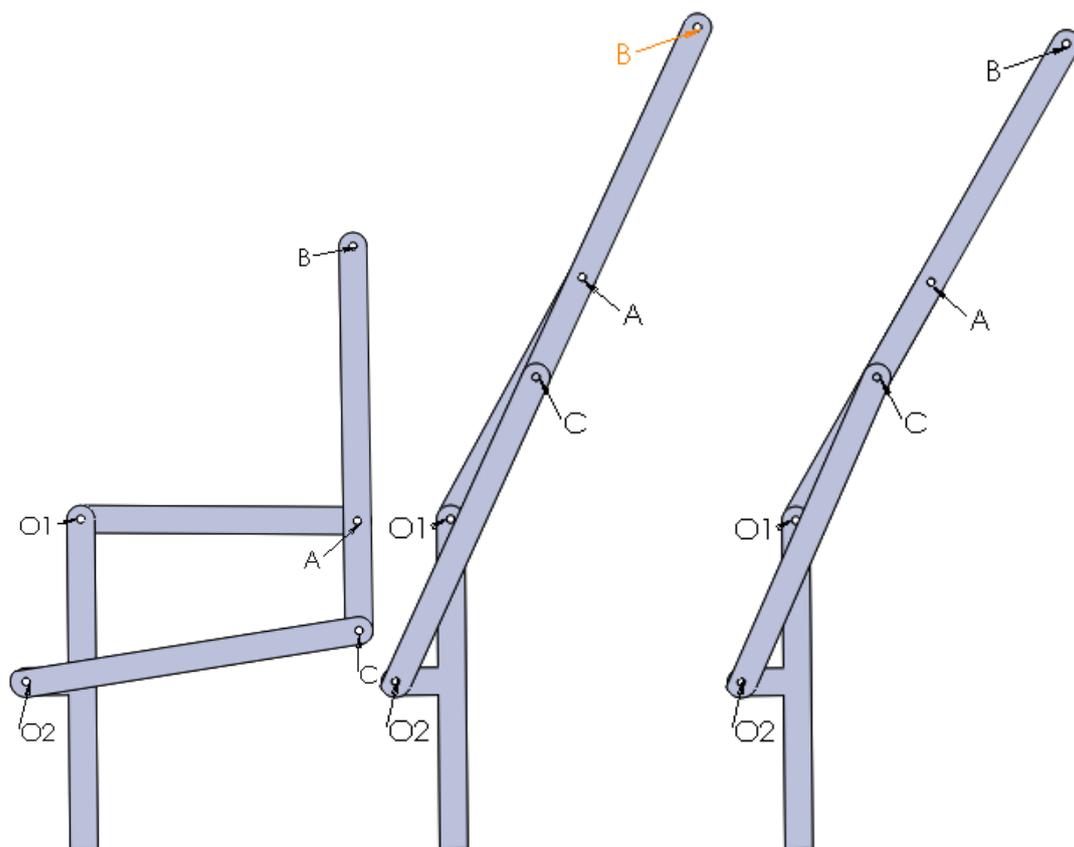


圖 3. 12 手臂合成四的動作過程

由上述四個合成(3.2.1~3.2.4)可看出，將 AC 長度縮短，以及將中間位置的 AB 與水平夾從垂直改為 80° ，合成出來的機構仍會使連桿 2 與連桿 3 形成肘節位置，因此接下來將嘗試改變 AC 與 AB 的夾角，在 3.2.1 手臂合成一到 3.2.4 手臂合成四的 AC 與 AB 夾角皆為 180° 。

3.2.5 手臂合成五

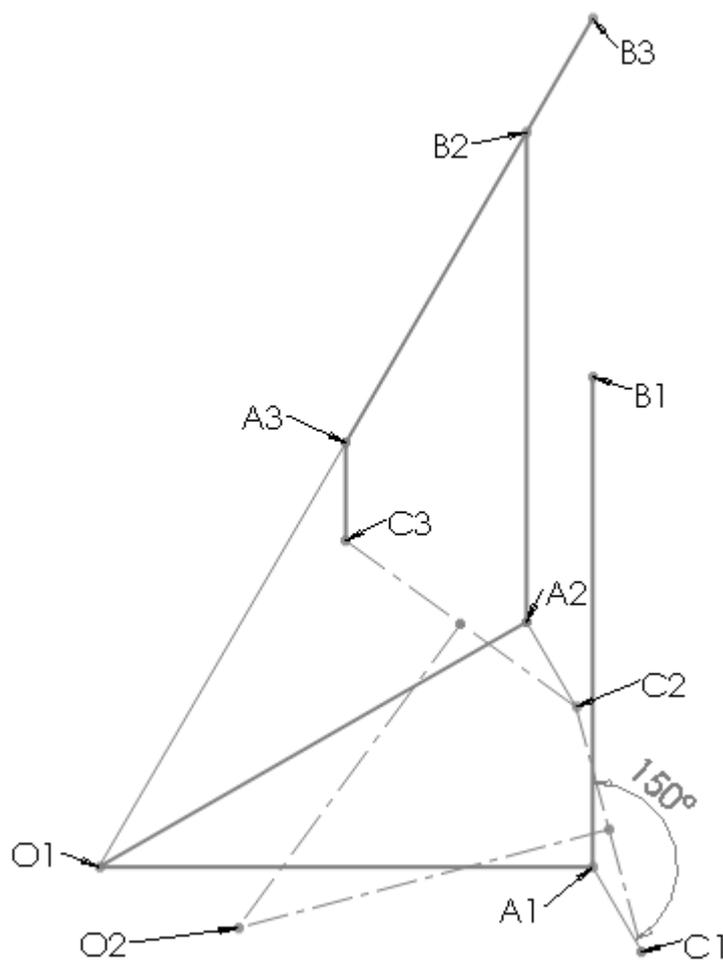


圖 3.13 手臂合成五

將 AC 與 AB 的夾角從 180° 改成 150° ，再以相同步驟進行機構合成，參照圖 3.13。同樣再由 SolidWorks 畫好各連桿零件並組合，參照圖 3.14，可以看得出來，從起始位置移動到中間位置，再移動到結束位置，過程中已經不會再有肘節位置的出現了。所以手臂合成五的結果，就是符合上臂與下臂的投籃動作的機構。接下來就要再合成手腕的部分。

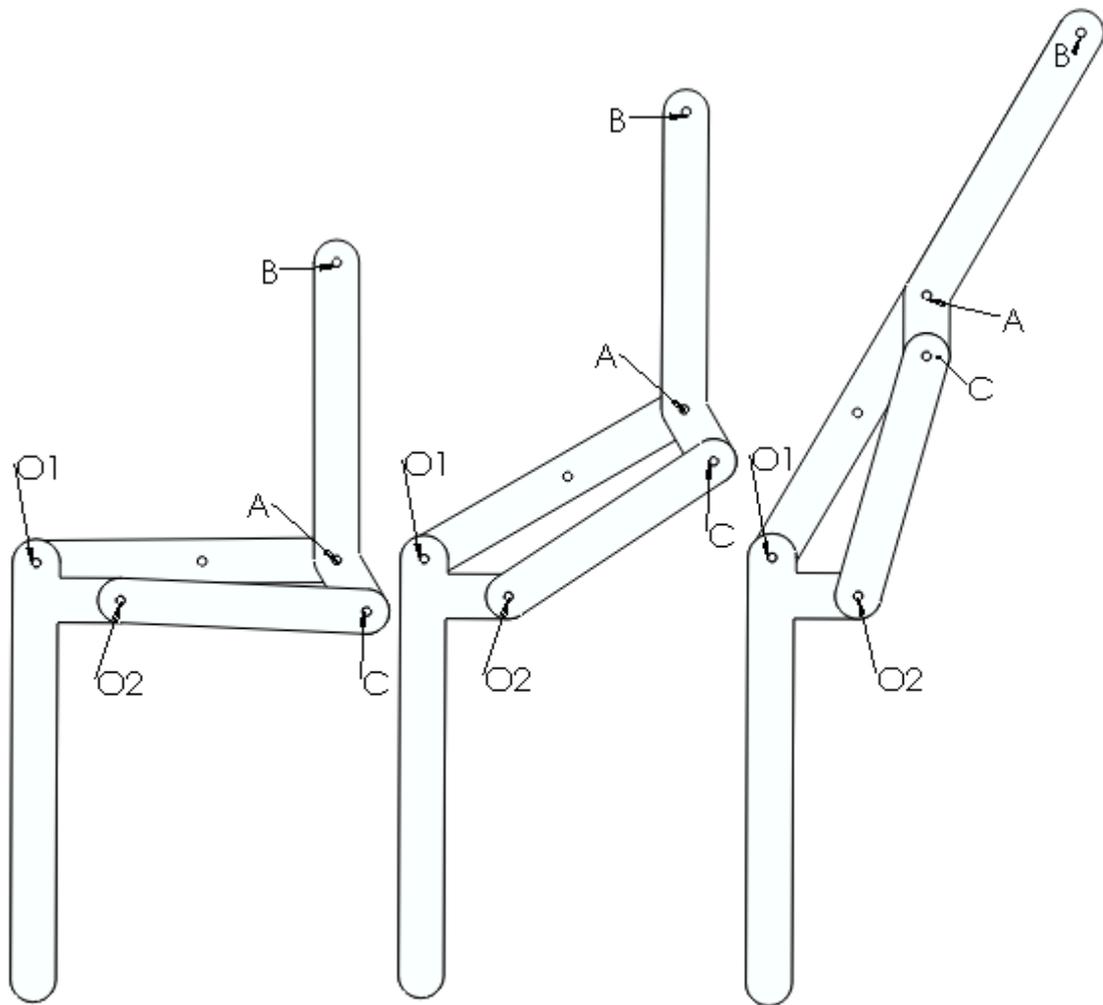


圖 3. 14 手臂合成五的起始位置、中間位置、結束位置

3.3 手腕合成

接下來要合成限制掌部動作的連桿。由於手指的動作過於精密，所以此論文所設計的輔具就不去設計限制手指的動作的連桿。在起使位置到中間位置、再到結束位置的前一瞬間，在這個過程中，因為手指必須和手掌一同扶住籃球，所以手指的動作也會跟著手掌的移動而移動。然而在接近將球投出去時的位置，也就是結束位置的前一瞬

間，手指與手掌必須快速得下壓、往下扣。而手指的自由度又更多，不像手掌幾乎是一整片無法變形，所以可以更往下做出壓、扣的動作，此動作是為了使球投出去以後能向後旋轉。所以只要合成出一連桿能抵住手掌背部，去限制手背的動作，就能使得動作接近標準投籃動作了，當然在手指的部分，就必須提醒自己在球要離手的瞬間一要下壓、往下扣。

3.3.1 手腕合成一

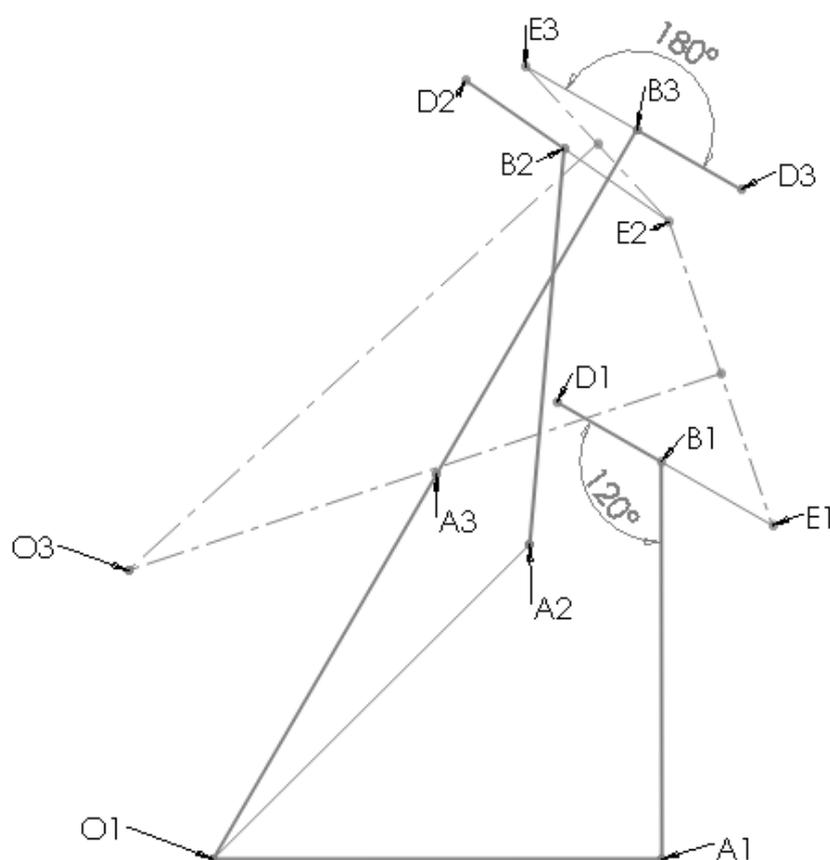


圖 3. 15 手腕合成一

參照圖 3.15，手腕的起始位置為 B_1D_1 ，中間位置為 B_2D_2 ，結束位置為 B_3D_3 。將桿件往後延伸，作出線段 BE ，並且和 BD 平行。然後再

連接 E_3 和 E_2 、連接 E_2 和 E_1 ，再做 E_2E_3 和 E_1E_2 的平分線，便可求出另一旋轉極心 O_3 。在這裡，定 EBD 為連桿 5， O_3E 為連桿 6。合成結果下圖：

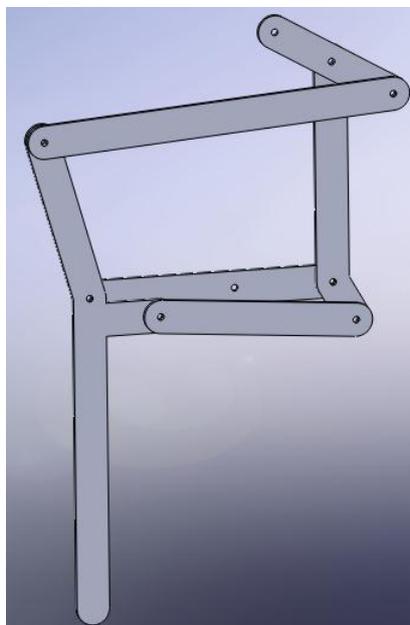


圖 3. 16 手腕合成一的起始位置

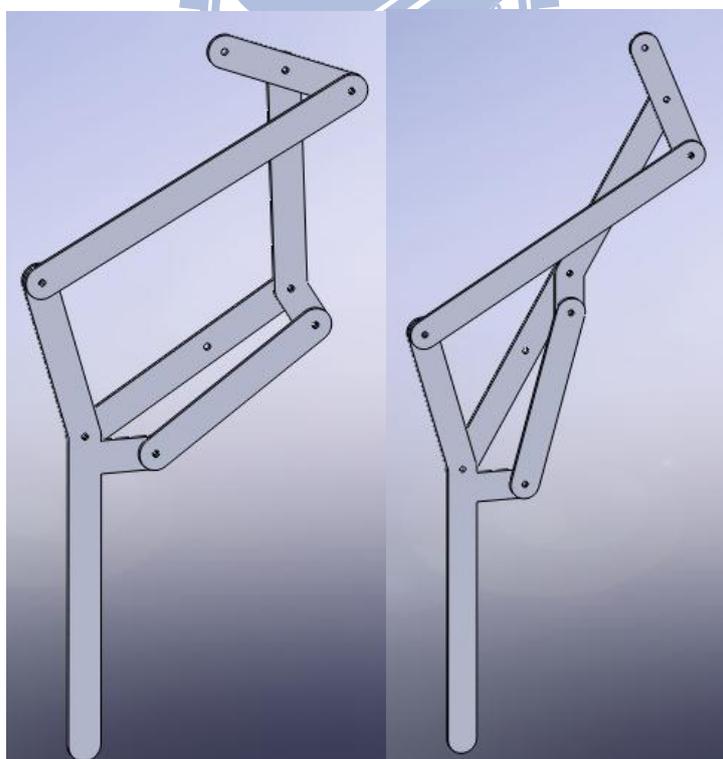


圖 3. 17 手腕合成一的中間位置與結吏位置

很明顯看得出來，結束位置並無法達到設計的要求，手掌沒下

壓。不過若是從起始位置，將連桿 1 往下移動，移動到連桿 5 與連桿 6 由彎曲變為一直線，再變成向另一方向彎曲，然後再將連桿 1 往上拉，移動到連桿 1 與連桿 2 平行時(也就是上臂與下臂的結束位置)，便可發現連桿 5 有達到手腕的結束位置。但是這樣的動作和設計需求所要求的並不相同，所以當然要再進行新的合成。

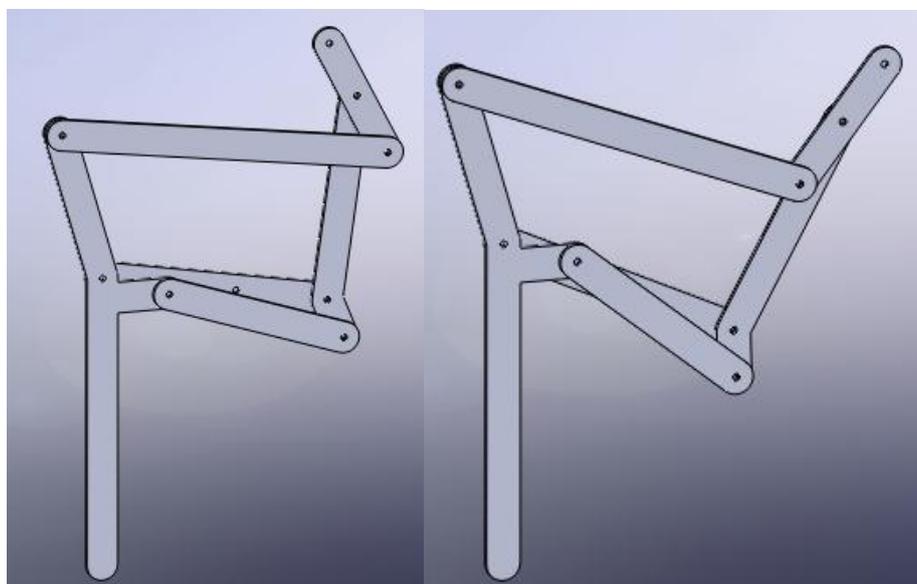


圖 3. 18 移動到結束位置的過程 1

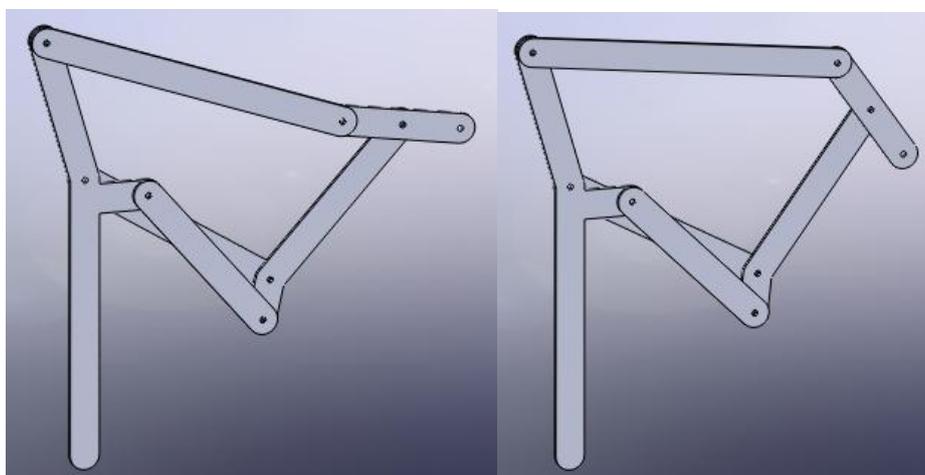


圖 3. 19 移動到結束位置的過程 2

左方。最後合成結果的組合的桿件，從起始位置到結束位置，參照圖 3.22~3.23。

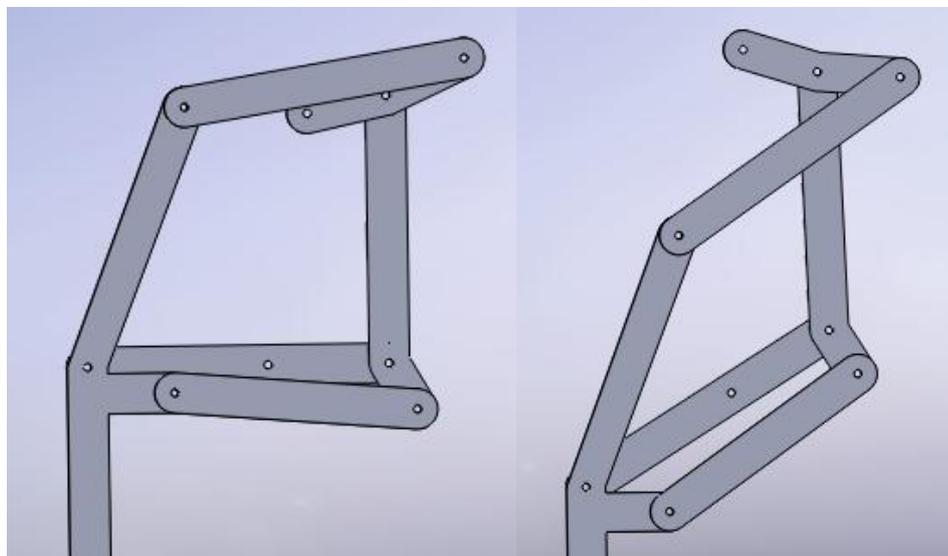


圖 3. 22 手腕合成二的起始位置與中間位置

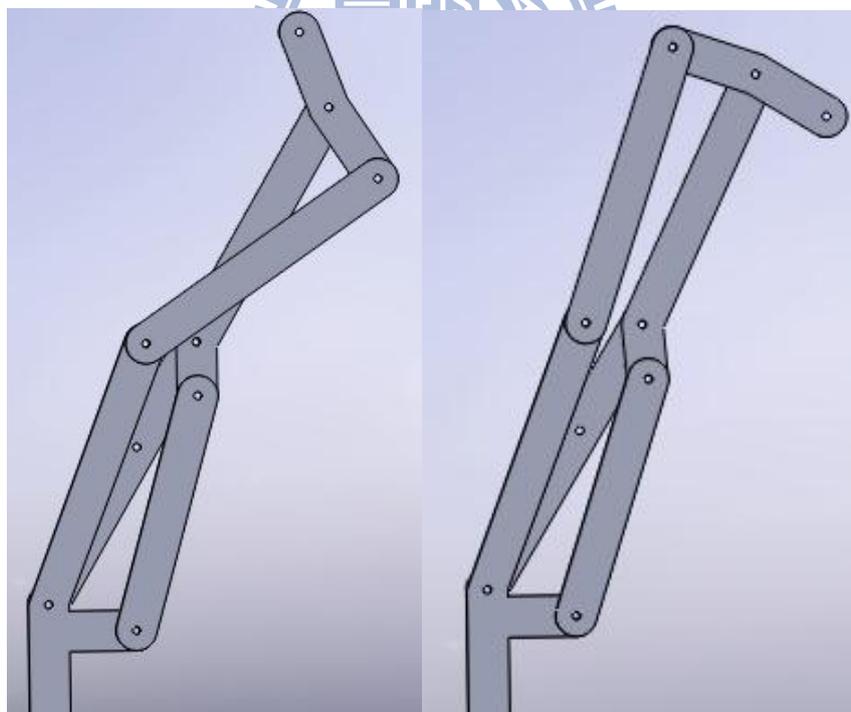


圖 3. 23 手腕合成二的結束位置與「繞道」所達到的結束位置

很明顯可以看出，也是不符合需求，必須再嘗試新的合成。

3.3.3 手腕合成三

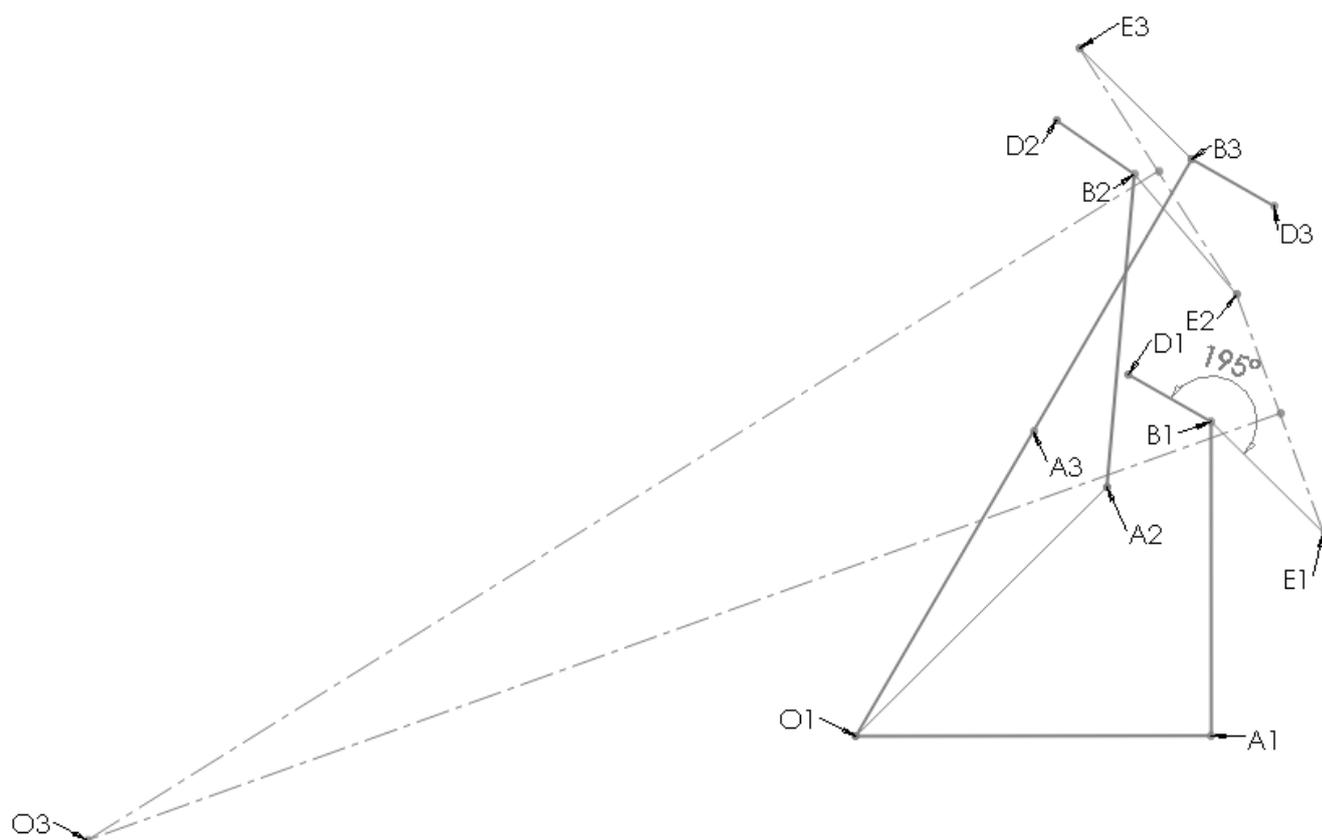


圖 3. 24 手腕合成三

將 BD 與 BE 夾角改為 195° ，並將 BE 長度變長，經過同樣步驟

找到 O_3 ，在 O_1 的左下方。合成結果請參照圖 3. 25~圖 3. 27。

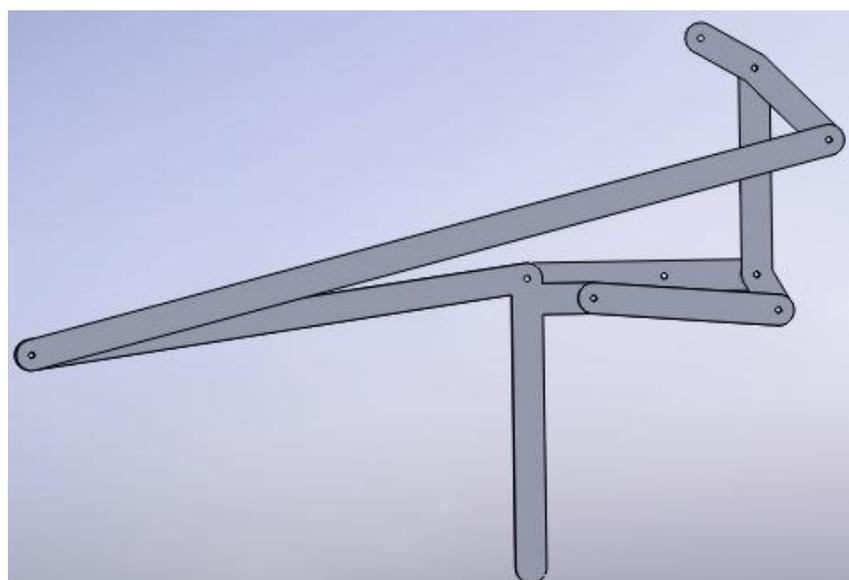


圖 3. 25 手腕合成三的起始位置

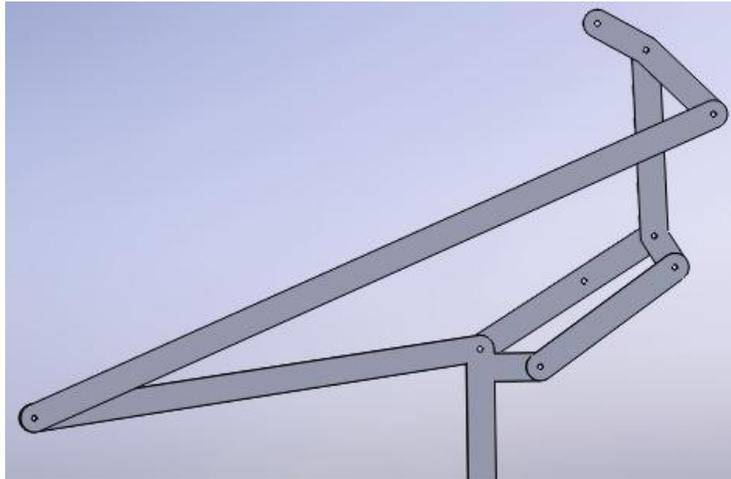


圖 3. 26 手腕合成三的中間位置

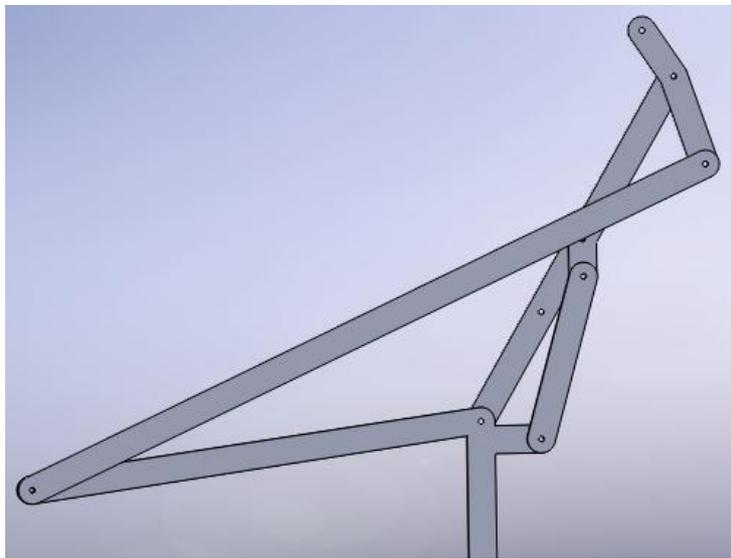


圖 3. 27 手腕合成三的結束位置

很明顯還是失敗了，無法達到設計的需求。經過上述三種方法，仍舊無法合成出理想的機構，因此決定嘗試用另一方法來做機構合成

3.3.4 手腕合成四

直接決定點 O_3 在連桿 1 之上，但位置未知，連桿 6 長度也未知。一直嘗試，最後終究能找到找近標準動作的尺寸，雖然無法非常接近，但也只有這種折衷的方法。最後結果參照圖 3.28、圖 3.29：

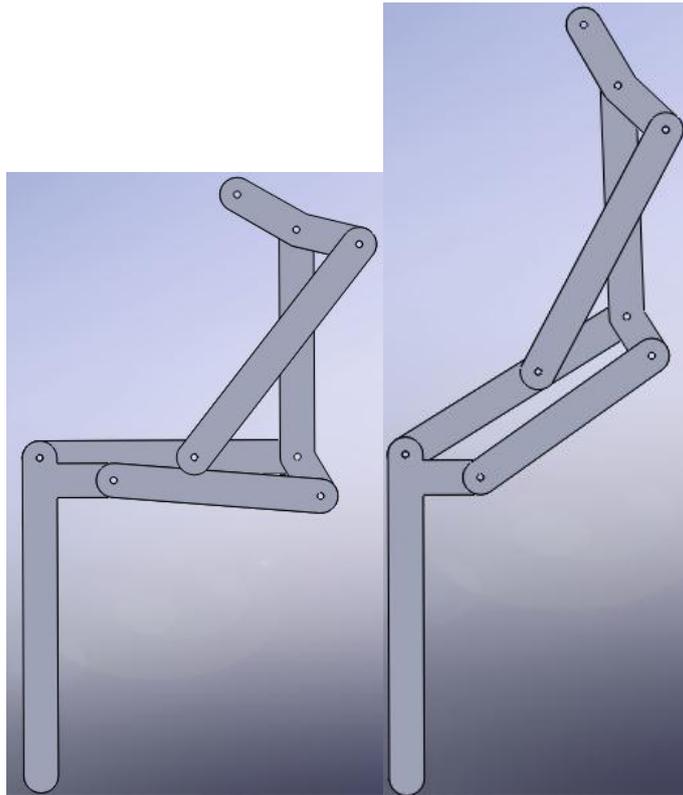


圖 3. 28 手腕合成四的起始位置和中間位置

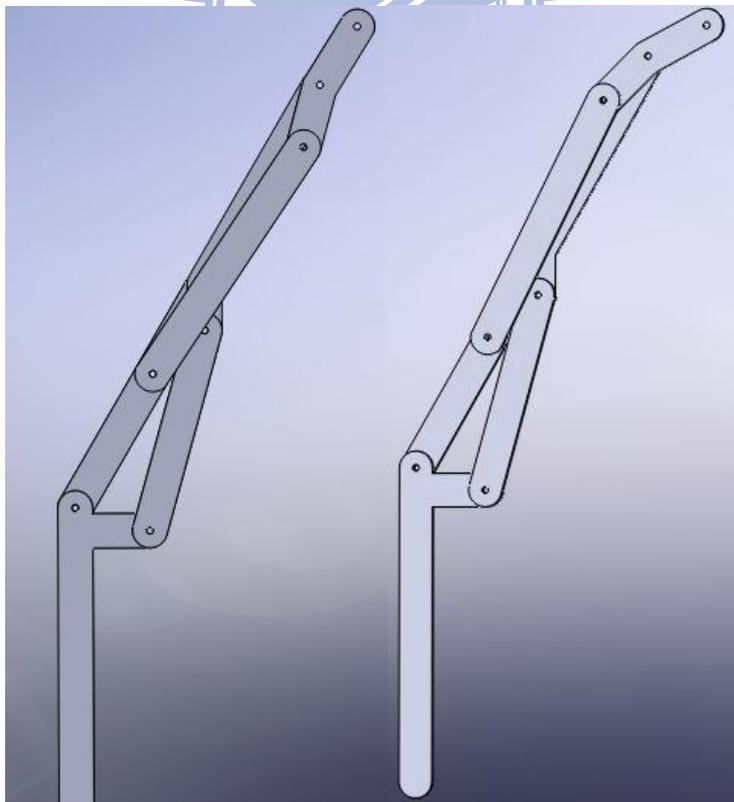


圖 3. 29 手腕合成四的結束動作與「繞道」達到的結束動作

可以看出，若是將連桿 1 照著上臂往上舉的動作往上移動，移動到連桿 1 與連桿 2 平行，也只能形成連桿 5 與連桿 2 平行，意即無法形成手腕下壓的動作。不過其實和前面合成的機構一樣，連桿從別的路徑一樣可以達成類似手腕下壓的結果，但是就不符合投籃的動作了。

雖然機構合成的結果，最多只能造成手掌達到跟上臂、下臂平行，但是只要在最後球將離手的一瞬間，自己提醒手腕做出下壓的動作即可，而且其實手腕下壓的動作也是最後一瞬間必須轉動將近 90° 的角度，已超過投籃時，從起始位置到結束位置，手腕總共轉動的一半的角度，而那麼短的時間內要轉動那麼多角度，硬是要用機構去合成出來，連桿的強度想必要非常大，但為了增加強度，又會造成整個機構過重，所以手腕合成四的結果已是最符合設計需求了。

3.4 合成結果的作動情況與真實投籃比較

在決定各連桿、聯結桿的長度，還有聯結軸的位置後，就得看看它的作動過程，是否與標準投籃相同。但是即使在籃球最高殿堂 NBA 之中，使用真的完全標準投籃動作的其實也是少數，所以也只能挑出非常接近標準動作的球員，截取幾張圖片來比較作動的過程。請參照圖 3.30~3.32，由圖可以看出沒有太大的差異。

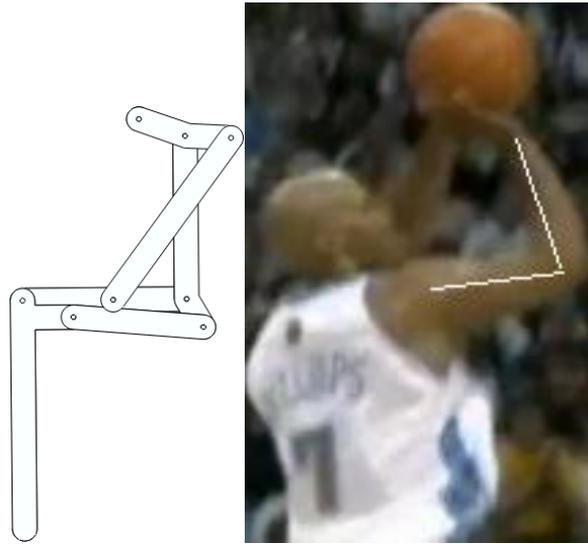


圖 3.30 輔具動作與真實投籃動作比較 1

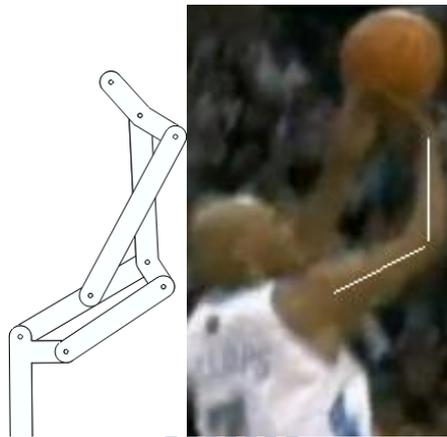


圖 3.31 輔具動作與真實投籃動作比較 2

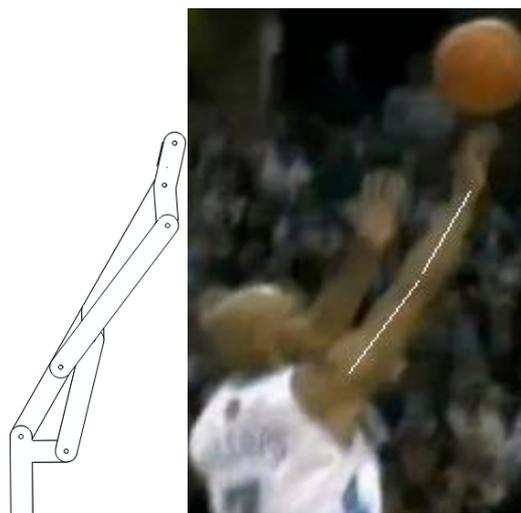


圖 3.32 輔具動作與真實投籃動作比較 3

第四章 動態模擬與比較

4.1 投籃動作模擬介紹

先以人體模型模擬標準投籃動作，在緒論的投籃動作介紹裡，有四種投籃動作—手臂與軀幹有四種不同的相對位置。這四種投籃動作，只看肩膀至手腕，皆算是標準的投籃動作，但是上臂與胸部平面的夾角，卻會造成準確度有所不同。這四種動作都是有非常多的頂尖籃球選手在使用，他們靠著大量的練習，都各自習慣了自己選擇的投籃動作，因此也都是非常的準確。但是他們會不會其實是選擇了並非最正確的投籃動作，造成需要更大量的練習來提升命中率呢？在此也將先模擬這四種還未被證實到底哪種才是最正確的投籃動作，看看哪一種比較準、是否與參考文獻裡提到的最標準的投籃動作相同。

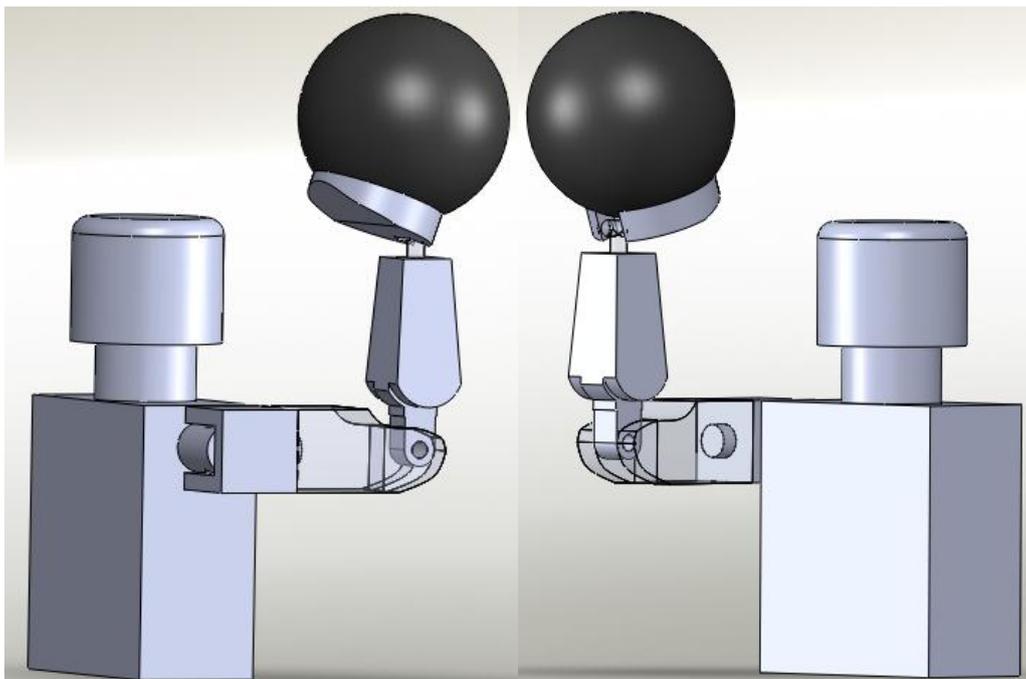


圖 4.1 (a) 人體模型視角 1 (b) 人體模型視角 2

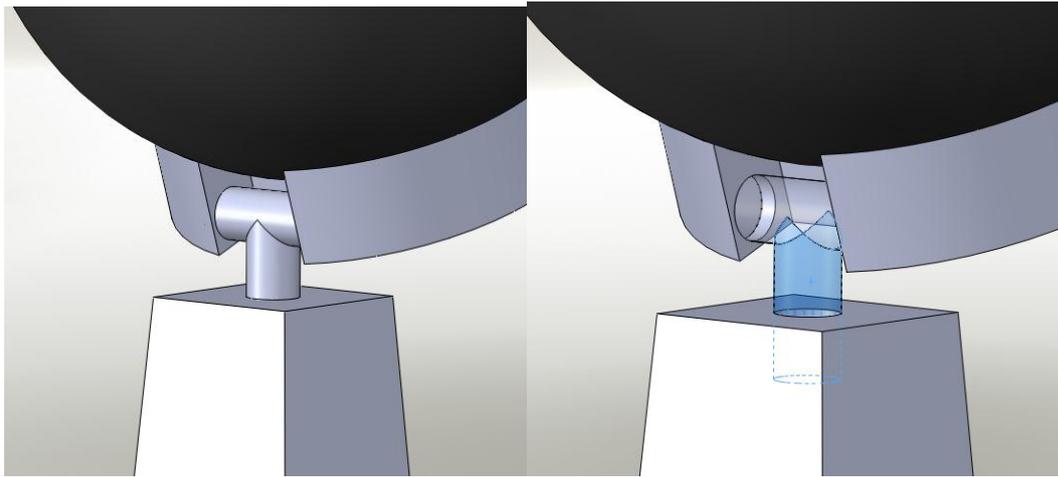


圖 4.2 (a) 人體模型的腕部(b)關節透明化的人體模型的腕部

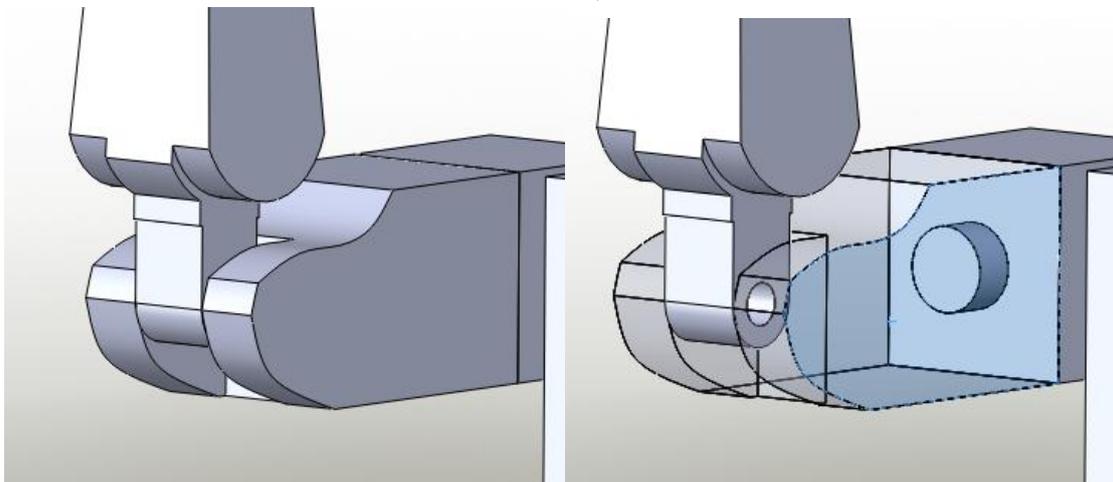


圖 4.3 (a) 人體模型的肘部(b)上臂透明化時的人體模型的肘部

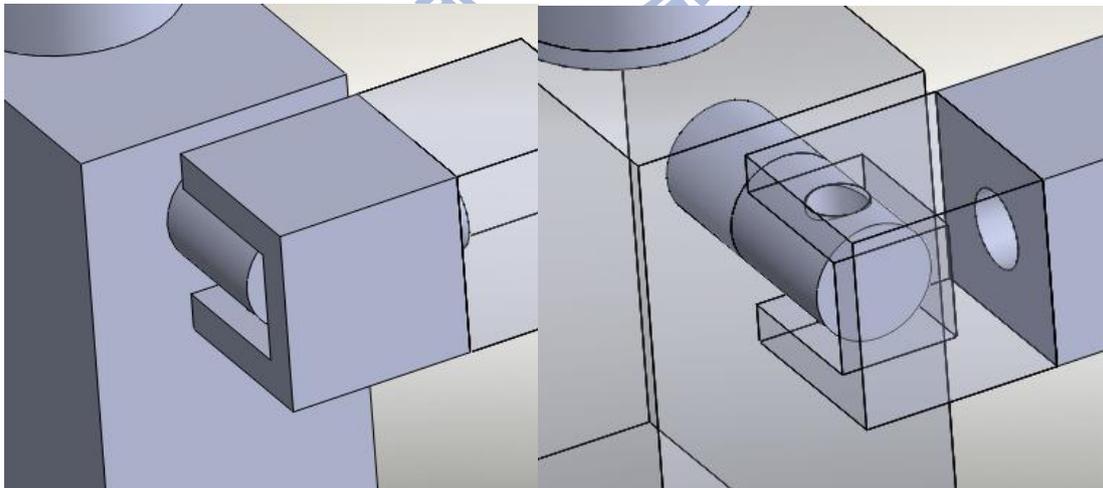


圖 4.4 (a) 人體模型的肩部(b)肩部及軀幹透明化的人體模型的肩部

在模擬投籃動作前，先看一些世界上的頂尖球員的實際投籃動作，以下舉例幾位 NBA 球員(圖 4.5、圖 4.6)，截取他們投籃的分解動作圖片。藉此可了解模擬時所需要設定的一些參數，例如投籃動作經過的時間。

2008-09 FREE THROWS LEADERS: FREE THROW PERCENTAGE - ALL TEAMS

DISPLAYING RESULTS 1-50 OF 444 FOUND

RESULTS: 1-50 51-100 101-150 151-200 201-250 251-300 301-350 351-400 401-444 Next »

	PLAYER NAME, TEAM NAME	GP	PPG	AVERAGE		TOTAL		FT%
				FTM	FTA	FTM	FTA	
1	Blake Ahearn , SAS	3	2.7	.7	.7	2	2	1.000
1	Andre Brown , CHA	4	1.0	.5	.5	2	2	1.000
1	* Joe Crawford , NYK	2	4.5	1.0	1.0	2	2	1.000
1	Desmon Farmer , SAS	3	4.3	.7	.7	2	2	1.000
1	* Trey Johnson , CLE	4	1.0	1.0	1.0	4	4	1.000
1	Randolph Morris , ATL	23	.8	.2	.2	4	4	1.000
1	Anthony Roberson , CHI-NYK	29	4.1	.2	.2	5	5	1.000
1	Michael Ruffin , POR	11	.5	.2	.2	2	2	1.000
1	Kareem Rush , PHI	25	2.2	.2	.2	4	4	1.000
1	Jerry Stackhouse , DAL	10	4.2	.7	.7	7	7	1.000
11	Jose Calderon , TOR	68	12.8	2.2	2.3	151	154	.981
12	* Danilo Gallinari , NYK	28	6.1	.9	1.0	26	27	.963
13	Ray Allen , BOS	79	18.2	3.0	3.2	237	249	.952
14	Brent Barry , HOU	56	3.7	.3	.4	19	20	.950
15	Chucky Atkins , OKC-DEN	33	3.0	.5	.5	15	16	.938
16	Steve Nash , PHX	74	15.7	2.6	2.8	196	210	.933
17	Sasha Vujacic , LAL	80	5.8	.9	1.0	70	76	.921
18	Chauncey Billups , DEN-DET	79	17.7	5.3	5.8	418	458	.913
18	Steve Novak , LAC	71	6.9	.3	.3	21	23	.913
20	Keith Bogans , MIL-ORL	65	5.6	.8	.9	52	57	.912
20	Mo Williams , CLE	81	17.8	2.6	2.8	208	228	.912
22	Shaun Livingston , OKC-MIA	12	5.9	.8	.8	9	10	.900

圖 4. 5 2008-2009 球季罰球命中率 9 成以上的球員

2009-10 FREE THROWS LEADERS: FREE THROW PERCENTAGE - ALL TEAMS

DISPLAYING RESULTS 1-50 OF 442 FOUND

RESULTS: 1-50 51-100 101-150 151-200 201-250 251-300 301-350 351-400 401-442 Next »

	PLAYER NAME, TEAM NAME	GP	PPG	AVERAGE		TOTAL		FT%
				FTM	FTA	FTM	FTA	
1	Raja Bell , GSW-CHA	6	11.8	.5	.5	3	3	1.000
1	Ryan Bowen , OKC	1	4.0	2.0	2.0	2	2	1.000
1	Matt Carroll , DAL	25	1.8	.2	.2	6	6	1.000
1	Lindsey Hunter , CHI	13	1.0	.2	.2	2	2	1.000
1	Kevin Ollie , OKC	25	1.8	.3	.3	8	8	1.000
1	Chris Quinn , NJN	25	2.2	.2	.2	6	6	1.000
1	Shavlik Randolph , MIA-POR	6	2.3	.3	.3	2	2	1.000
8	Anthony Johnson , ORL	31	4.2	.6	.6	19	20	.950
9	Brian Cardinal , MIN	29	1.7	.6	.6	17	18	.944
10	Steve Nash , PHX	81	16.5	2.6	2.8	211	225	.938
11	Jannero Pargo , CHI	63	5.5	.7	.7	42	45	.933
12	Chucky Atkins , DET	40	4.0	.6	.7	25	27	.926
13	Malik Allen , DEN	51	2.1	.2	.3	12	13	.923
13	Jonathan Bender , NYK	25	4.7	1.0	1.0	24	26	.923
13	Eddie House , NYK-BOS	68	7.0	.7	.8	48	52	.923
16	Dirk Nowitzki , DAL	81	25.0	6.6	7.2	536	586	.915
17	Ray Allen , BOS	80	16.3	2.9	3.2	231	253	.913
18	Chauncey Billups , DEN	73	19.5	6.4	7.0	466	512	.910
19	Luke Ridnour , MIL	82	10.4	1.5	1.7	127	140	.907
20	Oleksiy Pecherov , MIN	44	4.5	.7	.7	29	32	.906
21	Kevin Durant , OKC	82	30.1	9.2	10.2	756	840	.900
21	* Jeff Pendergraph , POR	39	2.7	.5	.5	18	20	.900
21	Bobby Simmons , NJN	23	5.3	.8	.9	18	20	.900
21	DJ White , OKC	12	4.9	.8	.8	9	10	.900

圖 4. 6 2009-2010 球季罰球命中率 9 成以上球員

1. NBA 球員 Chauncey Billups，在 2008-2009 排第 18，罰球命中率 91.3%；在 2009-2010 排第 18，罰球命中率 91.0%。此位球員的投籃動作請參照圖 4.7~圖 4.11。

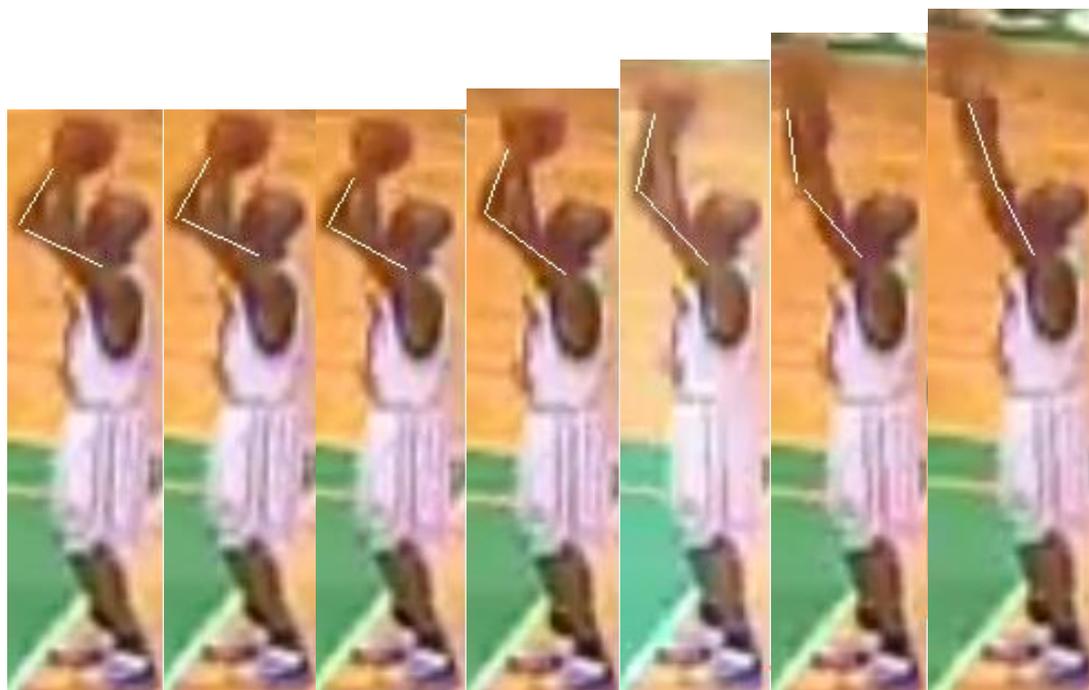


圖 4. 7 Chauncey Billups 罰球



圖 4. 8 Chauncey Billups 急停跳投連續動作圖 1



圖 4.9 Chauncey Billups 急停跳投連續動作圖 2



圖 4.10 Chauncey Billups 急停跳投連續動作圖 3

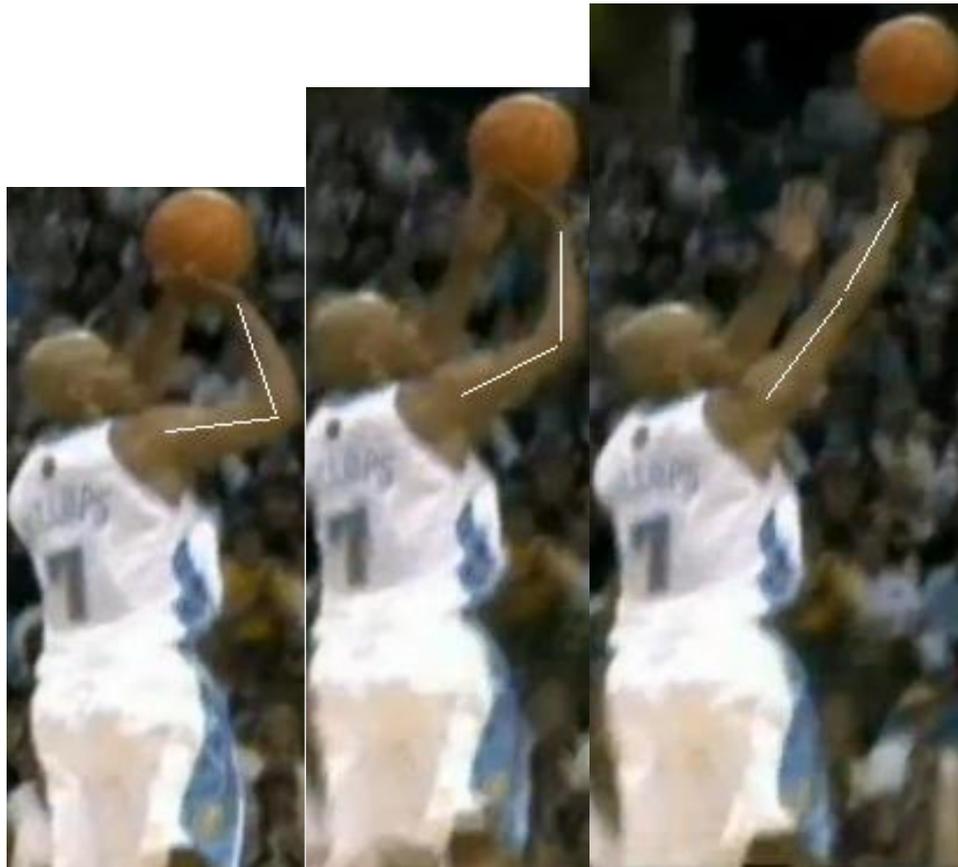


圖 4.11 Chauncey Billups 急停跳投連續動作圖 3

3. NBA 球員 Jose Calderon，在 2008-2009 排第 11，罰球命中率 98.1%。

此位球員投籃動作請參照圖 4.12、圖 4.13。

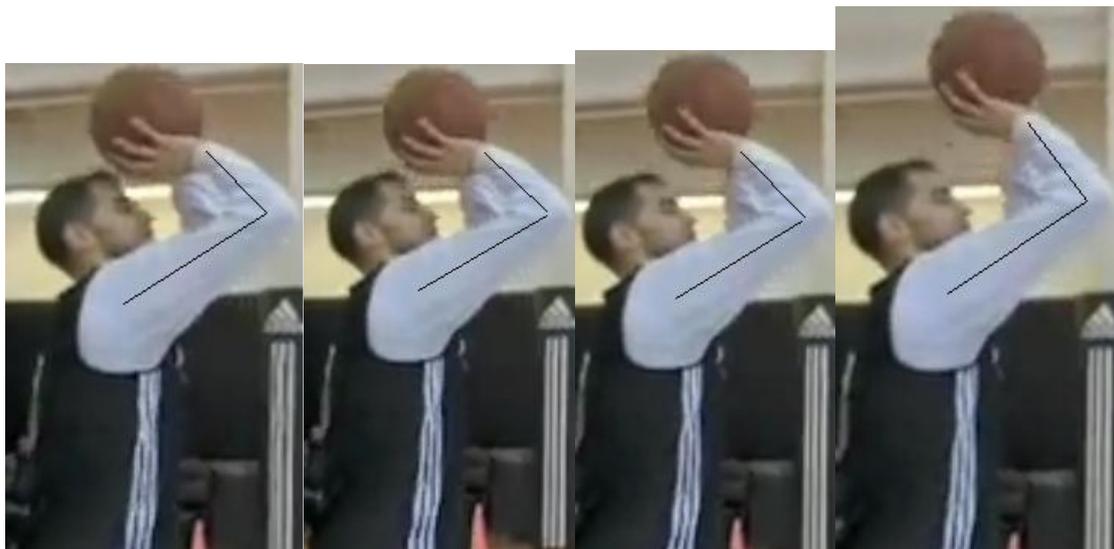


圖 4.12 Jose Calderon 罰球連續動作圖 1



圖 4.13 Jose Calderon 罰球連續動作圖 2

4. NBA 球員 Kevin Durant，在 2009-2010 排名第 21，罰球命中率 90.0%。此位球員投籃動作請參照圖 4.14、圖 4.15。



圖 4.14 Kevin Durant 罰球連續動作圖 1



圖 4.15 Kevin Durant 罰球連續動作圖 2

雖然這三位球員的投籃動作的手臂動作，並不是完全地跟其它篇論文中提到的標準投籃動作一樣，尤其是 Jose Calderon 的上臂在起始位置時和水平夾了不小的角度，而下臂也未與水平垂直，但是靠著大量的訓練還是能練得非常準。雖然他在 2008-2009 球季有 98.1% 的罰球命中率，但其實他在 2009-2010 球季罰球命中率已經下滑到 81.4% 了，或許就表示這種投籃動作無法長久維持較高的命中率。而像 Chauncey Billups 及 Kevin Durant 的上臂的動作就接近標準投籃動作，在起始位置時與地面呈平行，不過下臂也沒有與地面垂直，但至少 NBA 裡算是很接近標準投籃動作的球員了。其實在 NBA 裡使用標準投籃動作的球員實在是屬於少數，有些甚至是非常不有名的球員，連截取他們的影片和圖片的機會都很小。

由上述上三位非常準的球員的連續動作圖片可看出，不論是罰球還是跳投，有出現「投」這個動作的，都是出現在倒數第四張圖到最後一張圖，而倒數第四張圖之前都是在做「將球舉到他們各自習慣的投籃動作的起始位置」。由於此圖片截取的影片播放軟體的間格為1/30 秒，所以可算出手臂有「投」的動作的總共的時間是4/30，等於2/15 秒，也等於0.133333 秒。因此在 COSMOSMotion 裡模擬的投籃動作，將設定在0.133333 秒內做完。

4.2 COSMOSMotion 投籃動作模擬

4.2.1 投籃動作一

「上臂與胸部平面垂直」

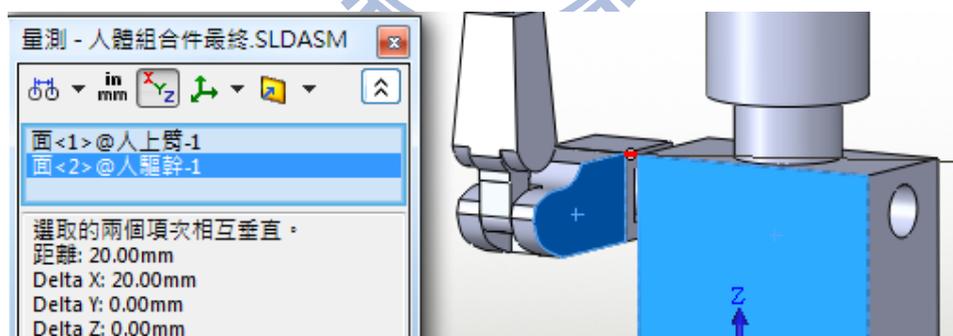


圖 4. 16 投籃動作一的手臂與軀幹的相對位置

真實人體的平均密度為1~1.3，而在 SolidWorks 預設當中，各零件的物質特性，其預設的密度即為1。人體模型的尺寸是根據本人的真實尺寸，所以重量也是設定為真實的體重。還有，在此論文的模擬中並沒有考慮空氣阻力。

COSMOSMotion 設定：

1. 重力一向下 9806.65mm/s^2

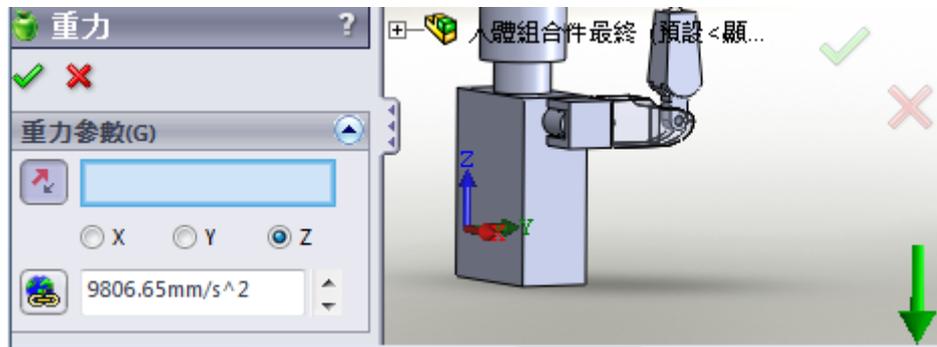


圖 4. 17 投籃動作一的重力設定

2. 3D 接觸—「手掌部分」與「球」接觸

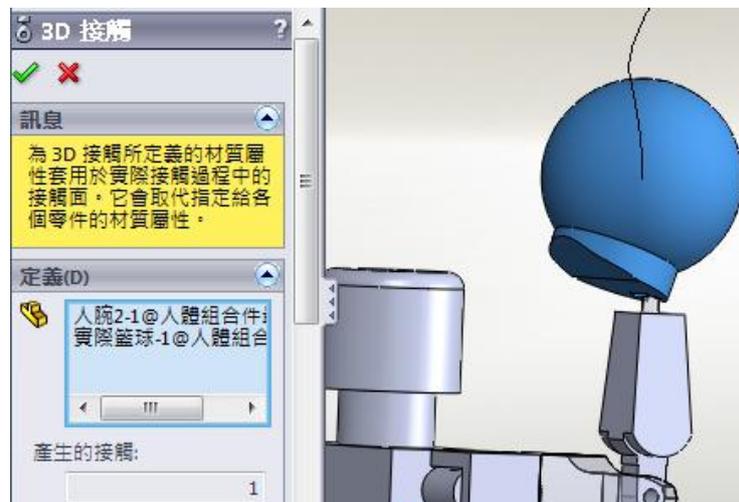


圖 4. 18 投籃動作一的 3D 接觸設定

3. 動力設定

(1) 肩部—逆時針轉 60° ，從 0s 到 0.133333s

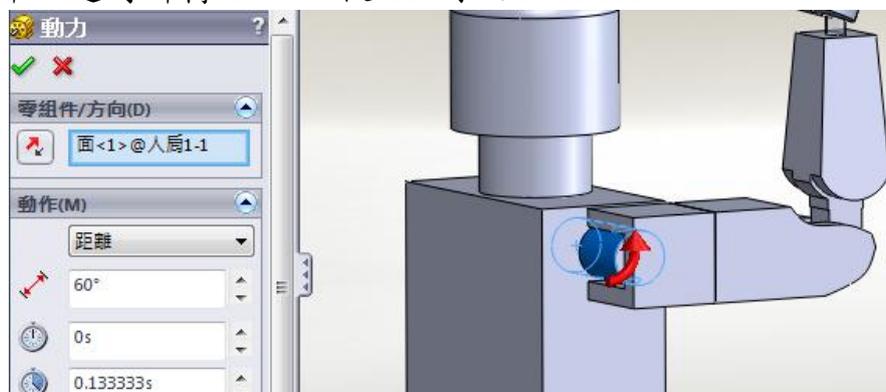


圖 4. 19 投籃動作一的動力設定 1

(2)肘部—順時針轉 30° ，從 0.055 到 0.133333s

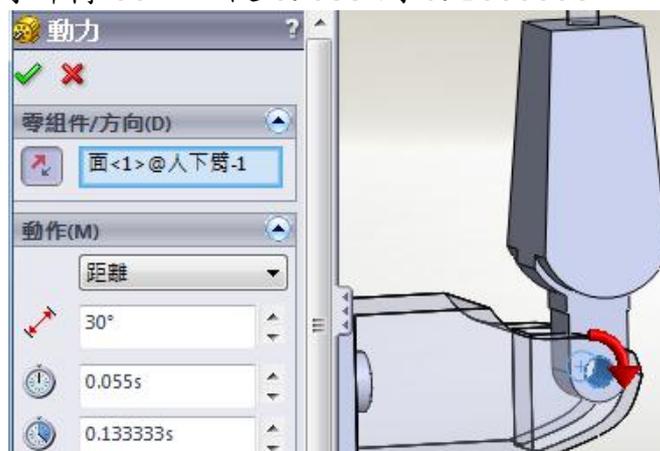


圖 4. 20 投籃動作一的動力設定 2

(3)腕部—順時針轉 170° ，從 0.06s 到 0.133333s

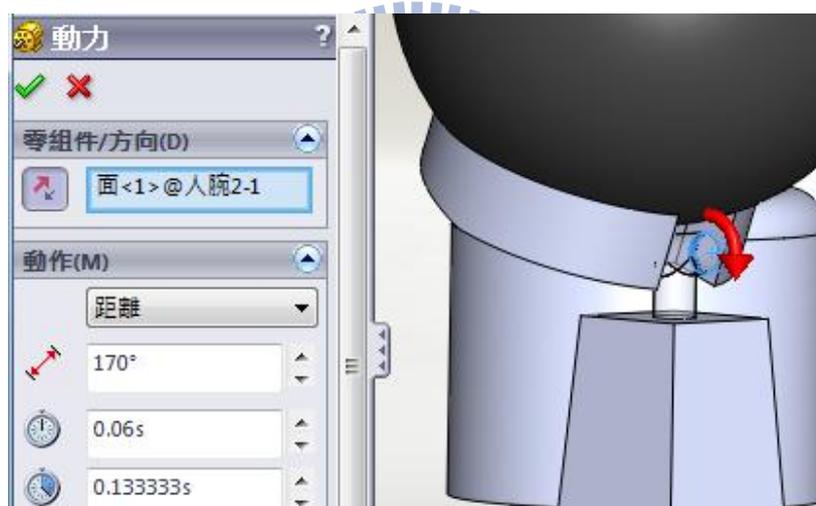


圖 4. 21 投籃動作一的動力設定 3

設定完畢便開始進行計算

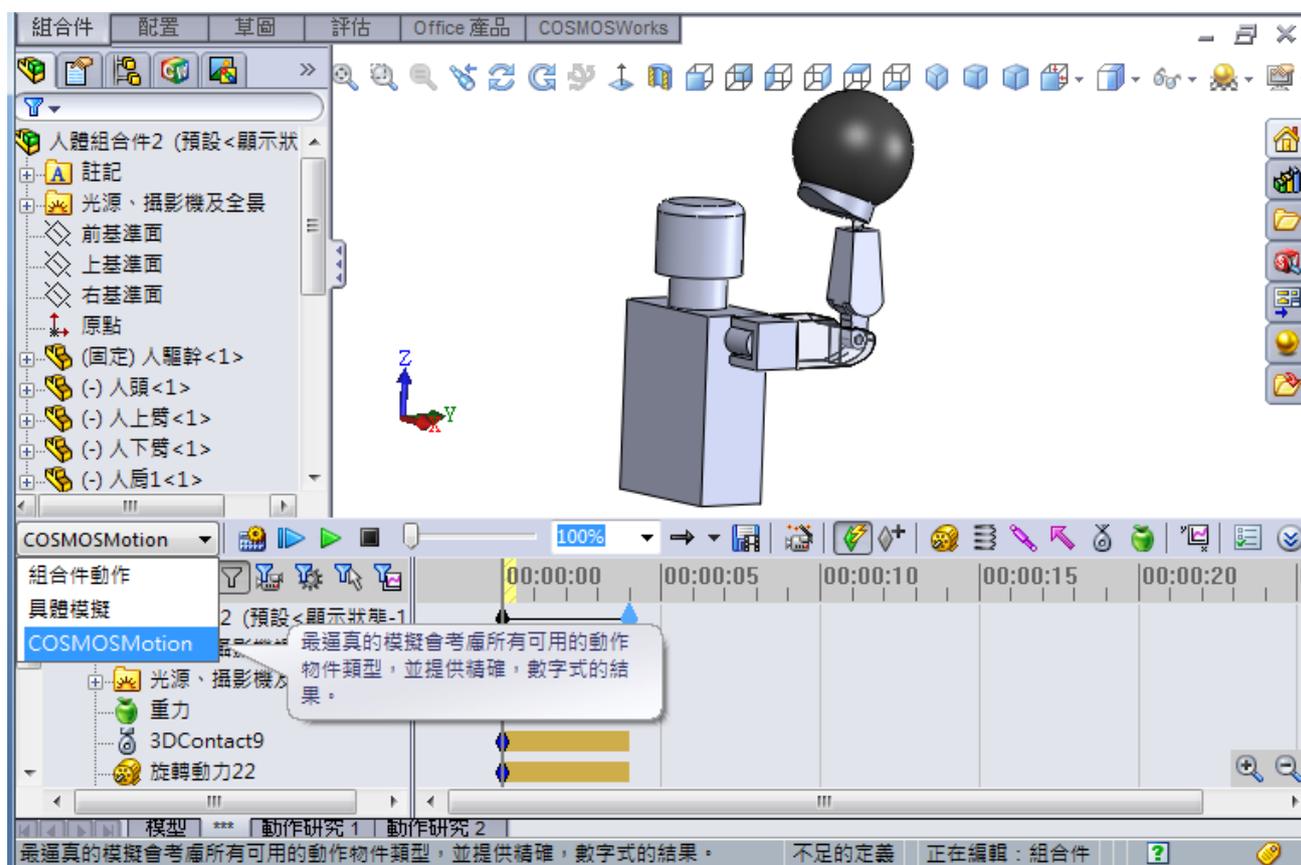


圖 4. 22 投籃動作一計算

投籃動作一 —— 模擬結果：

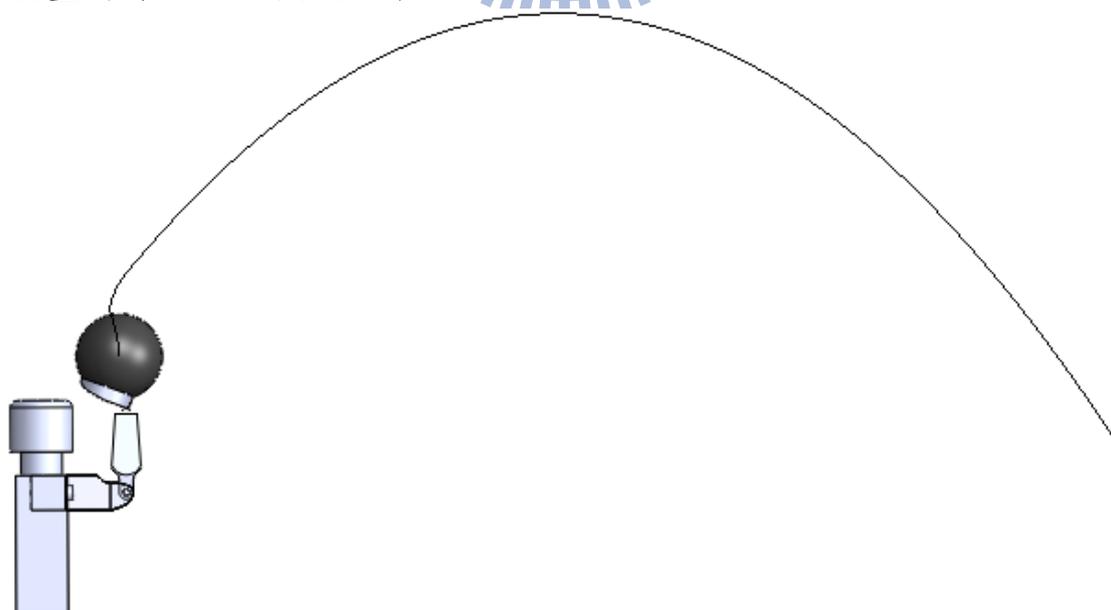


圖 4. 23 投籃動作一模擬結果側視圖

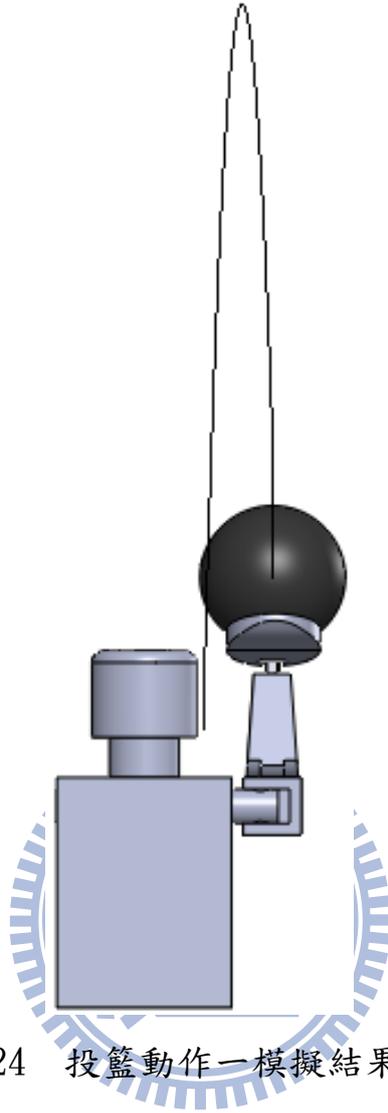


圖 4. 24 投籃動作一模擬結果後視圖

由圖可看出，球會向左方偏。而且球並無法投得很高很遠，這是因為沒有加上腿部動力，所以造成球缺乏更多向上的動力。

投籃動作一—各關節角速度數據

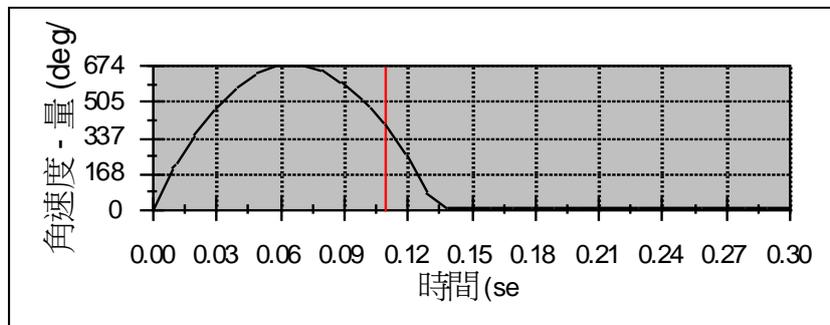


圖 4. 25 投籃動作一的肩部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

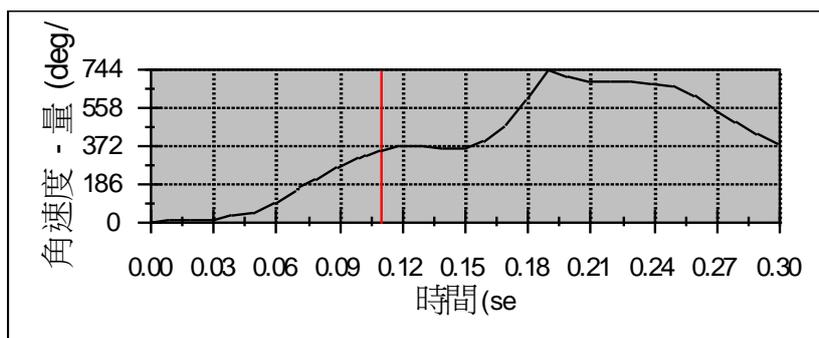


圖 4.26 投籃動作一的肘部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

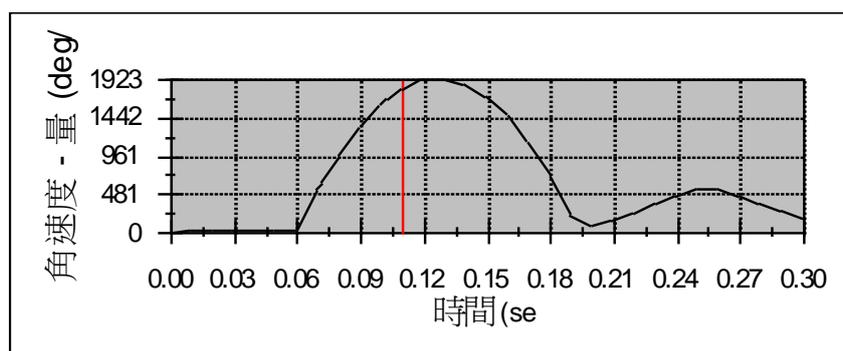


圖 4.27 投籃動作一的腕部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

由肩部(0.00s~0.12s)及腕部(0.06s~0.18s)的「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖中的曲線可看出，是變角加速度運動。球投出之後，肩部、肘部及腕部的動作在現實中就是停在結束位置，但是由於在 COSMOSMotion 裡只給它起始到結束的動力，動作結束後並沒有限制它們必須固定住，所以它們會像有亂揮亂甩的動作出現，表示球投出去以後的各關節角速度數據並不需特別研究，因為現實中其應該都接近零(因為接近靜止)。當然在現實中，球投出去以後，若是整隻手太過於放鬆，也會稍為地離開結束位置一點點。

此投籃動作模擬結果的肘部及腕部的最大角速度，與李雲光[14]的「不同投籃姿勢各關節運動學分析」以及湯文慈等人[15]的「優秀

與一般籃球選手跳投動作之運動學分析」裡所量出的實際的角速度並無多少差別(請參照表 4.1~表 4.5)，所以在比較「產生的最大角速度」方面，此模擬(給定作動角度、再限制作動時間)算是合理。不過此兩篇論文並未量測整個過程的角速度變化曲線，所以無法確認角速度變化的方式是否與真實情況符合。

表 4.1 李雲光[14]量測 — 三分投籃情況下，不同投籃姿勢之各關節最大角速度(度/秒)

	過頂投籃 M(S.D.)	單手投籃 M(S.D.)
腕關節	1661.71±358.64	1649.52±310.98
肘關節	645.07±49.70	682.65±144.18
肩關節	294.56±18.63	317.83±62.74
髖關節	160.17±83.43	160.66±41.86
膝關節	337.85±111.64	239.55±68.83
踝關節	562.95±206.83	411.42±147.07

表 4.2 李雲光[14]量測 — 後仰跳投情況下，不同投籃姿勢之各關節最大角速度(度/秒)

	過頂投籃 M(S.D.)	單手投籃 M(S.D.)
腕關節	1491.18±331.52	1562.27±250.76
肘關節	638.60±73.87	660.96±133.37
肩關節	319.66±18.97	321.46±43.26
髖關節	221.07±61.38	204.43±48.98
膝關節	368.16±101.90	292.97±57.70
踝關節	597.50±162.06	495.55±93.60

表 4.3 李雲光[14]量測 — 運球跳投情況下，不同投籃姿勢之各關節最大角速度(度/秒)

	過頂投籃 M(SD)	單手投籃 M(SD)
腕關節	1494.52±217.10	1426.56±247.77
肘關節	609.93±58.45	619.05±108.12
肩關節	309.05±9.44	313.48±28.61
髖關節	186.97±21.92	221.73±24.56
膝關節	356.63±53.31	323.39±26.20
踝關節	603.80±67.31	598.84±46.45

表4.4 湯文慈等人[15]量測 — 優秀與一般籃球選手原地跳投慣用側各關節角速度峰值之平均數及標準差(度/秒)

	優秀		一般	
	Mean	SD	Mean	SD
右指	1080.58	297.81	916.27	227.19
右腕	2034.24	423.76	1449.13	502.97
右肘	754.94	122.38	973.92	324.98
右肩	317.25	45.35	436.70	157.56
右髖	229.58	58.63	252.80	99.75
右膝	363.01	107.66	519.51	86.46
右踝	612.73	219.54	882.69	217.52

表 4.5 湯文慈等人[15]量測 — 優秀與一般籃球選手運球跨步跳投慣用側各關節角速度峰值之平均數及標準差(度/秒)

	優秀		一般	
	Mean	SD	Mean	SD
右指	1019.83	347.09	881.42	245.78
右腕	1961.80	414.53	1483.48	518.81
右肘	760.76	97.00	956.63	322.92
右肩	328.20	56.31	436.37	145.90
右髖	248.03	32.06	280.38	99.75
右膝	402.09	74.79	575.84	117.33
右踝	707.16	129.05	983.81	235.72

只有在肩部部分，此模擬結果的最大角速度為 674 deg/sec，而上述的論文量出來的約在 300 到 500 之間，這無法忽略的差距，造成的原因應該與受測的球員大多數動作與標準投籃動作的差異不小有關。但是那兩篇文論皆沒有提到受測球員的投籃動作，也就是球員上臂、下臂、以及腕部，是從與水平夾幾度，轉動到幾度。不過看那兩篇論文的數據，可以推測受測球員大概是用像上述提到的 NBA 球員 Jose Calderon 的投籃動作：先將球以不快的速度舉至額頭，再用將下臂及手腕處像釣竿一樣甩出去。如此一來肩部當然不會有多大的角速度。再來看看球的路徑(圖 4.29~圖 4.31)，在看球的路之前，要先知道球的中心與原點的相對位置，見圖 4.28。

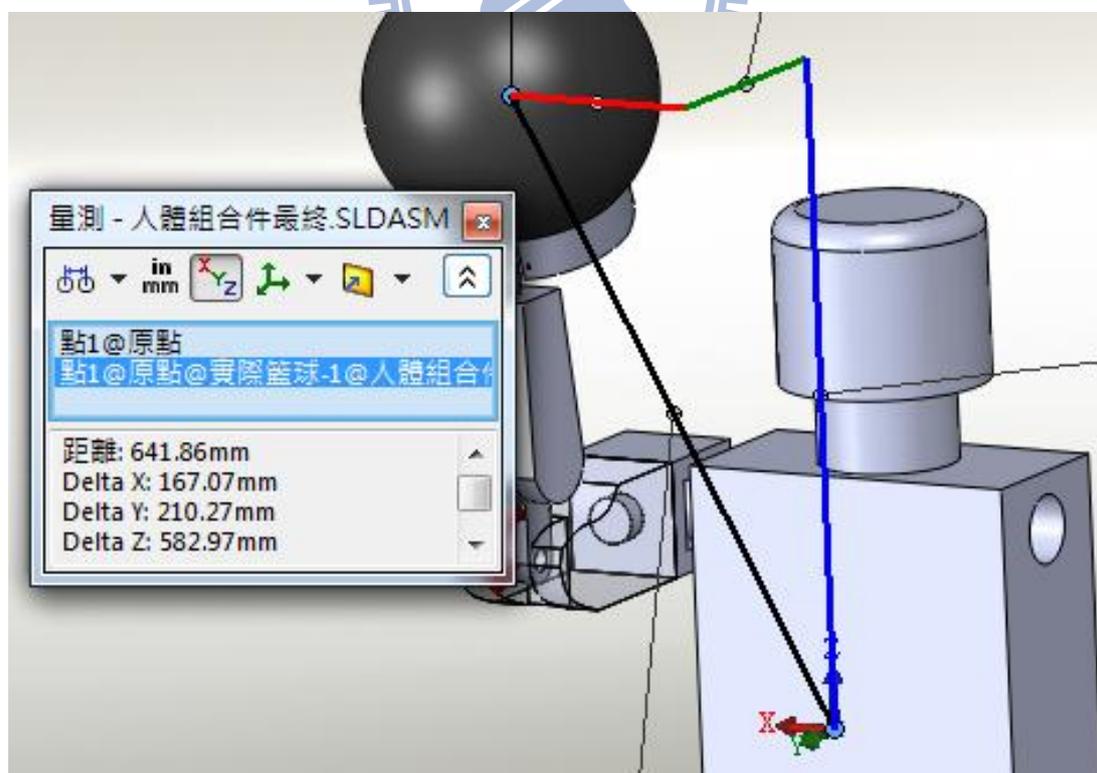


圖 4.28 球心與原點的相對位置

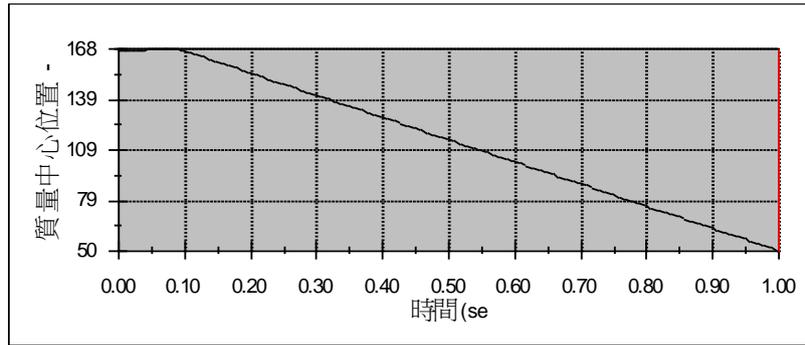


圖 4.29 投籃動作一在 X 軸的「球心位置(mm) - 時間(sec)」關係圖

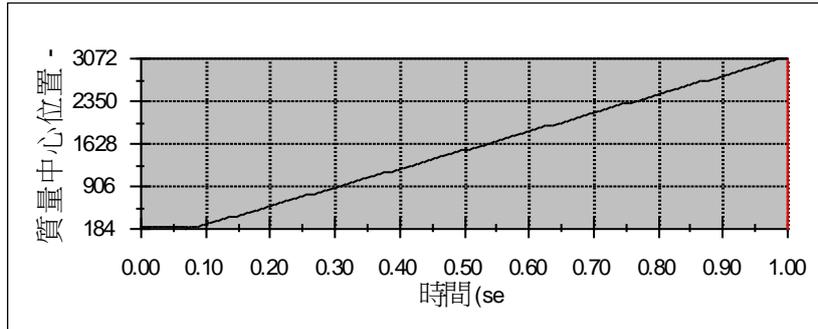


圖 4.30 投籃動作一在 Y 軸的「球心位置(mm) - 時間(sec)」關係圖

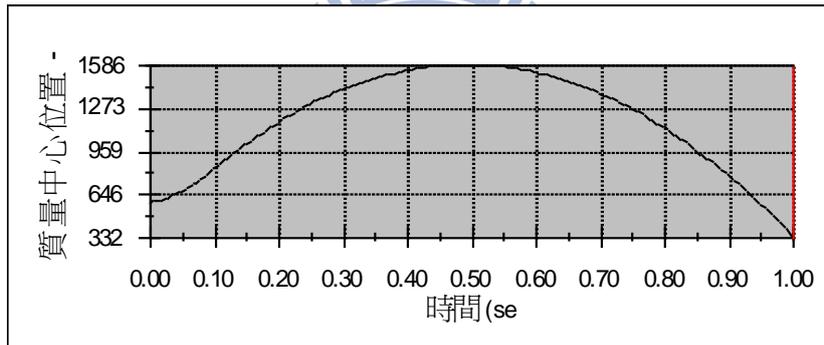


圖 4.31 投籃動作一在 Z 軸的「球心位置(mm) - 時間(sec)」關係圖

由球在 X 軸的位置變化可看出，球總共偏移了 118 mm，如果加上腳部動力，讓球飛得更高更遠，想必會偏得更多。而且投偏 118 mm 也已經投不進籃框了，因為籃框半徑為 225 mm、籃球半徑為 125 mm，若是瞄準籃框中心，球只能偏移 100 mm，這樣才會進，所以此模擬結果偏了 118 mm，表示不會進。這應該和人體的模型的設計有關，例如真實人體的肩部及肘部，並無法像下圖那樣活動的：

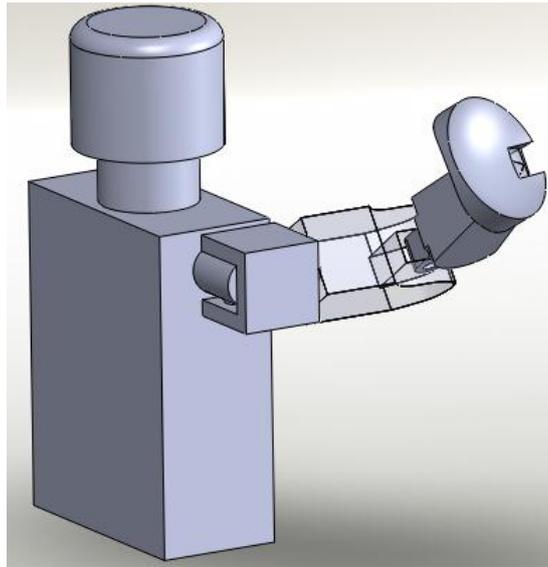


圖 4.32 人體模型可能產生的真實人體達不到的動作

再看圖 4.33，可看出投球的過程，並沒有出現類似圖 4.32 的情況，由此推斷有可能是人體模型掌部的設計的關係，無法像人的手指提供精準的控制，所以才會造成 118 mm 的偏移。

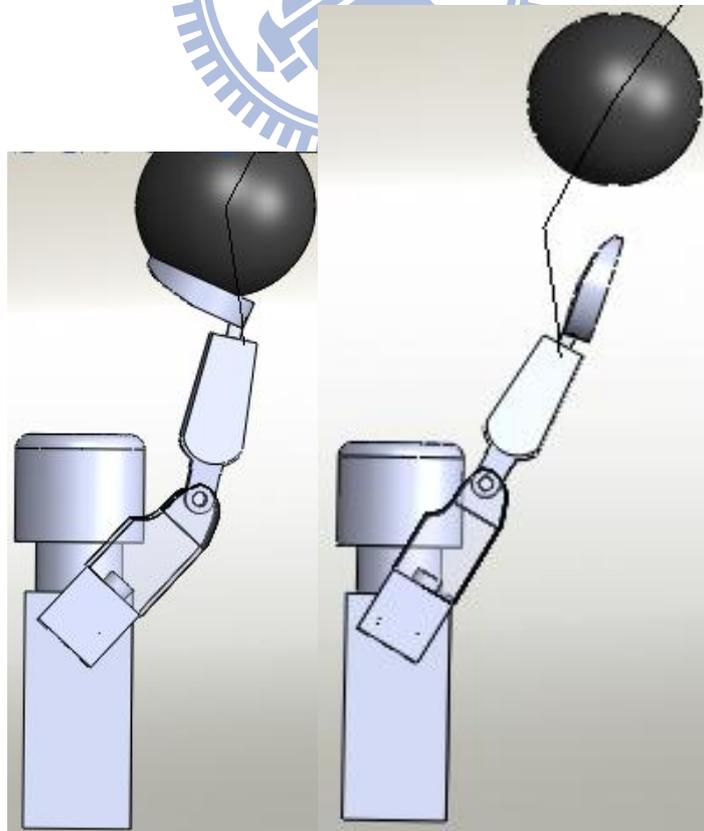


圖 4.33 人體模型在投籃過程中的動作

4.2.2 投籃動作二

上臂與胸口平面夾 75° （但是上臂與下臂依然垂直、上臂與地面依然垂直），也就是從投籃動作一的時候的上臂位置，向胸口的方向往內凹 15° ，請見圖 4.34 及圖 4.35。

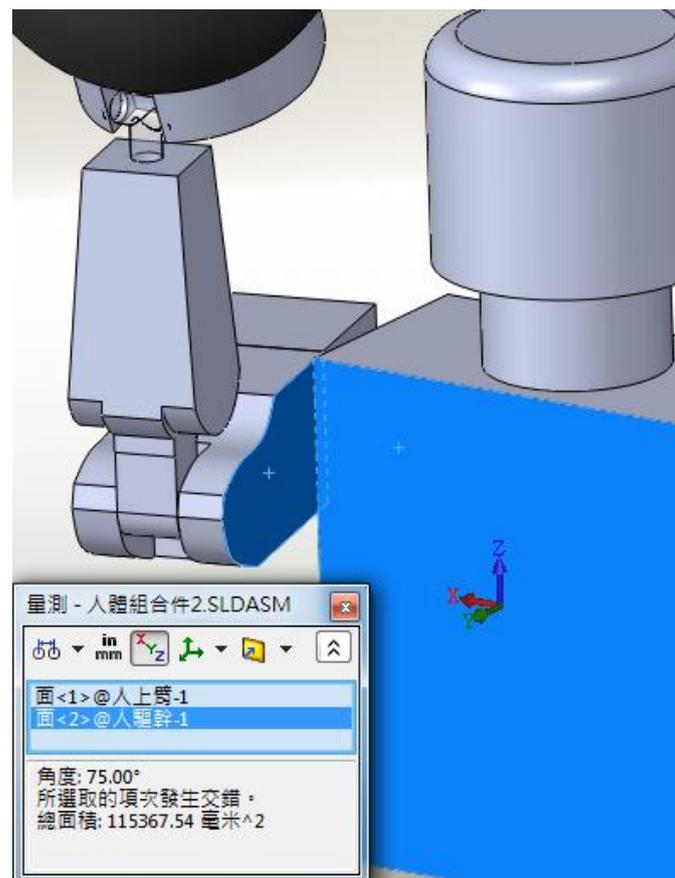


圖 4. 34 投籃動作二的手臂與軀幹的相對位置 1

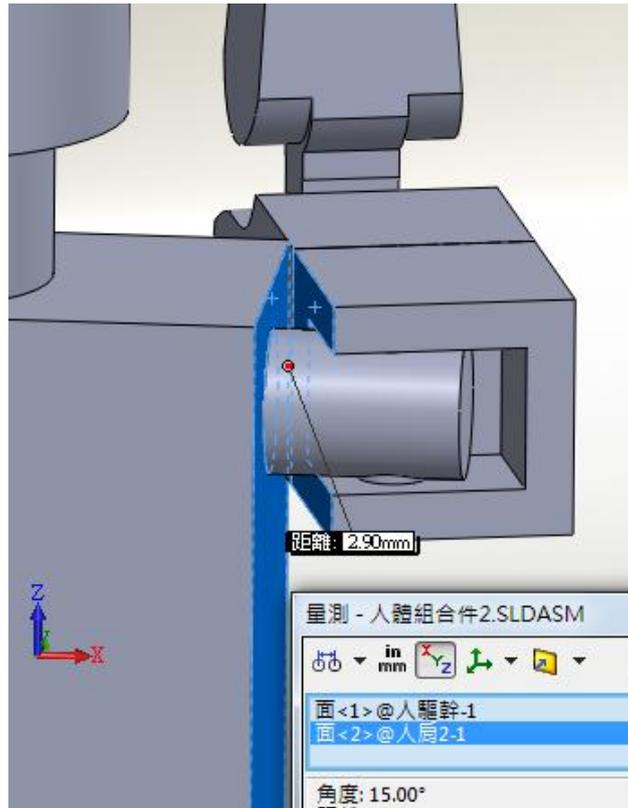


圖 4. 35 投籃動作二的手臂與軀幹的相對位置 2

雖然上臂向內凹，但是手掌仍是正對面向籃框的，由圖 4.36 可看出：

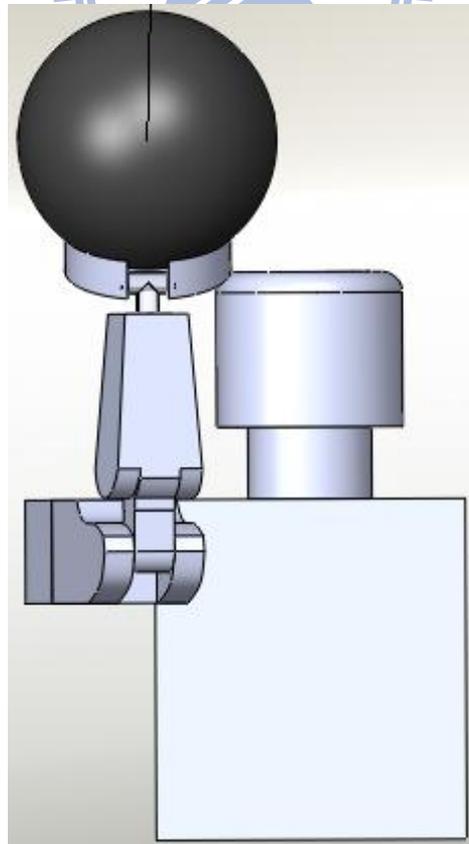


圖 4. 36 投籃動作二的手掌與軀幹的相對位置 1

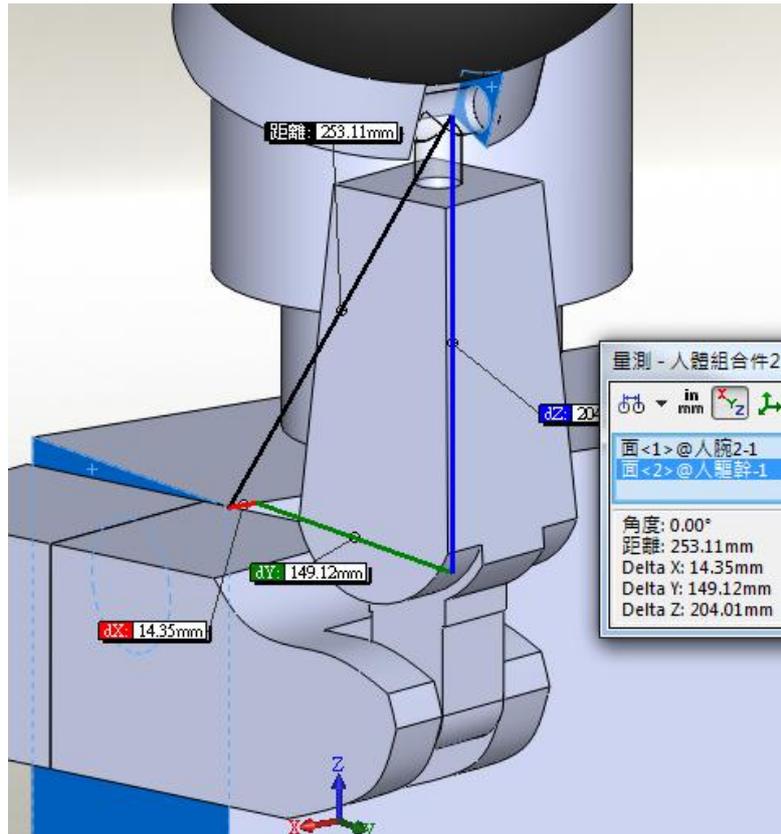


圖 4. 37 投籃動作二的手掌與驅幹的相對位置 2

投籃動作二 — 動力設定

(1) 肩部—逆時針轉 60° ，從 0s 到 0.133333s

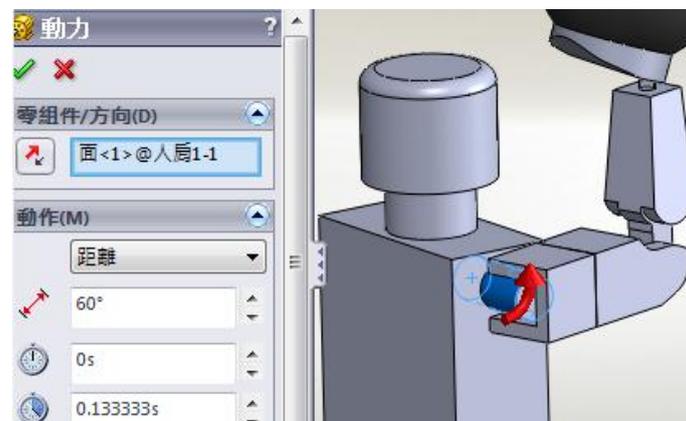


圖 4. 38 投籃動作二的動力設定 1

(2) 肘部—順時針轉 30° ，從 0.055s 到 0.133333s

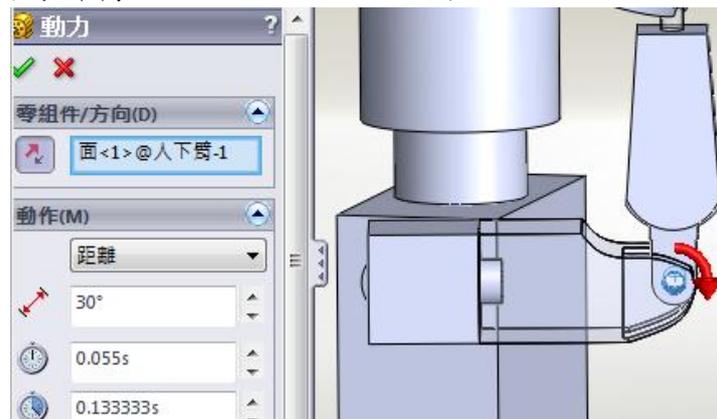


圖 4. 39 投籃動作二的動力設定 2

(3) 腕部—順時針轉 170° ，從 0.06s 到 0.133333s

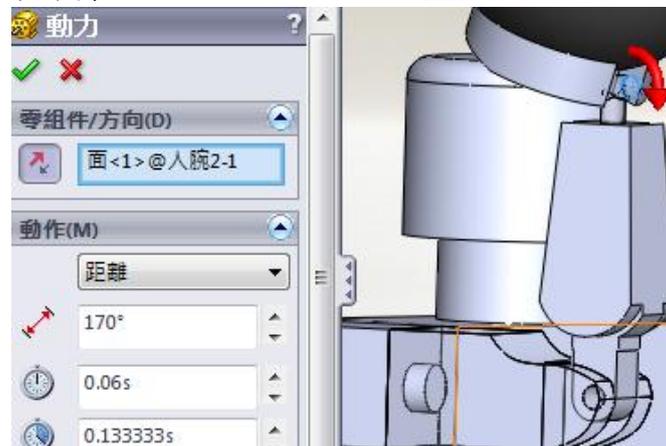


圖 4. 40 投籃動作二的動力設定 3

投籃動作二—模擬結果

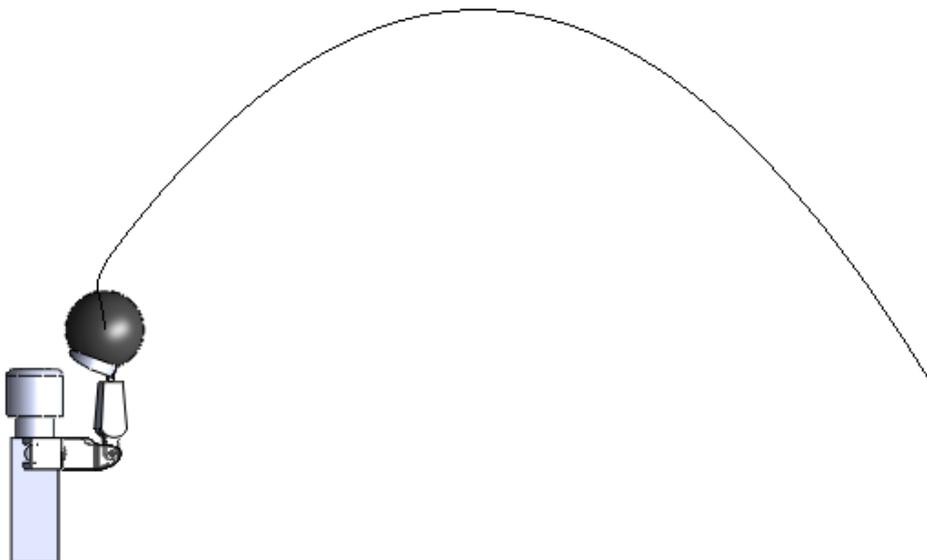


圖 4. 41 投籃動作二模擬結果側視圖

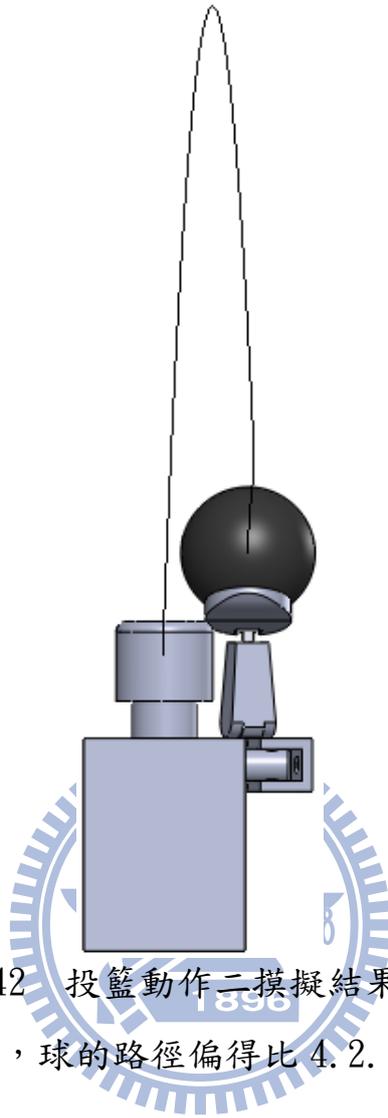


圖 4. 42 投籃動作二模擬結果後視圖

由圖 4.42 可看出，球的路徑偏得比 4.2.1 投籃動作一的偏移情況還嚴重一點，而 4.2.1 投籃動作一都不會進了，就知道投籃動作二穩定不會進的，若是用這投籃動作的人還投得準的話，想必花了非常多時間去練習，多花力氣施與球向右的力量，如此才能讓球不要向左方偏移。

投籃動作二 — 各關節角速度數據

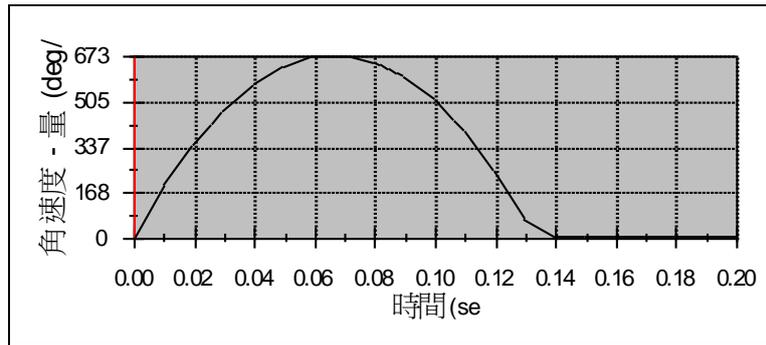


圖 4.43 投籃動作二的肩部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

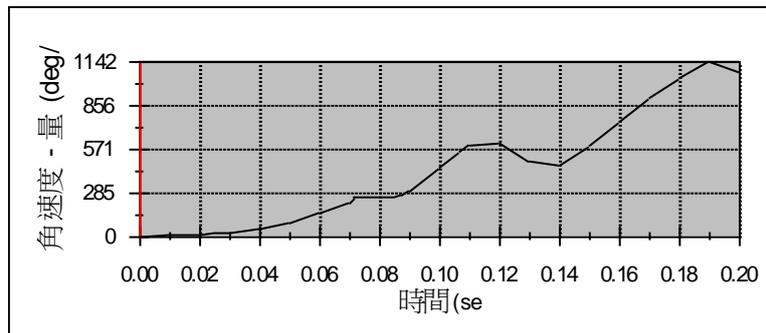


圖 4.44 投籃動作二的肘部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

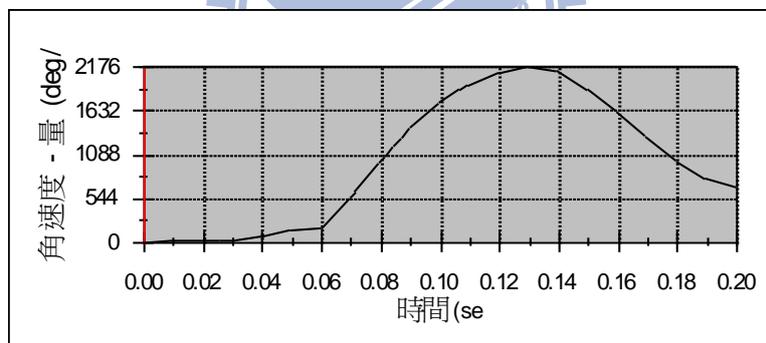


圖 4.45 投籃動作二的腕部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

投籃動作二的結果中，肘部及腕部的最大角速度明顯地有增大，應該與投籃動作剛結束後，模型手臂立即產生的亂揮動、亂甩動有關係。見圖 4.47，可以發現兩者的差異。而直接在投籃動作剛結束時，量測出來肘部關節的角速度 598 deg/sec(圖 4.46)就與李雲光[14]、湯文慈[15]所量出的結果相差不大了，請參照表 4.1~表 4.5。

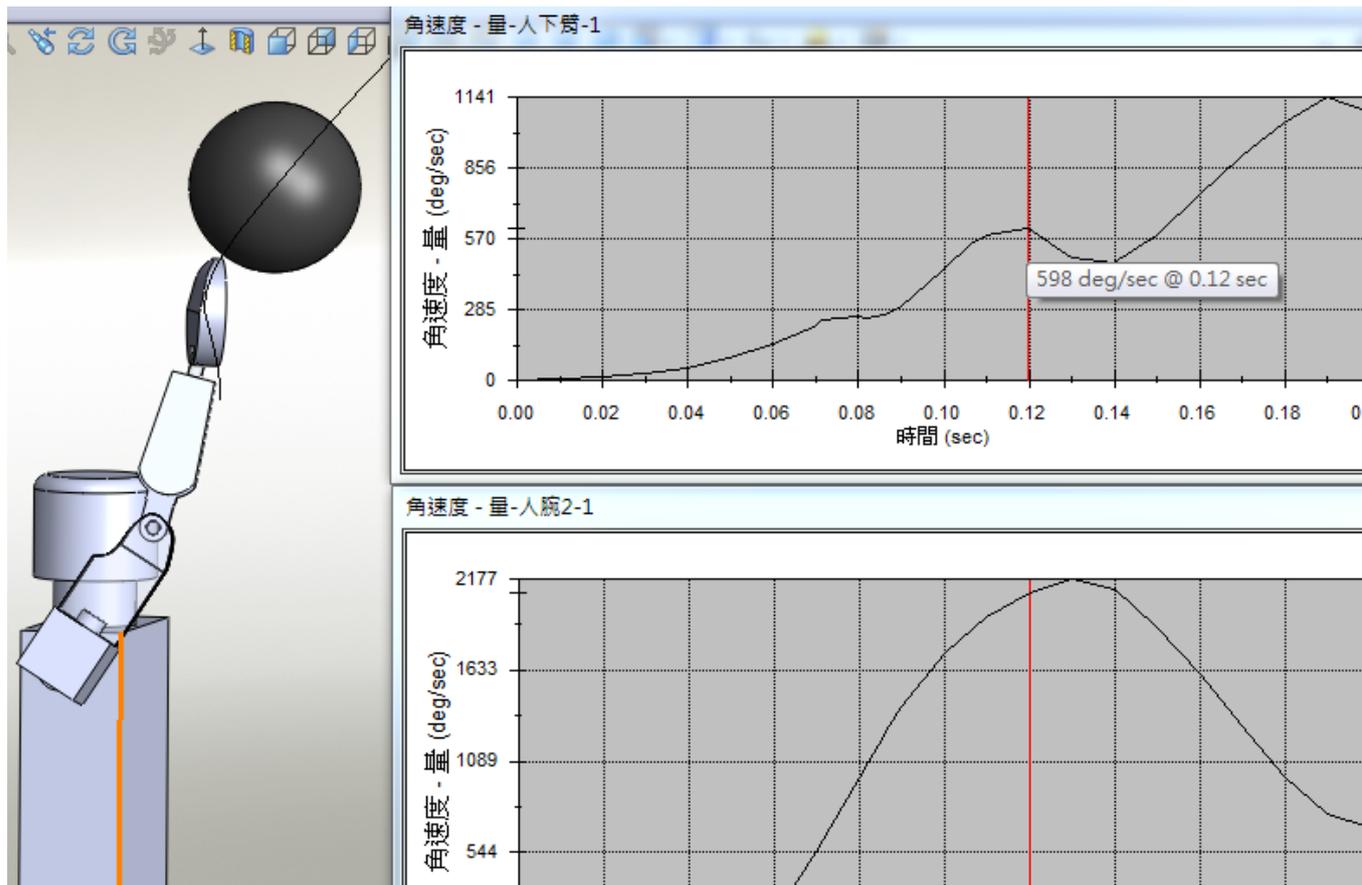


圖 4. 46 投籃動作二—量測球剛投出去時的肘關節角速度

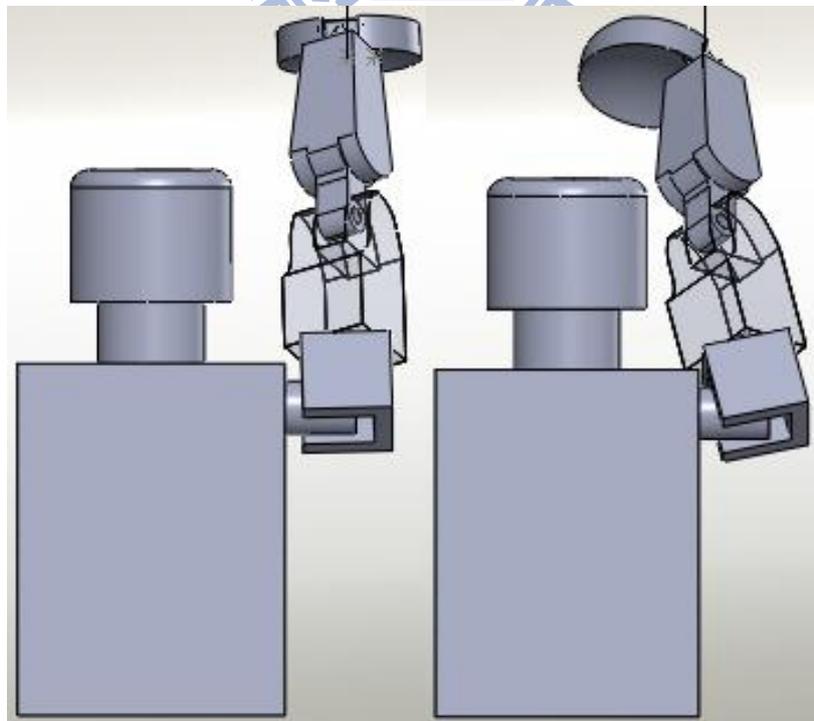


圖 4. 47 投籃動作一與投籃動作二在球剛投出去時的動作比較

投籃動作二—球的路徑：

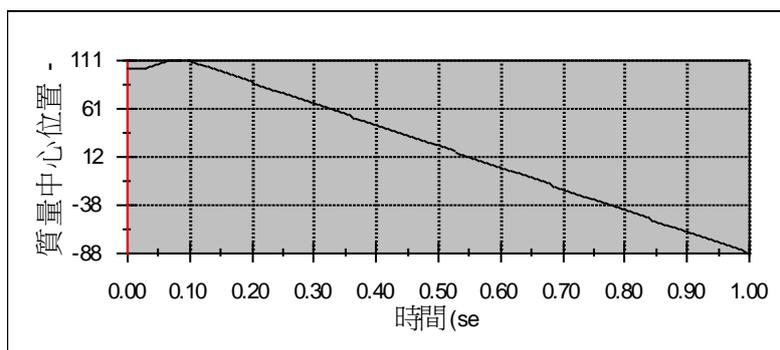


圖 4.48 投籃動作二在 X 軸的「球心位置(mm) -時間(sec)」關係圖

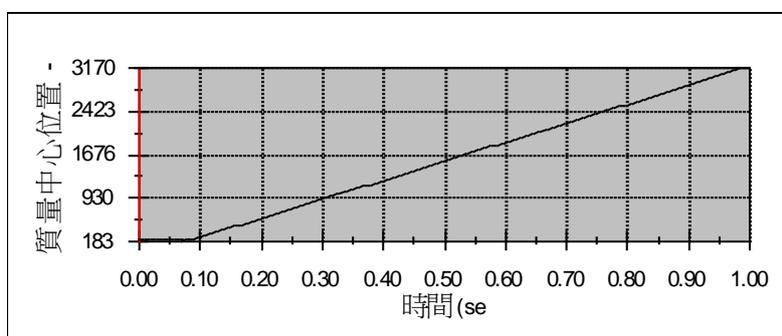


圖 4.49 投籃動作二在 Y 軸的「球心位置(mm) -時間(sec)」關係圖

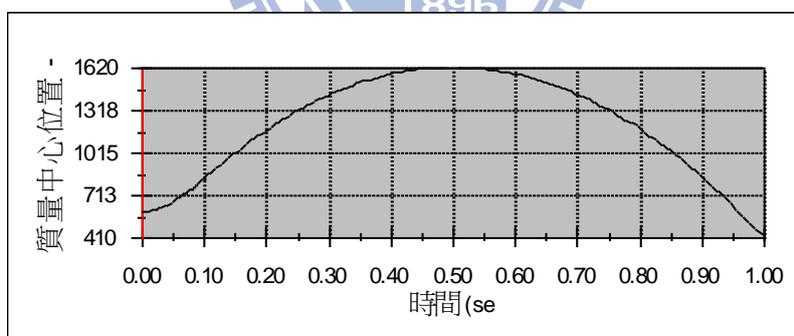


圖 4.50 投籃動作二在 X 軸的「球心位置(mm) -時間(sec)」關係圖

由球的 X 軸的位置變化可以看出球總共偏移了 199 mm，超過可容許偏移的 100 mm 快一倍，可以得知此種投籃動作所投出的球會非常地不準確。若是用這種投籃方式的球員，有很高的命中率的話，相信他一定是花了大量的時間訓練。因為他很有可能是剛開始學習打籃

球、並且用這種投籃動作練習時，就是非常地不準，後來花上大量的時間來嘗試用非投籃手來幫忙施力，施與球向右的力量，來彌補球的向左偏移。久而久之是能習慣，然後投球就變得越來越準確沒錯。但是這樣表示他比使用標準投籃動作的人還浪廢了更多時間去練習投籃，這些時間原本可以拿去練習其它許多籃球運動的技巧，結果他卻沒有，如此一來便會影響到他的籃球實力。

4.2.3 投籃動作三

上臂位置與投籃動作一相同，但是下臂改為與水平夾 105° ，但是依然是與上臂垂直。請參照圖 4.51 及圖 4.52。

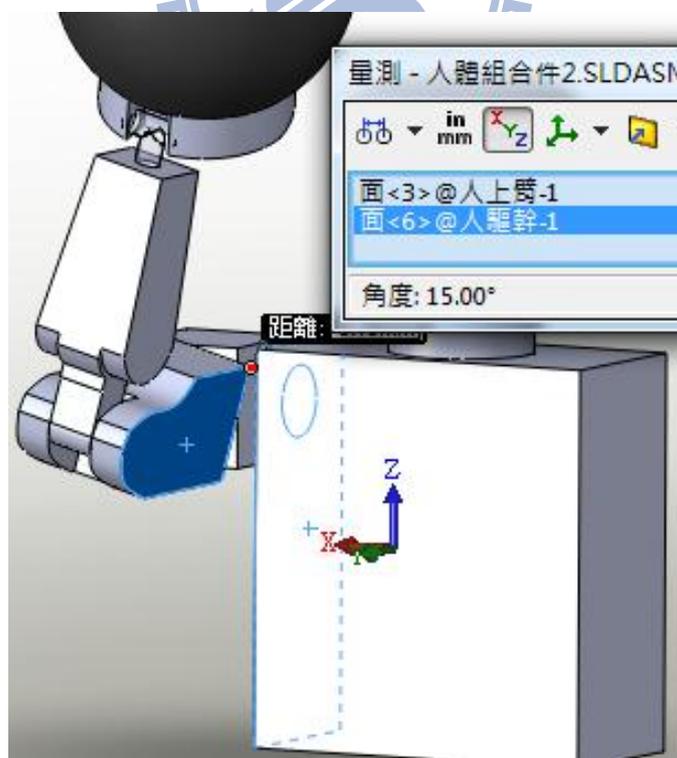


圖 4. 51 投籃動作三的手臂與驅幹的相對位置 1

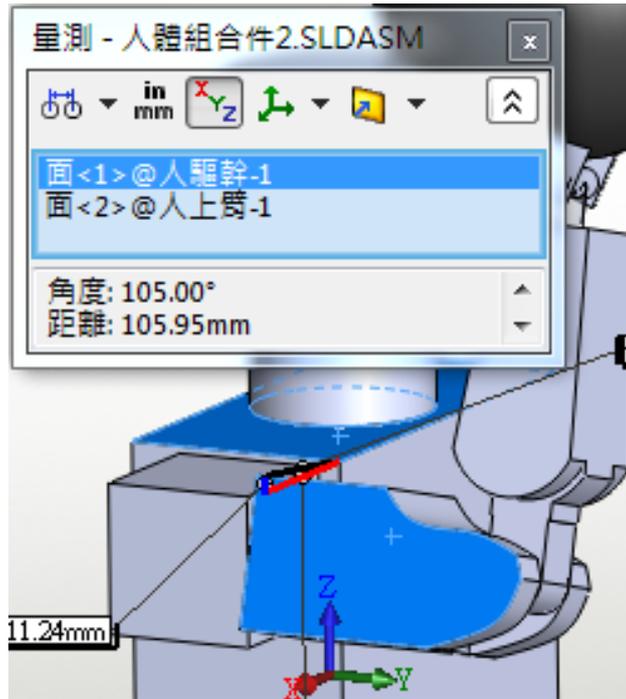


圖 4. 52 投籃動作三的手臂與軀幹的相對位置 2

投籃動作三—動力設定

(1) 肩部—逆時針轉 60°，從 0s 到 0.133333s

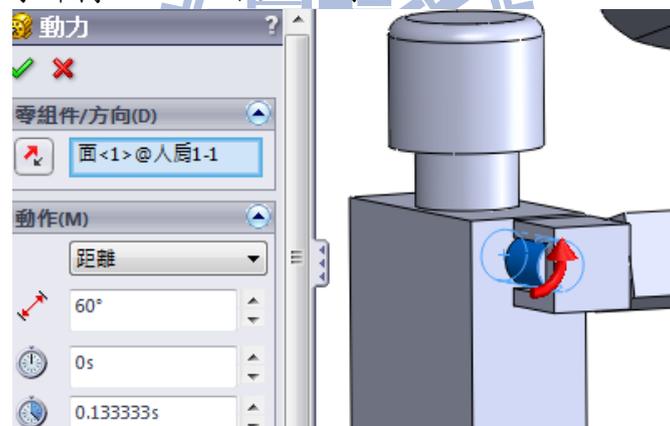


圖 4. 53 投籃動作三的動力設定 1

(2) 肘部—順時針轉 30°，從 0.055s 到 0.133333s

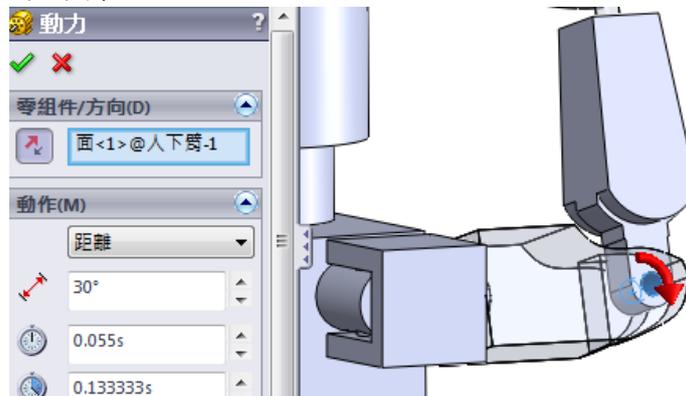


圖 4. 54 投籃動作三的動力設定 2

(3)腕部—順時針轉 170° ，從 0.0413s 到 0.07s

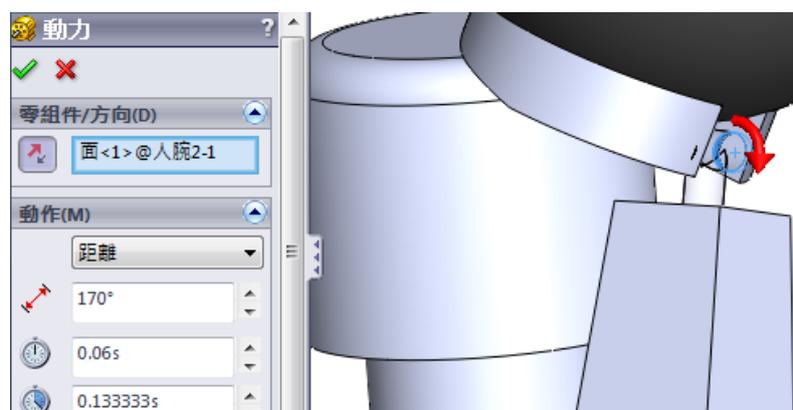


圖 4. 55 投籃動作三的動力設定 3

投籃動作三一模擬結果

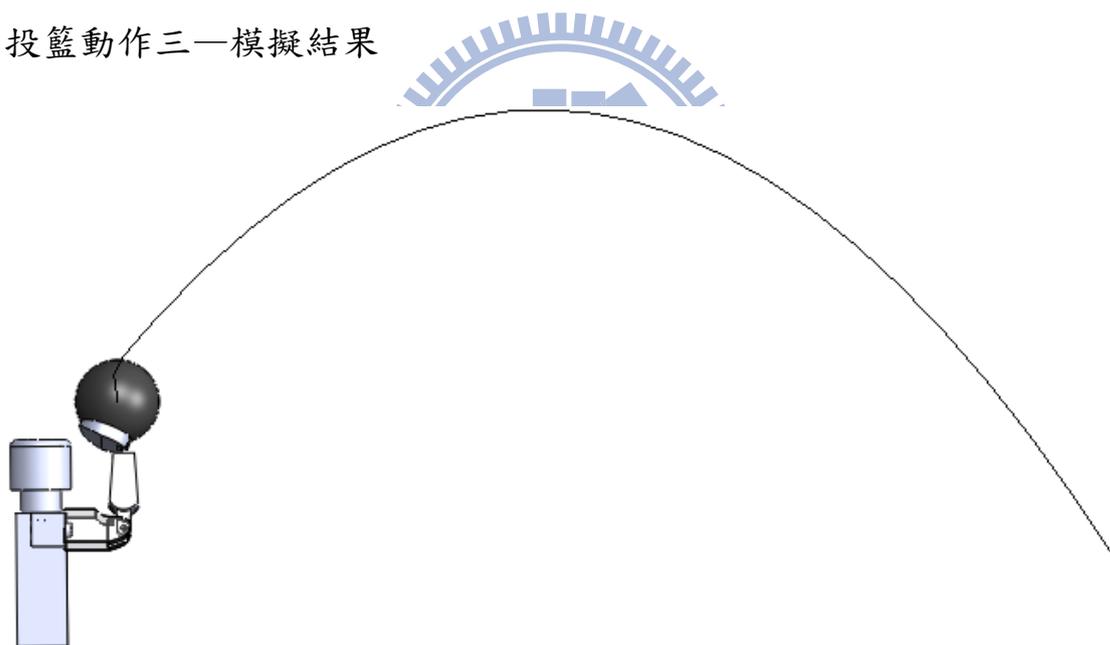


圖 4. 56 投籃動作三模擬結果側視圖

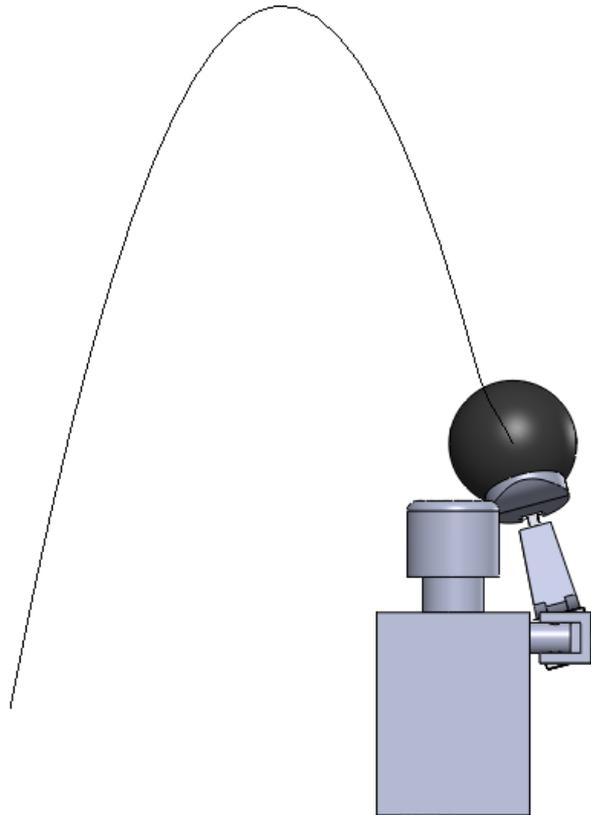


圖 4. 57 投籃動作三模擬結果後視圖

看圖 4.57，很明顯球投出去偏得非常嚴重，不可能投得進的。用這種投籃動作的人想能練得準，想必也是手指、或左手多出了很多力去調整，給球向右的力量，使得球不致於向左偏移。

投籃動作三 — 各關節角速度數據

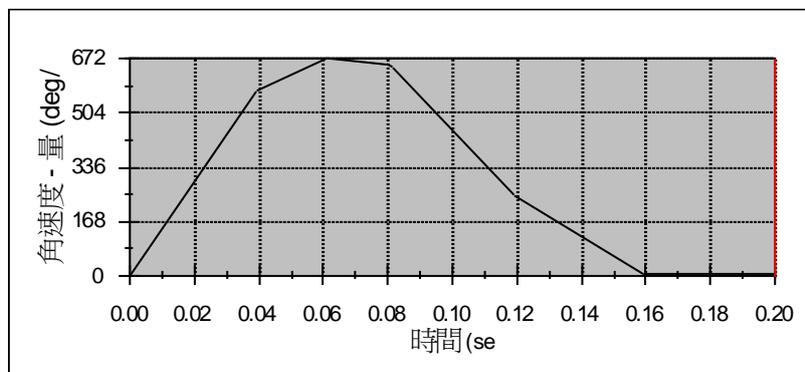


圖 4.58 投籃動作三的肩部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

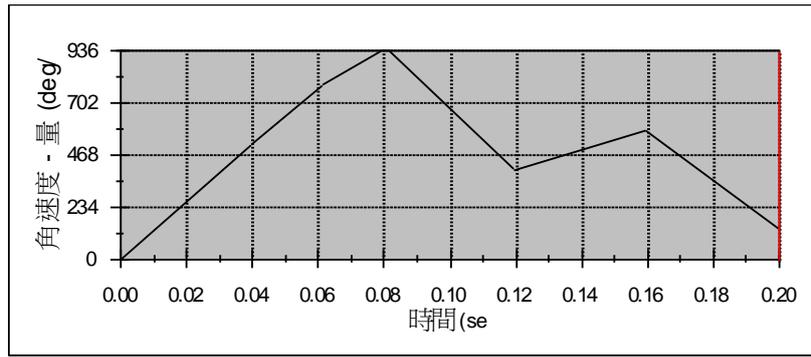


圖 4.59 投籃動作三的肘部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

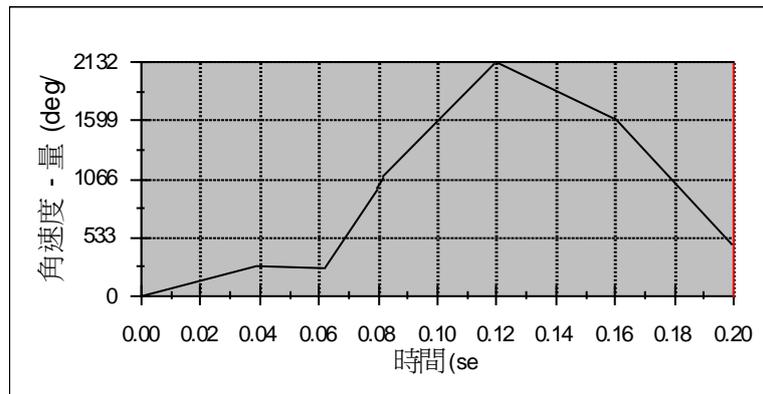


圖 4.60 投籃動作三的腕部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

此模擬結果的角速度跟 4.2.2 投籃動作二的結果類似，但是此結果的肘部最大角速度變得比投籃動作二的肘部最大角速度還小，也是與投籃動作剛結束時的亂揮動、亂甩動的幅度變小有關(見圖 4.61)。

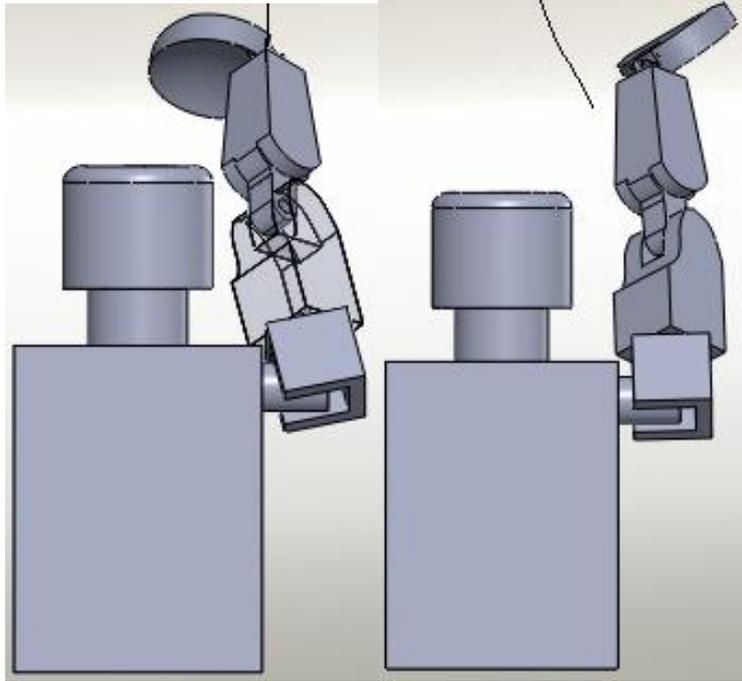


圖 4.61 投籃動作二(左)與投籃動作三(右)球剛投出去時的動作比較

投籃動作三—球的路徑

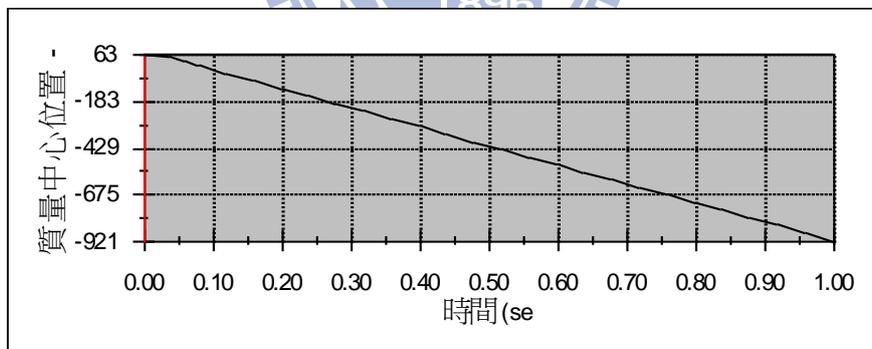


圖 4.62 投籃動作三在 X 軸的「球心位置(mm) - 時間(sec)」關係圖

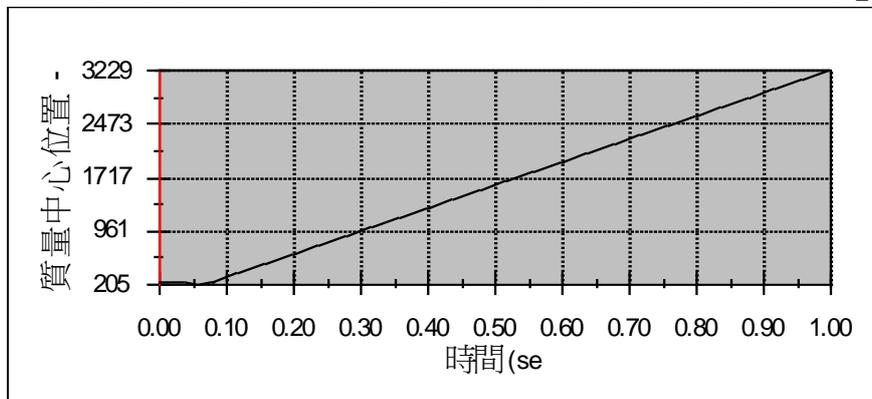


圖 4.63 投籃動作三在 Y 軸的「球心位置(mm) - 時間(sec)」關係圖

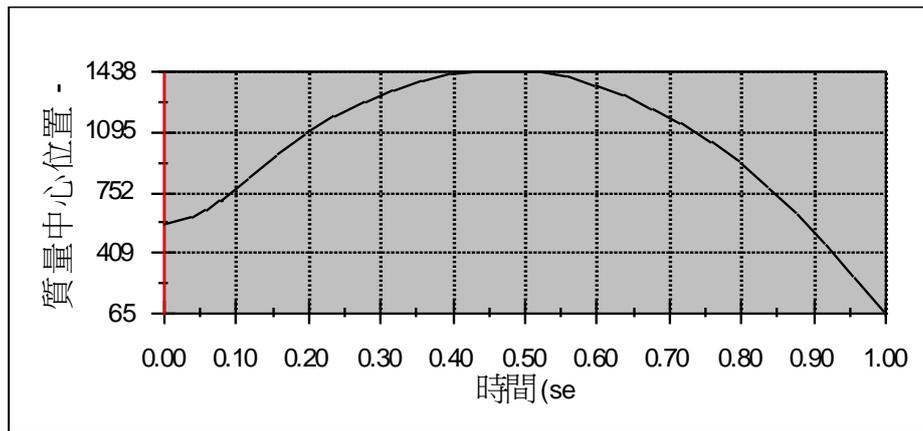


圖 4.64 投籃動作二在 Z 軸的「球心位置(mm) - 時間(sec)」關係圖

由球的 X 軸的位置變化得知球偏移了 984 mm，幾乎是一公尺，要修正這麼大的偏移，當然必須額外花廢更多時間與心力去調整才能練得準。而且用這種投籃動作的球員，在投籃時都有一個特徵，就是把球投出去時，輔助手會跟著一起出去，而且看起來也有參與投球的一部分(標準投籃動作的輔助手完全只是扶著球，球投出去時完全不施力、不參與投球)。也就是說，輔助手的動作看起來會跟投球的那一隻手的動作很像，如此一來才有辦法修正那麼大的偏移量。

4.2.4 投籃動作四

驅幹向左側轉 20° ，等於上臂向右側轉 20° ，但最後上臂仍是正對前方(正對籃框)，而驅幹已不像前三種投籃動作皆正對前方。

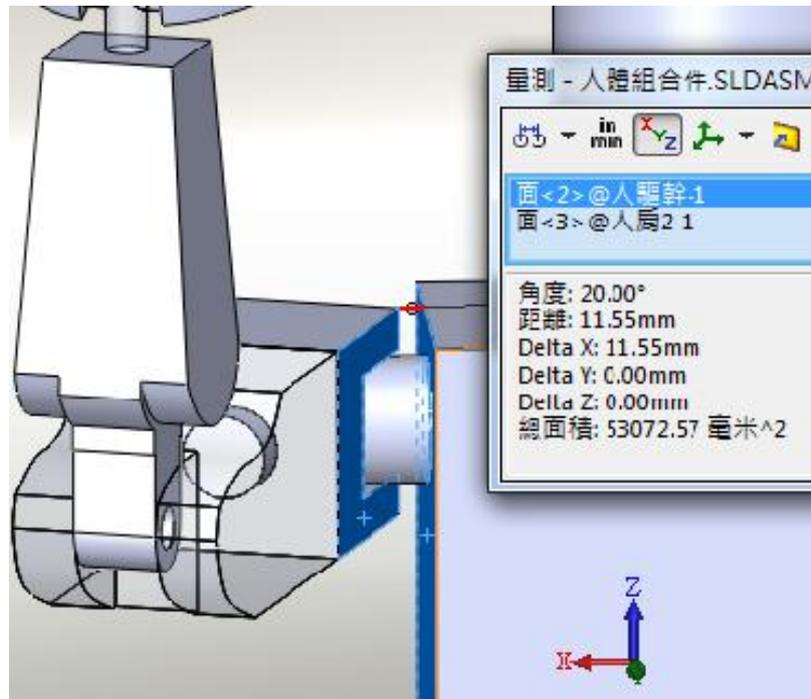


圖 4. 65 投籃動作四的手臂與驅幹的相對位置 1

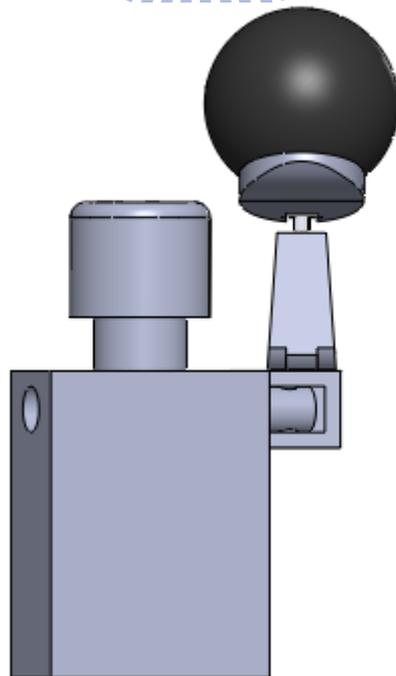


圖 4. 66 投籃動作四的手臂與驅幹的相對位置 2

投籃動作四—動力設定：

(1) 肩部—逆時針轉 60° ，從 0s 到 0.133333s

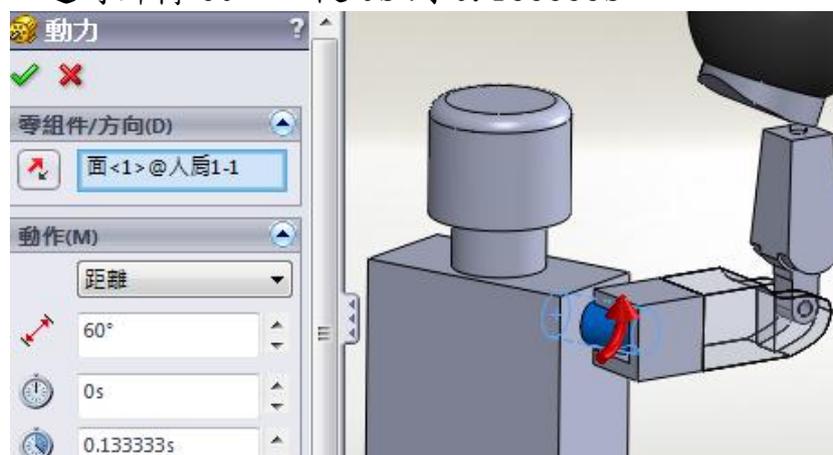


圖 4. 67 投籃動作四的動力設定 1

(2) 肘部—順時針轉 30° ，從 0.055s 到 0.133333s



圖 4. 68 投籃動作四的動力設定 2

(3) 腕部—順時針轉 170° ，從 0.06s 到 0.133333s

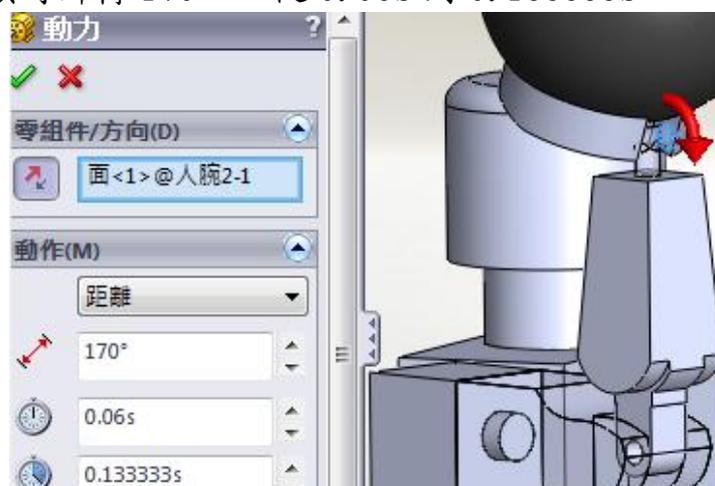


圖 4. 69 投籃動作四的動力設定 3

投籃動作四模擬結果

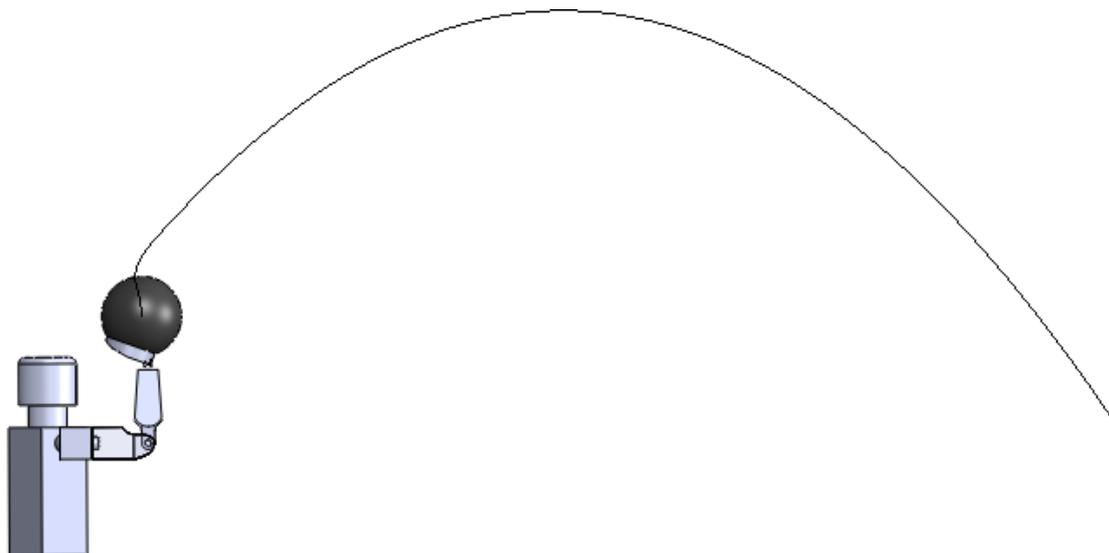


圖 4. 70 投籃動作四模擬結果側視圖

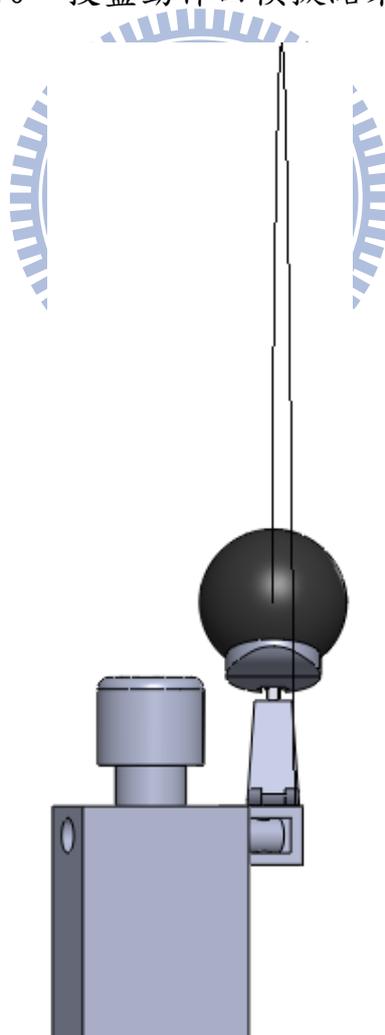


圖 4. 71 投籃動作四模擬結果後視圖

雖然可以看出投出去的球還是有偏移，但是與前三種投籃動作的結果比較，偏移的量相對小了不少，很明顯是四種投籃動作中最準確的。

投籃動作四 — 各關節角速度

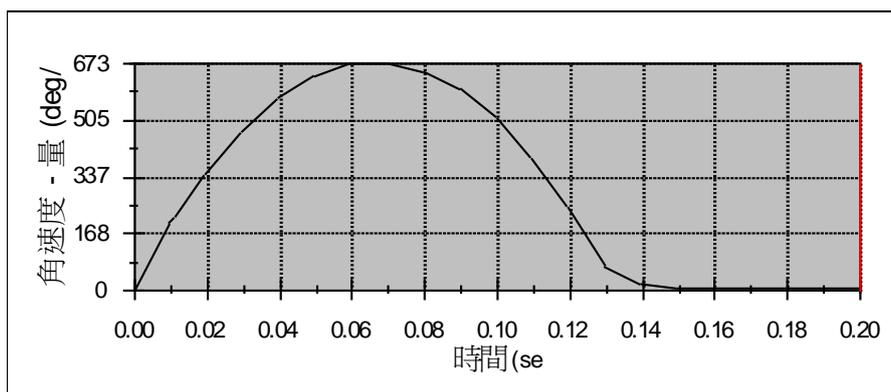


圖 4.72 投籃動作四的肩部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

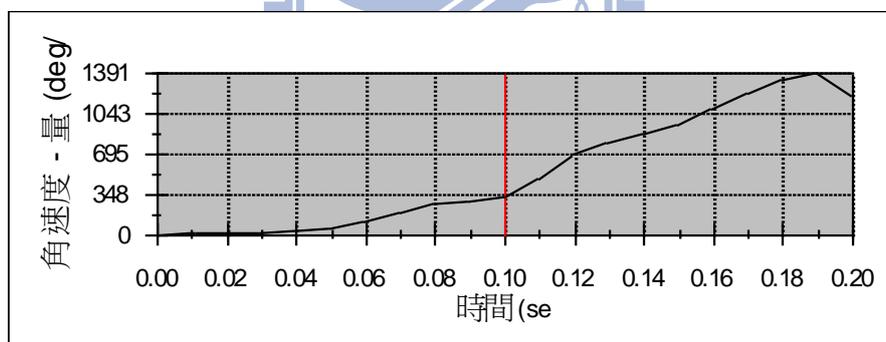


圖 4.73 投籃動作四的肘部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

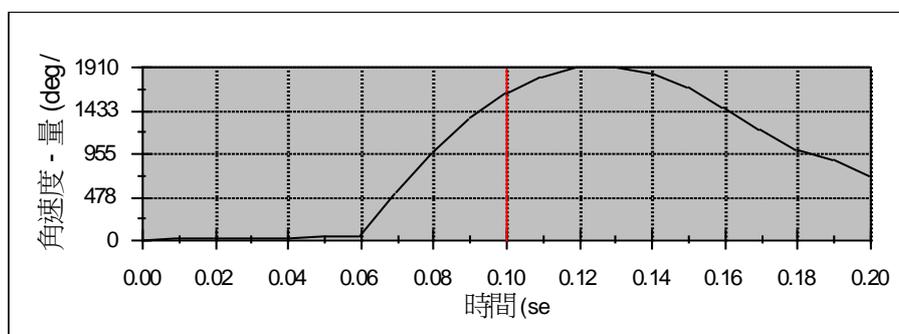


圖 4.74 投籃動作四的腕部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

此模擬結果也是在肘關節部分的最大角速度變得非常大，原因一樣是投籃動作結束後，人體模型手臂亂揮動、亂甩動(見圖 4.75)所造成。在球剛投出去時量取到的角速度 786 deg/sec 也是在合理的範圍內(請參照表 4.1~表 4.5)，請參照圖 4.76。

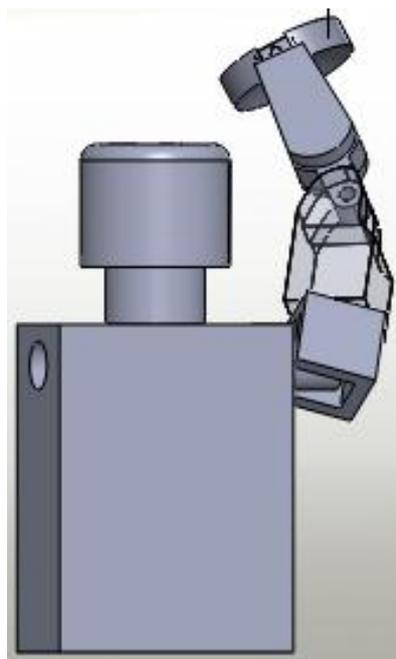


圖 4. 75 投籃動作四球剛投出去時的動作

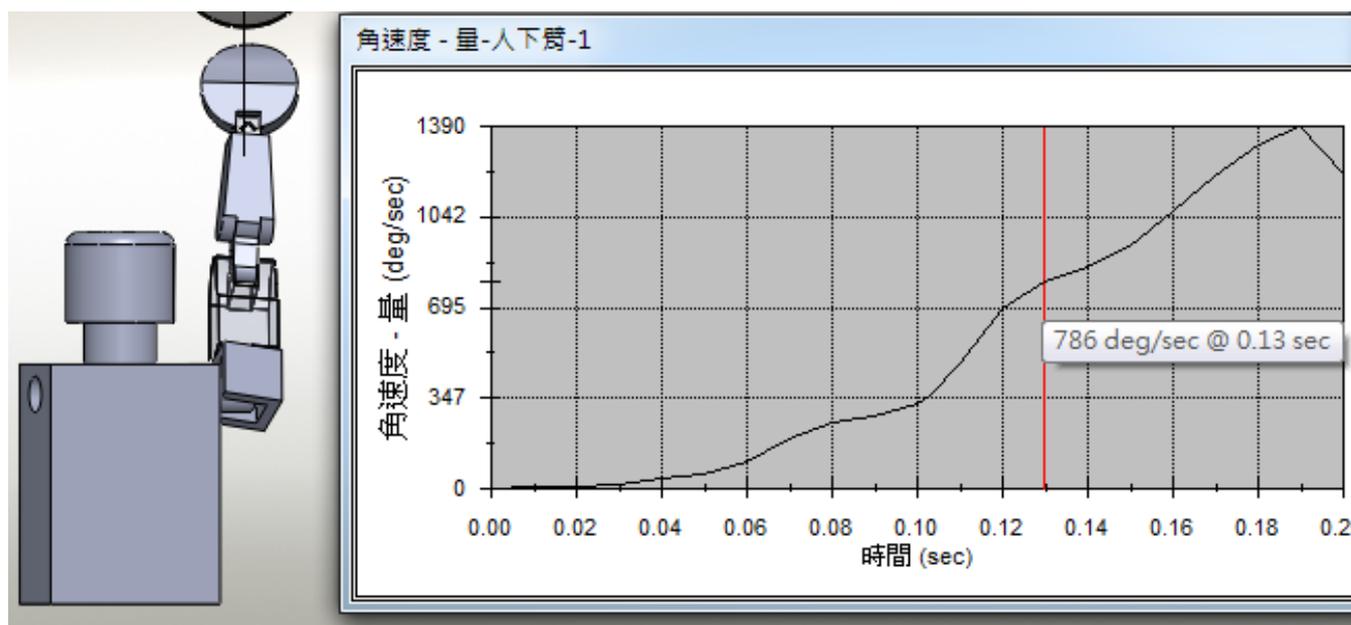


圖 4. 76 投籃動作四—量測球剛投出去時的肘關節角速度

投籃動作四—球的路徑

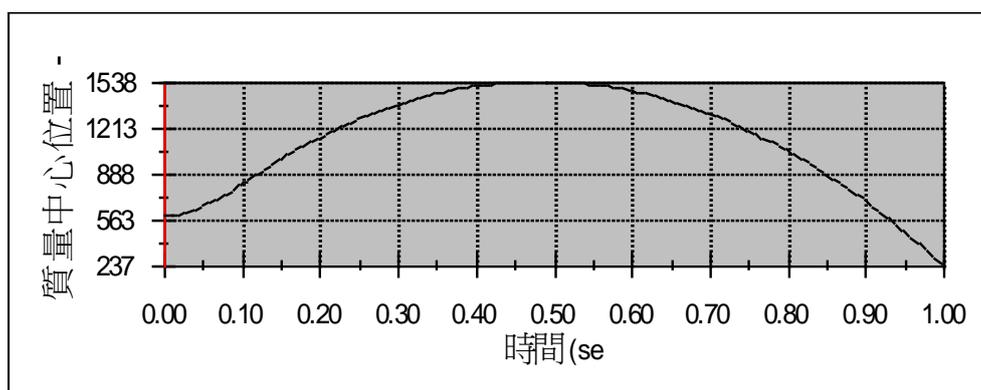


圖 4.77 投籃動作四在 Z 軸的「球心位置(mm) - 時間(sec)」關係圖

由於手臂已轉向，但原本的 XY 座標並無法跟著轉同樣的角度 (XY 座標是跟著軀幹)，所以現在的球心在 X 軸和 Y 軸的位置變化將不符合球的實際軌跡 (見圖 4.78)。但是沒關係，用別的方法一樣可以算出球到底偏移了多少 (見圖 4.79)。

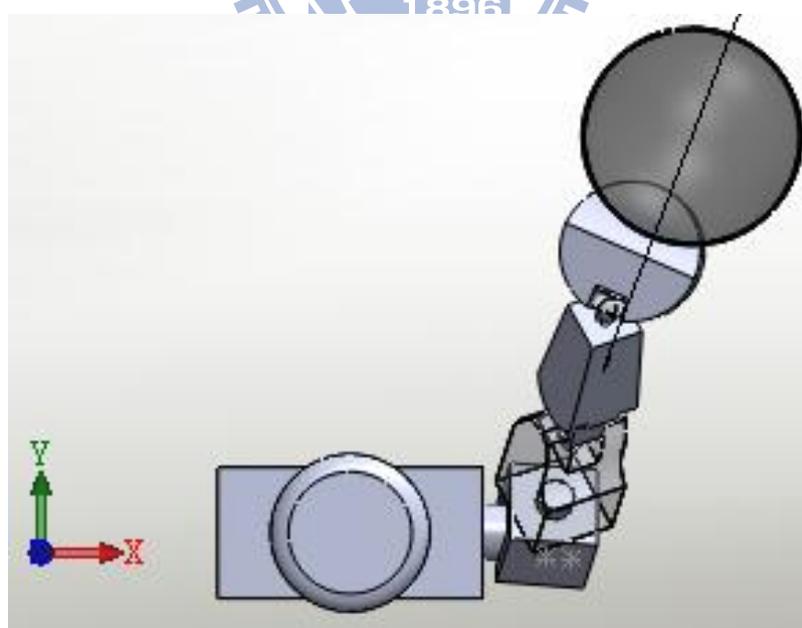


圖 4.78 無法轉動的 XY 座標

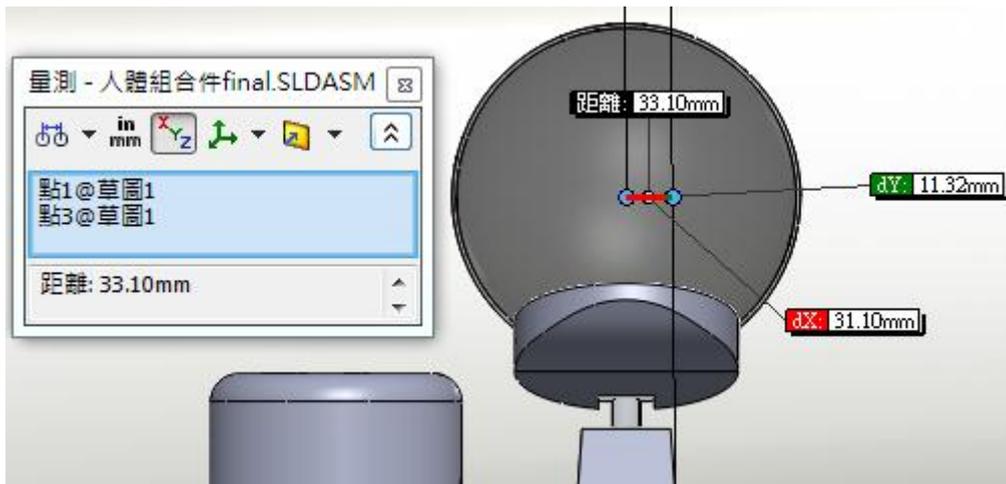


圖 4. 79 量測投籃動作四模擬結果的球心偏移距離

直接在正對籃框的平面建草圖，再球的中心畫一個點，還有在球落回到同一高度時，畫另一點，再用量測，即可求出偏移的距離了，為 33.1 mm。

雖然無法推算出此投籃動作加上腳部動力以後，球飛得更遠了，遠到能達到籃框，此時的 X 方向的偏移量會變大到多少，但現在的 33.1 mm 至少就是比前三種投籃動作模擬(4.2.1~4.2.3)的偏移量還小得多。所以由上述的四種投籃動作的模擬結果可知，第四種的投籃動作所投出的球最為準確、偏移量最小，而且與 1.4 引用的 [10] 中所提出的最標準的整體投籃動作相同。

知道第四種投籃動作(4.2.4)確實為最標準的投籃動作以後，現在便來將人體模型和輔具組合起來，並以第四種投籃動作進行模擬。

4.3 裝上輔具模擬投籃

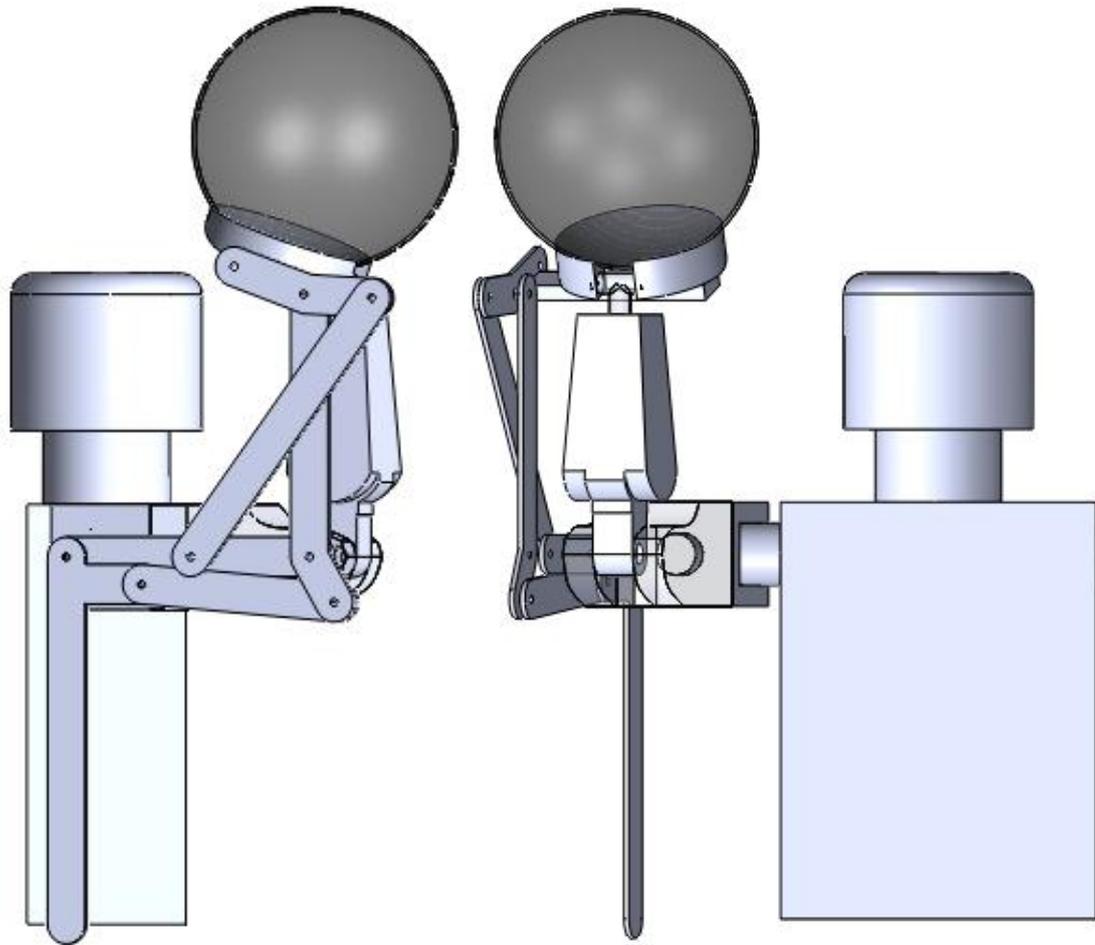


圖 4. 80 裝上輔具示意圖

因為本輔具為一個自由度的 6 連桿機構，裝在手臂上以後，只要上臂一動，下臂、手掌也都會跟著被帶動。所以此次模擬，只需要給肩膀動力就行了。此輔具機構在一平面上作動，由圖 4.81(b)可看出不會有干涉的問題。不過因為裝上輔具後，整隻手臂是在與胸口夾 70° 的平面上做動作(在「4.2.1 投籃動作一」時，整隻手臂是在與胸口夾 90° 的平面上運動)，所以肩膀轉動的角度已經不是 60° 了。現在得先求出肩膀轉動的角度為多少。先在肩膀的轉軸上作出一長方

形(見圖 4.81)，其長邊垂直於地面，如此一來，肩膀轉動多少，便可由測量此長方形的長邊與水平的夾角，而得知轉動的角度。現在將上臂與下臂調整成打直的狀態(見圖 4.82)，此時肩膀已轉動到投籃的結束動作的位置，現在再量測剛才畫的長方形的長邊與水平的夾角，即可求出動力設定裡肩膀必須設定轉動多少的角度。

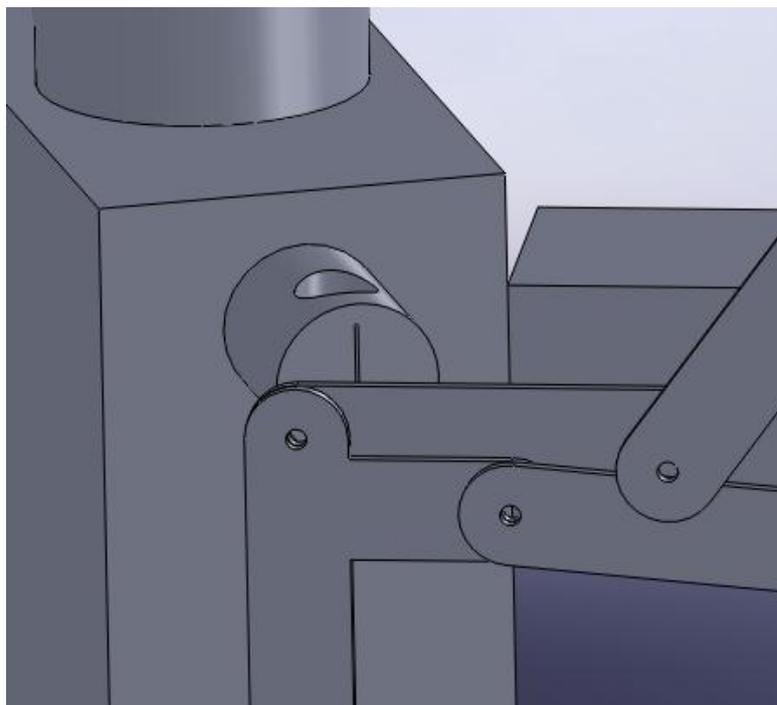


圖 4. 81(a) 肩膀轉軸上的長方形

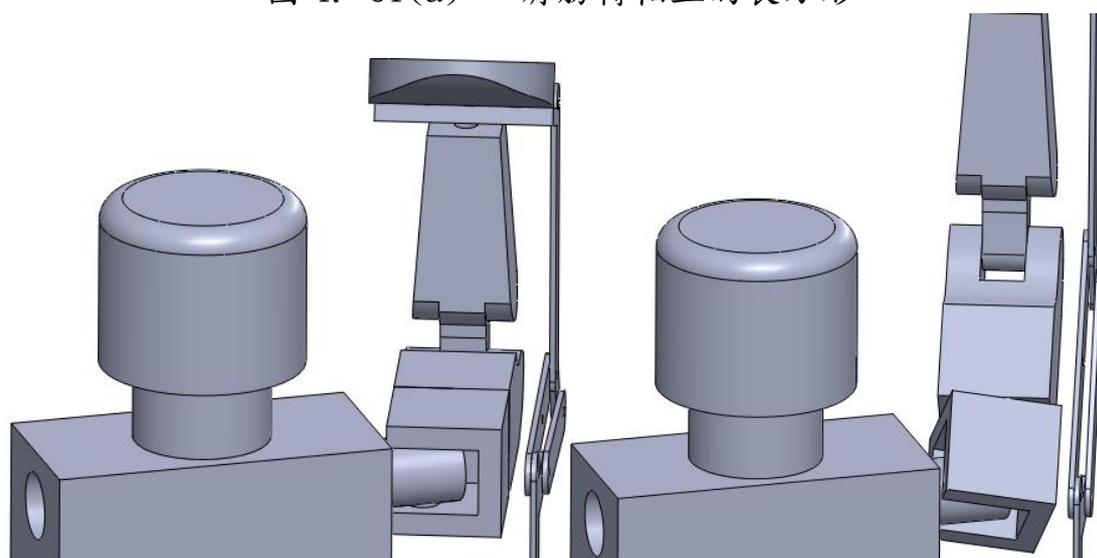


圖 4.81(b) 輔具與人體模型的干涉檢查

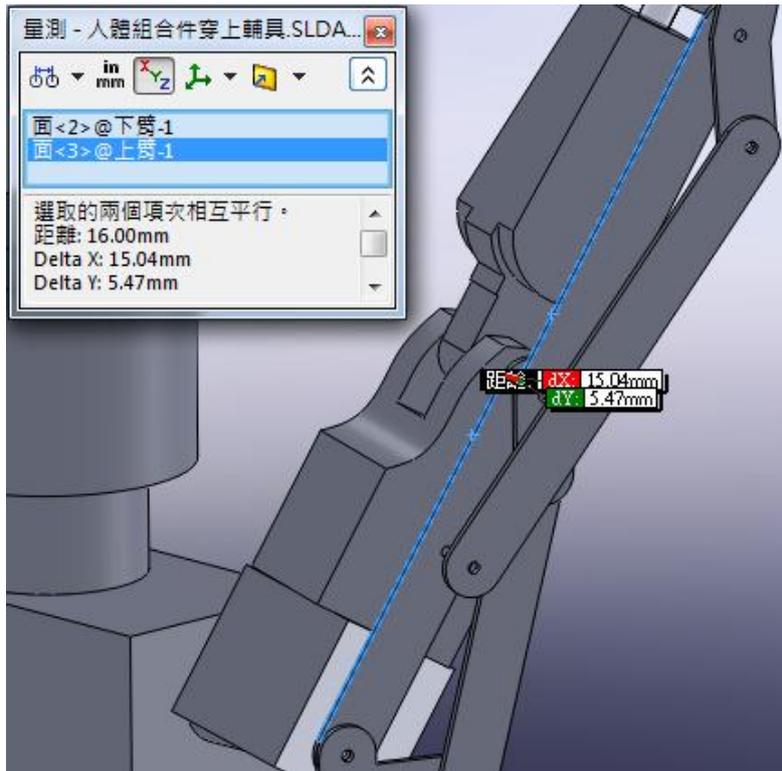


圖 4. 82 裝上輔具時上、下臂打直

由圖 4.83 可知肩膀轉動了： $90^{\circ} - 28.48^{\circ} = 61.52^{\circ}$

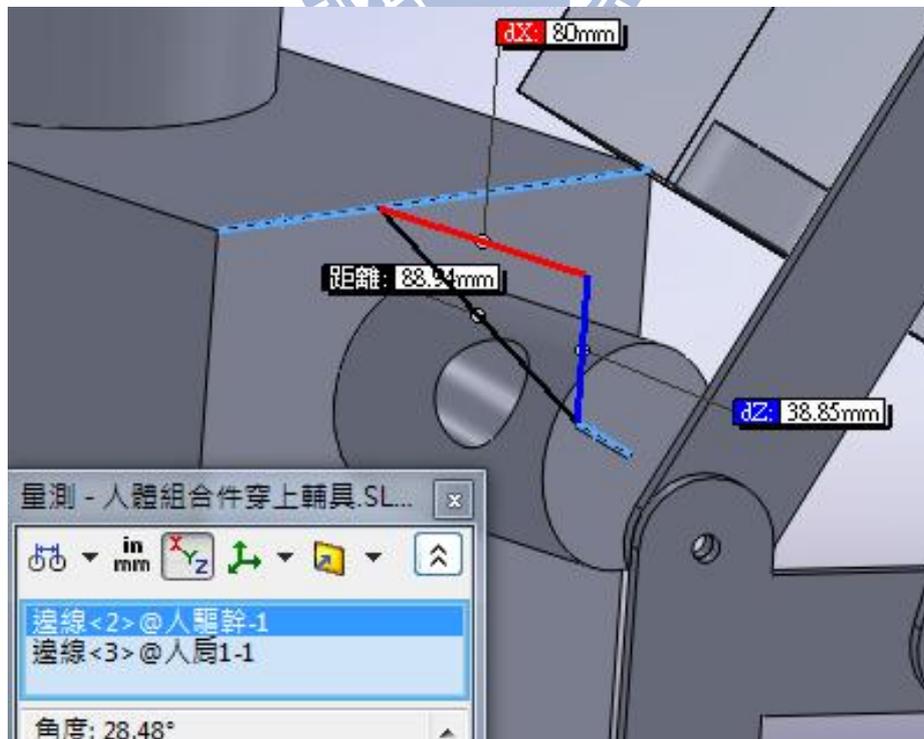


圖 4. 83 計算裝上輔具肩部轉動角度示意圖

裝上輔具投籃—3D 接觸設定

此設定會使得手掌的背部被桿件給頂住，然後就跟著一起被帶動。



圖 4. 84 裝上輔具投籃的 3D 接觸設定

裝上輔具投籃—動力設定：

肩部 — 逆時針轉 61.52° ，從 0s 到 0.133333s

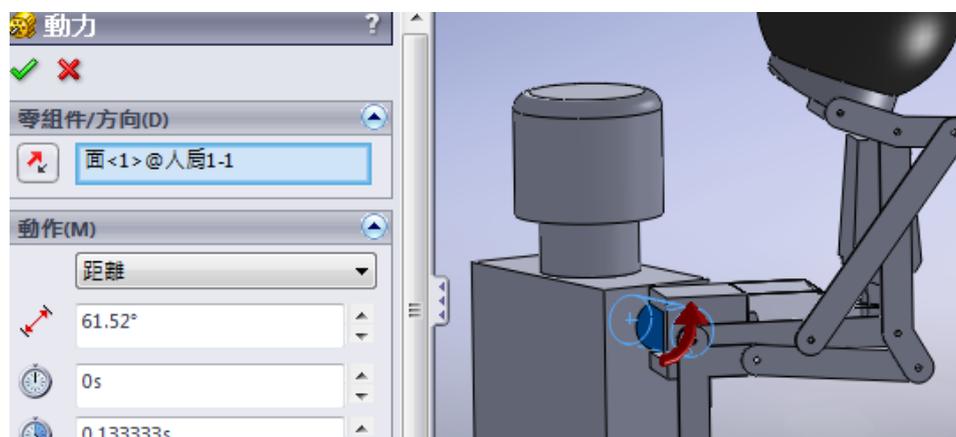


圖 4. 85 裝上輔具投籃的動力設定

裝上輔具投籃—模擬結果

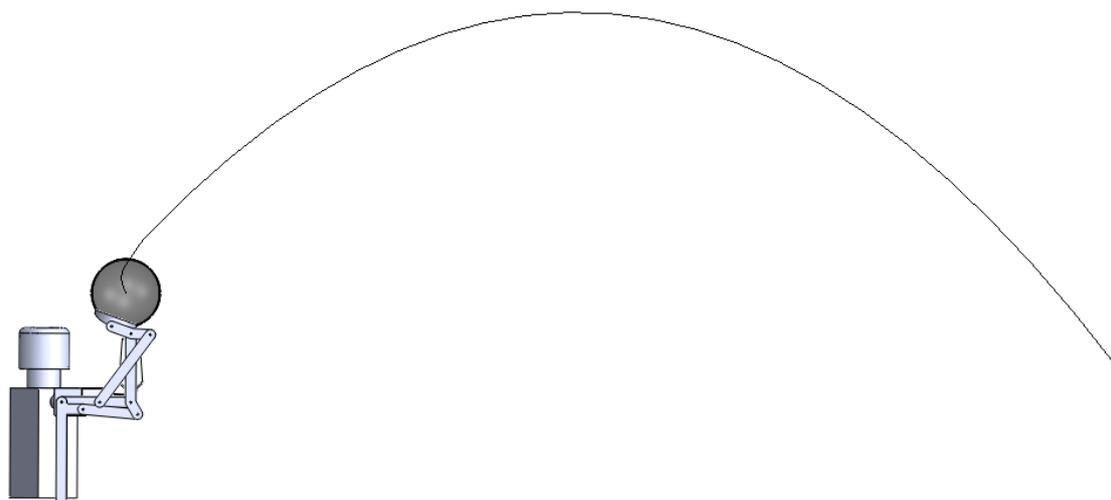


圖 4. 86 裝上輔具投籃模擬結果側視圖

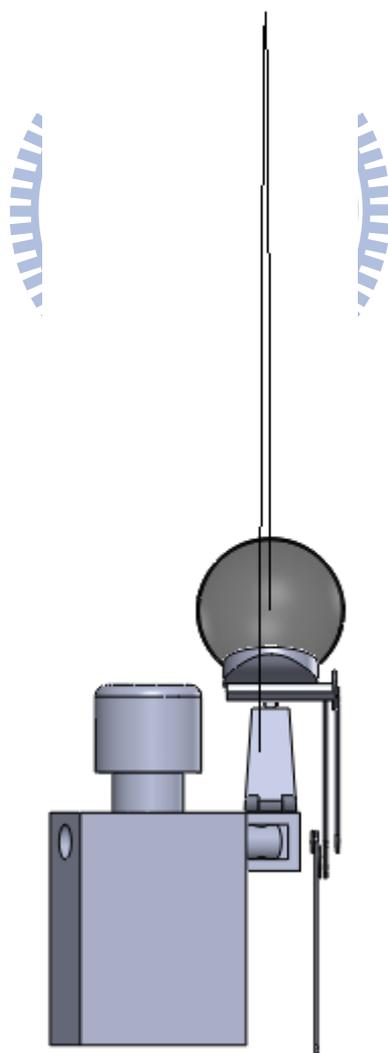


圖 4. 87 裝上輔具投籃模擬側視圖

從圖 4.87 來看，只能知道偏移的量也是很小，但是有沒有比 4.2.4 投籃動作四的還小，就得用 4.2.4 投籃動作四的模擬裡用的方法來求出。請參照圖 4.88，可知偏移量為 19 mm，比投籃動作四偏移的 33.1 mm 還少了 14.1 mm，若是加上腿部動力以後使得球的飛行距離更高更遠，想必兩者的偏移量的差距會差更多。而這便證明了裝上輔具以後，確實能使得球投出去的偏移更少，當然就能更容易進籃，也就能提高命中率了。



圖 4. 88 量測裝上輔具投籃模擬結果的球心偏移距離

裝上輔具投籃 — 各關節角速度數據

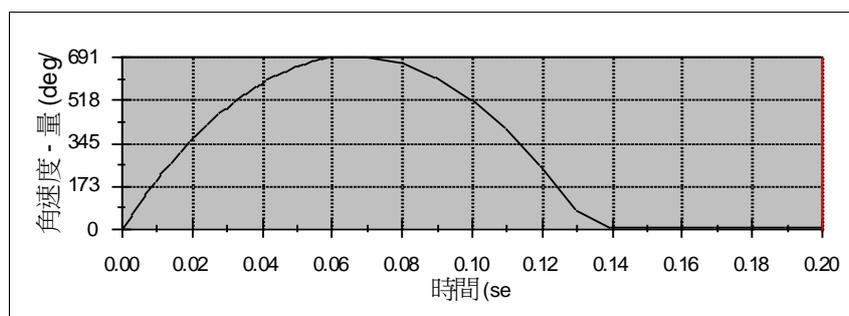


圖 4.89 裝上輔具投籃-肩部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

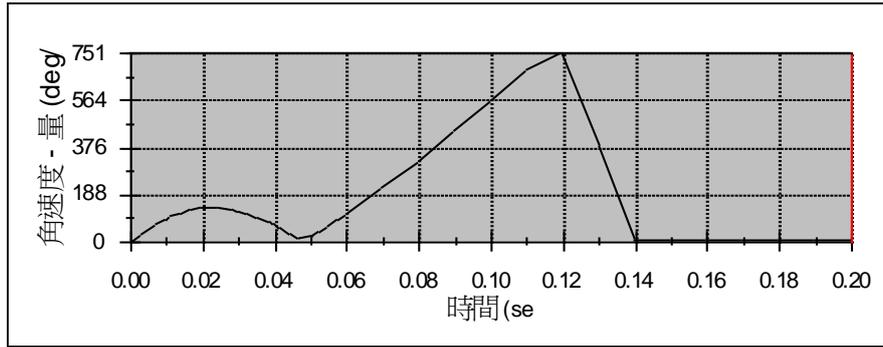


圖 4.90 裝上輔具投籃-肘部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

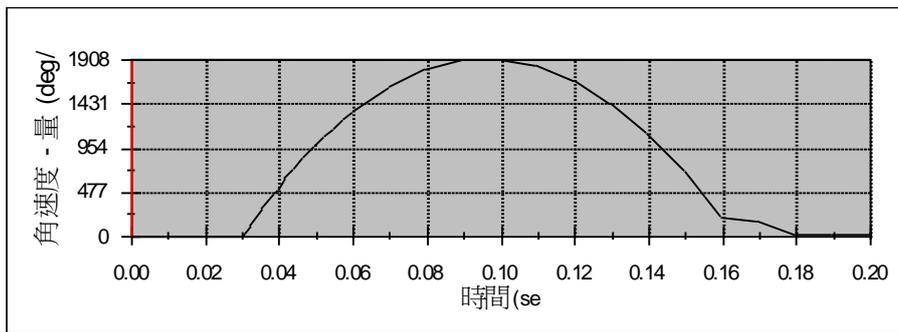


圖 4.91 裝上輔具投籃-肘部「角速度(deg/sec)-時間(sec)」關係圖

在裝上輔具以後，可以看出各關節的最大角速度，與李雲光[14]與湯文慈[15]量測的數據比較(參照表 4.1~表 4.5)，就只有差在肩部的部分(在 4.2.1 投籃動作一裡有提到是因為動作的不同造成)，肘部及腕部皆無多少差異。

裝上輔具投籃—球的路徑

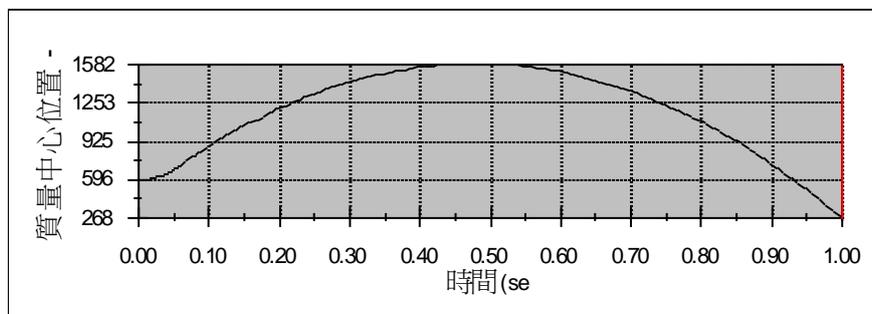


圖 4.92 裝上輔具投籃—Z 軸的「球心位置(mm)-時間(sec)」關係圖

最後為了確定穿上輔具是否有矯正到投籃動作(上臂、下臂、及手掌的動作必須在同一平面，表示它們的質量中心在 X 軸位置變化應一致)所以重新建構一次驅幹，將座標轉為與原本夾 20° ，見圖 4.93 及圖 4.94，然後重新組合，看看上臂、下臂、手掌的質量中心位置在 X 軸上的變化。未裝上輔具，然後做標準投籃動作(4.2.4 投籃動作四)的模擬，計算過後，得到上臂、下臂、及手掌的各個質心位置在 X 軸上的變化，見圖 4.95、圖 4.96、及圖 4.97。而裝上輔具後人的各個質心位置在 X 軸上的變化，見圖 4.98、圖 4.99、及圖 4.100。由這幾個數據圖很明顯可以出動作有沒有被矯正了

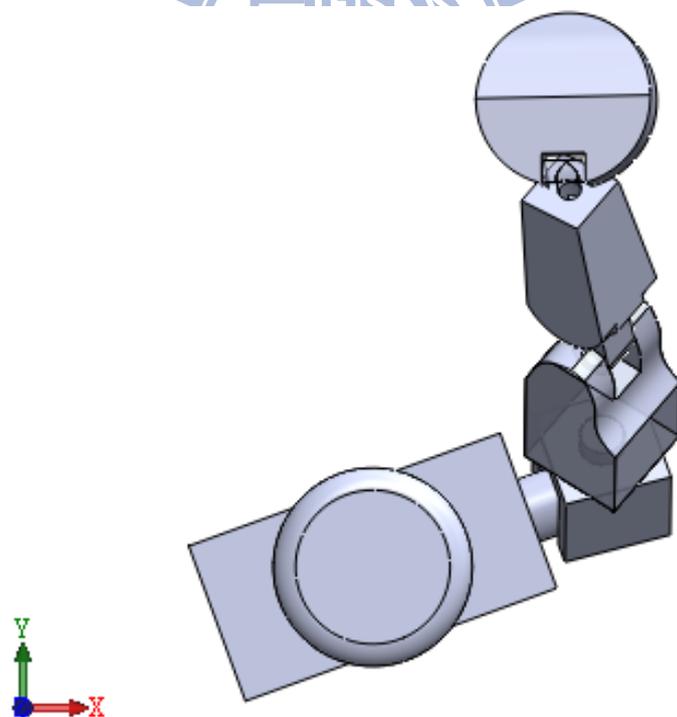


圖 4.93 座標順時針轉 20° 一人體模型

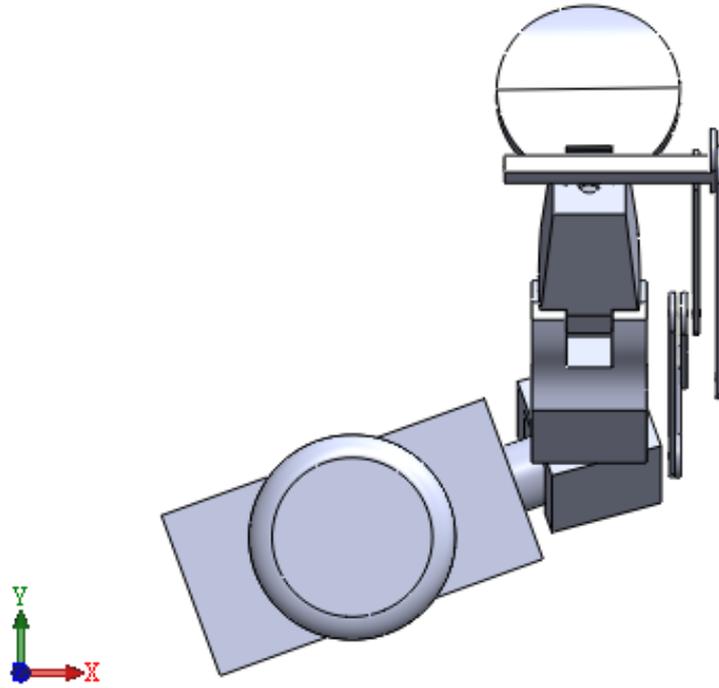


圖 4. 94 座標順時針轉 20°—人體模型裝上輔具

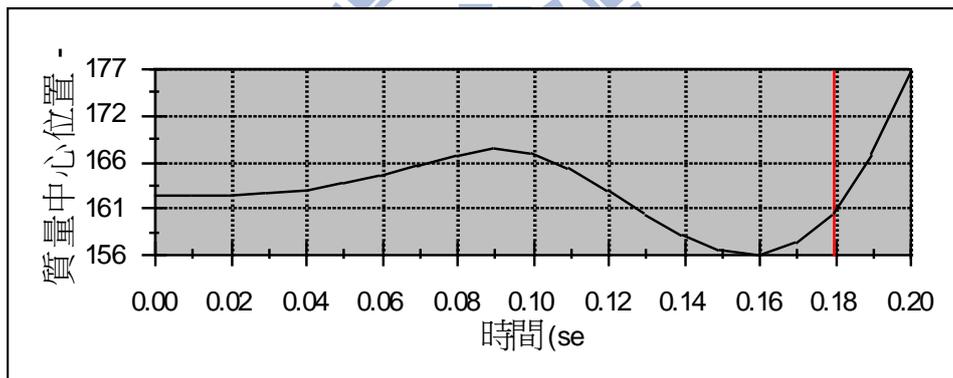


圖 4.95 標準投籃—X 軸的「上臂質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖

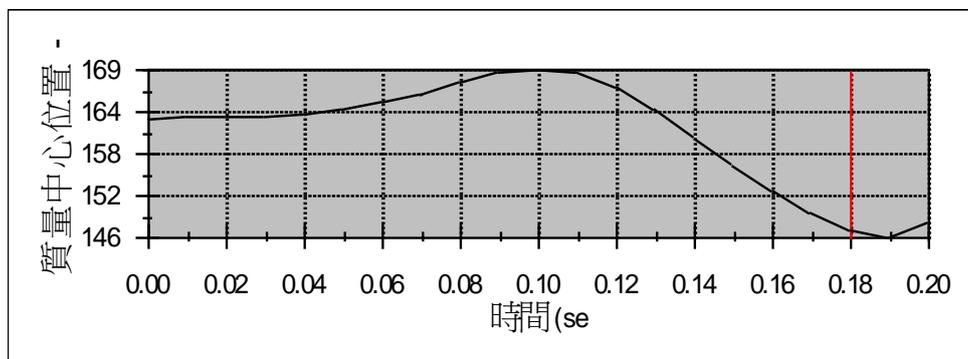


圖 4.96 標準投籃—X 軸的「下臂質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖

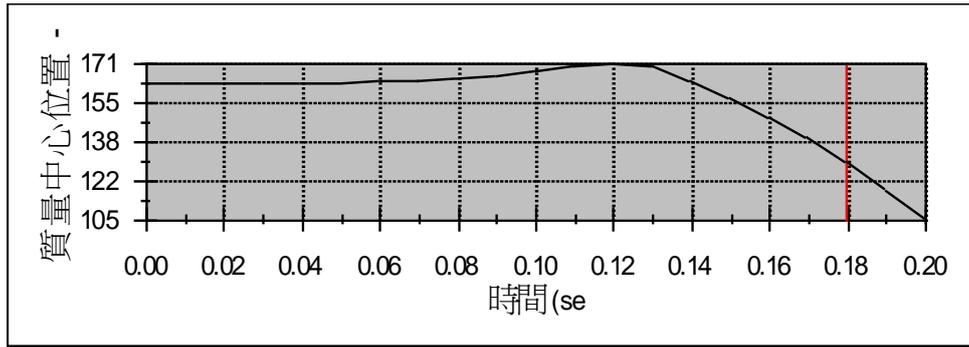


圖 4.97 標準投籃—X 軸的「手掌質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖

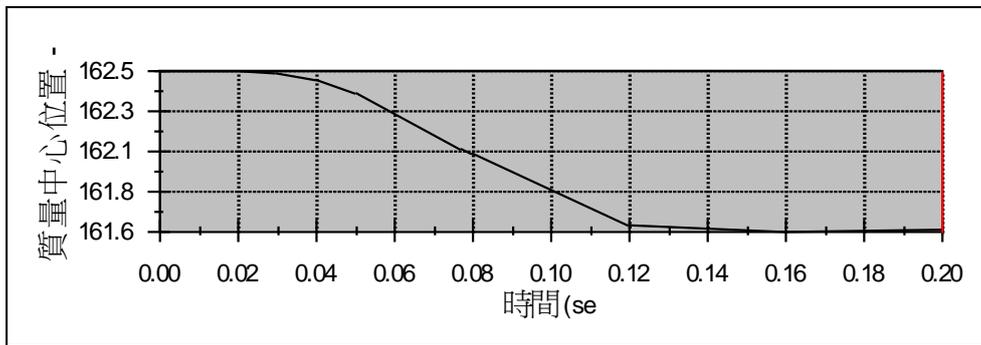


圖 4.98 裝上輔具—X 軸的「上臂質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖

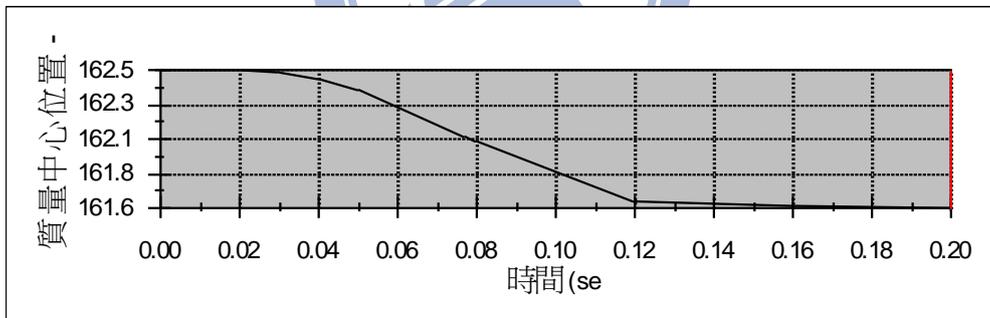


圖 4.99 裝上輔具—X 軸的「下臂質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖

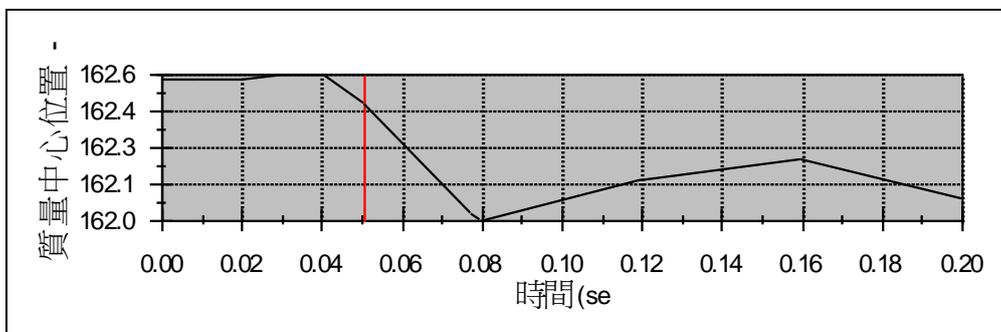


圖 4.100 裝上輔具—X 軸的「手掌質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖

很明顯可以看得出來，裝上輔具做投籃動作的模擬結果的上臂、下臂、手掌的質量中心在 X 軸的位置變化量，與標準動作投籃的模擬結果的上臂、下臂、手掌的質量中心在 X 軸的位置變化量，前者比後者還小很多。標準投籃動作模擬結果的上臂、下臂、手腕的質心變化量，都是超過了 20 mm；而裝上輔具後的模擬，就變小到小於 1 mm 了，所以證明輔具有矯正動作的效果。但是為何球還是會產生偏移呢？原因為：雖然已經將上臂下臂的動作限制在同一平面上，但是手掌部分只由擋板來推動、帶動，在此帶動的過程中，並無法限制其運動，在與上、下臂在同一平面上。由圖 4.98~4.100 便可看出，X 軸的「上臂質心位置(mm)-時間(sec)」、「下臂質心位置(mm)-時間(sec)」關係圖的曲線幾乎一模一樣，但是手掌部分就相差很多。這就是球還是會偏移一點點的原因。

未穿戴輔具投球，球剛離手的時候，量出球的速度為 3377 mm/s(參照圖 4.101)；而穿戴輔具投球時，球剛離手的速度為 3820 mm/s(參照圖 4.102)。如此看來，穿戴上輔具不僅使動作變標準、球的偏移量變少，還可以讓球的初速變快。在球剛離手時的方向皆為與地面夾 45° (參照圖 4.103)，所以有較快的初速的話，球就可以飛得較高較遠。

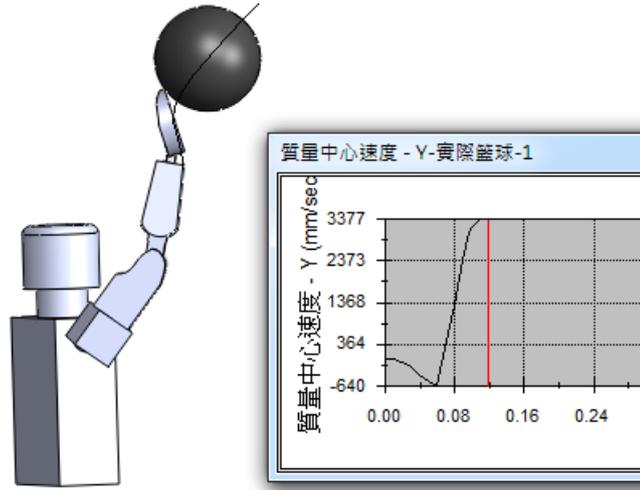


圖 4.101 未穿輔具投籃一球剛離手時的速度

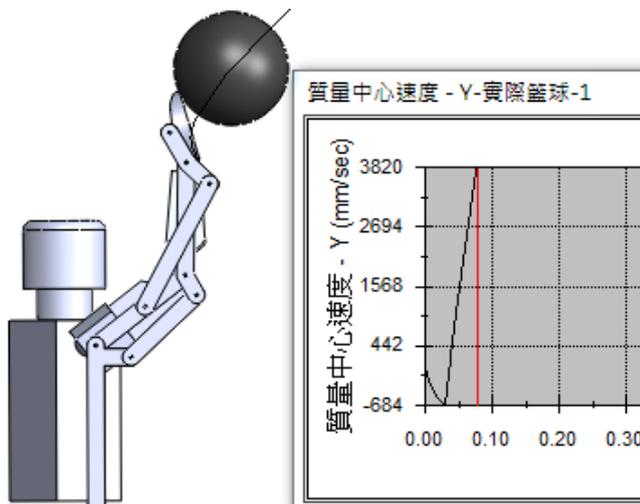


圖 4.102 穿輔具投籃一球剛離手時的速度

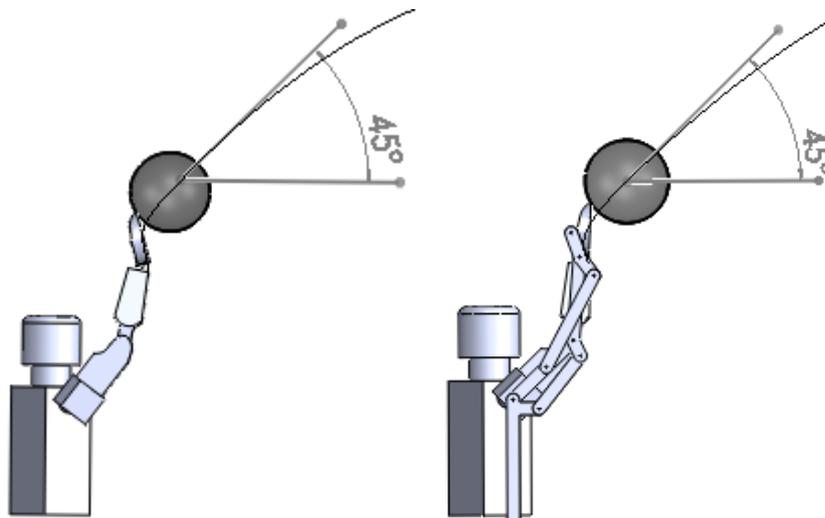


圖 4.103 未穿輔具投籃與穿輔具投籃一球剛離手時球與地面夾角

4.4 裝上輔具模擬罰球線投籃(投進)

(1)距離、高度設定：籃框與罰球線距離 4.6 m，籃框高度 3.05 m。

(2)動力設定：肩部逆時針轉 61.52° ，從 0s 到 0.06s，作動時間比

原本 0.133333 的一半還小

模擬結果：

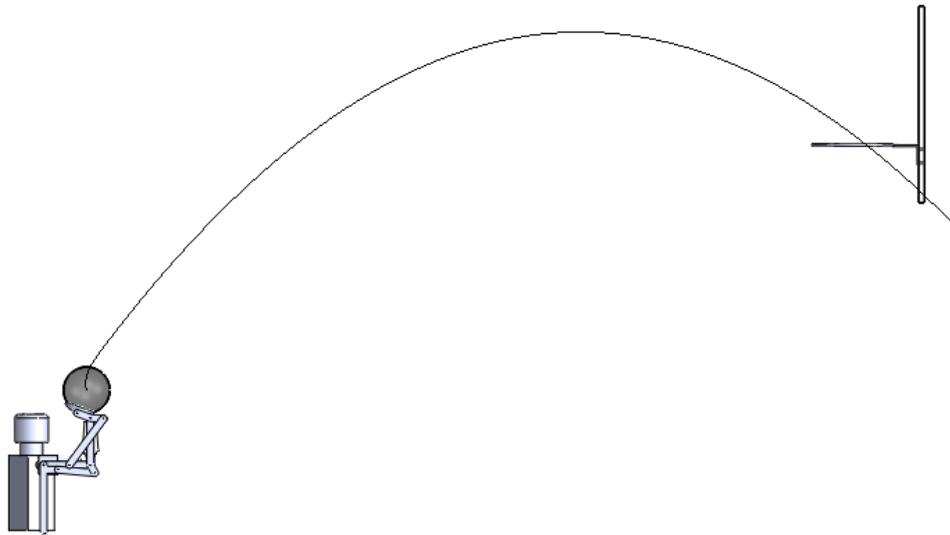


圖 4.104 裝上輔具模擬罰球線投籃(投進)一側視圖 1

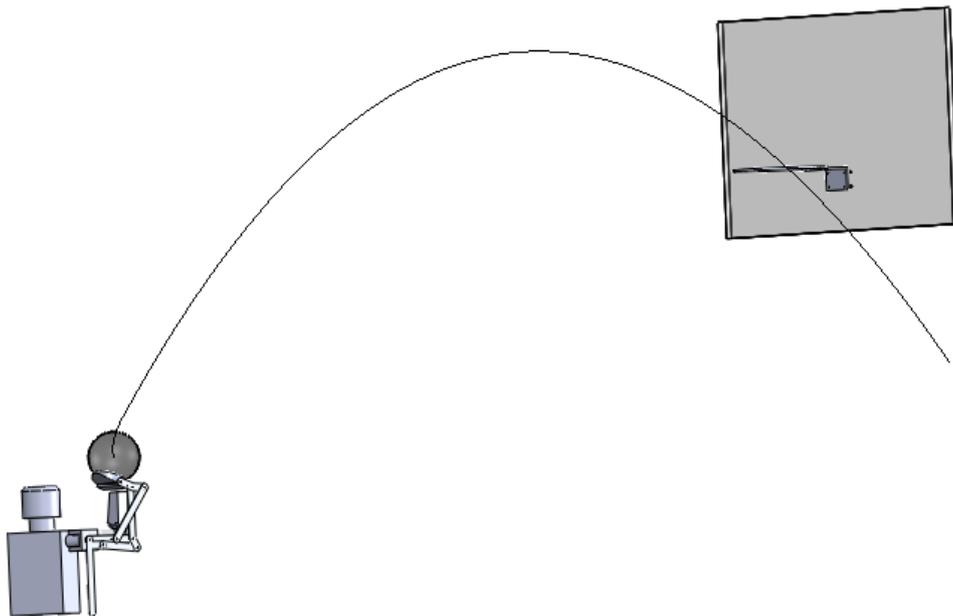


圖 4.105 裝上輔具模擬罰球線投籃(投進)一側視圖 2

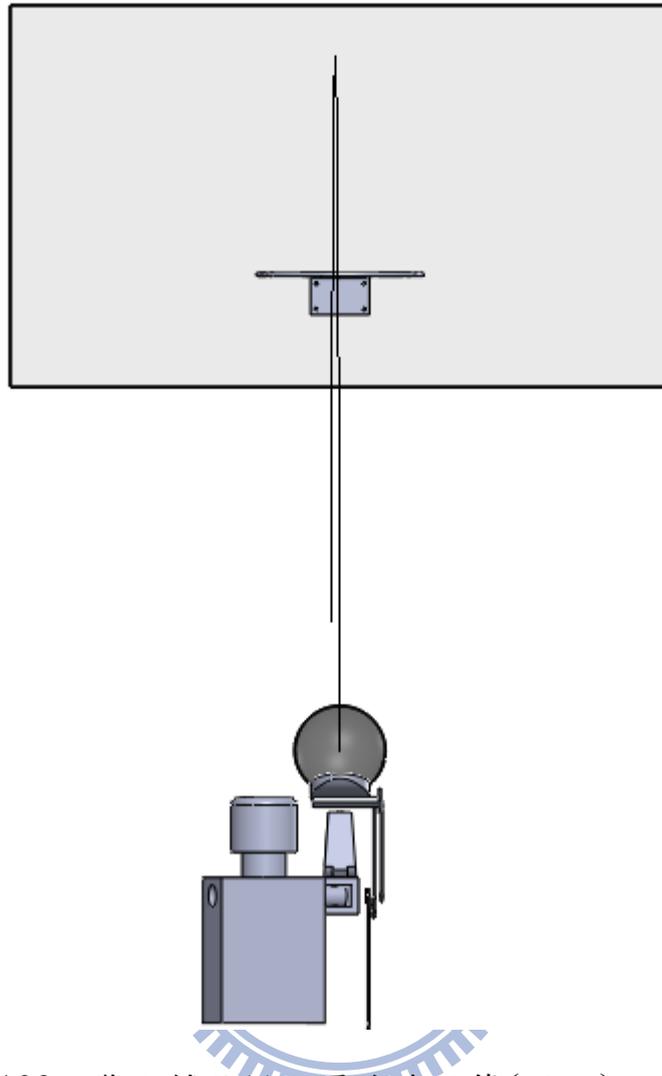


圖 4.106 裝上輔具模擬罰球線投籃(投進)—後視圖

由圖 4.104~圖 4.106 可以看出來球有投進籃框，但是這是在將肩部轉動角度改為 55° 的情況，以及作動時間改在 0.06 秒下，才投進的。雖然改為 55° ，但其實並不代表這次投球的動作不標準。因為平常投球動作也都是動作還未做完，也就是手肘還未打直，球已經離手了，然後再繼續作動將手打直。若是把這次投籃模擬比喻成現實的情況，就是手臂「出力」作動到手肘呈 55° 的時候，然後接下來再順勢繼續作動到手肘打直。

再來看看作動時間的部分，0.06 秒比現實中的投籃動作的時間—0.133333 秒的一半還少，這很明顯不合理，手臂要做這麼快速的動作想必肌肉要非常非常強壯。而且要這麼短的時間做完投籃動作，想必準度會降低不少，看看比賽中，時間剩最後一秒或是更少的時間搶投的球，命中率都很低，就能理解了。而會需要這麼短的作動時間，是因為沒有腿部的動力，若是有腿部的動力，手臂當然不用作動得這麼快速。而在現實當中，投籃動作也是靠著非常多的腿部的力量在投球的。



第五章 結論與未來方向

5.1 結論

本論文的研究目標為設計一個創新的投籃訓練輔助機構系統，用來幫助籃球初學者，或是已經接觸籃球一陣子、但動作不標準而想改進的人，使其可以練得標準的投籃動作，進而提升他們的投籃命中率。此輔具對於熱愛籃球運動的人、與職業籃球選手而言，非常具有經濟上的價值以及實際上的需要。

藉由第三章的機構合成，已設計出一隻可以限制手臂動作、一個自由度帶動手臂做出標準投籃動作的六連桿輔具。第四章先使用 SolidWorks 建構出自由度與人體相近的模型，再以 COSMOSMotion 做四種皆屬於標準投籃動作的動態模擬，最後從結果中辯別出哪一投籃動作的球的偏移量最小，便能確定哪一種才是最標準的投籃動作。然後第四章最後就再將輔具裝於人體模型上，同樣用 COSMOSMotion 做「最標準投籃動作」模擬，最後便發現了輔具確實有矯正動作的效果，因此投出去的球偏移量也更小，此代表著投出去的球更準確。

裝上此輔具能使得投出去的球的左右偏移量非常得小(不到 1 公厘)，但是球的能到達的高度及遠度，就得靠穿戴此輔具的人自行練習、調整了。有些人可能會認為，這樣不代表這輔具能幫助使用者變

準，因為使用者並沒有因為穿戴上此輔具而馬上球球命中。但是以本人對籃球訓練有著深厚的經驗，很清楚知道，若是在輔具肩部位置裝配一馬達(因為輔具為一自由度，所以只需要一個馬達)，使手臂被帶動而將球投進(請參照 4.4)，就如同將手臂綁在機器手上投籃而投進，這樣是不可能在使用者脫下輔具以後仍然能投進的。因為這樣就如同人的手臂是被一個自由度機器手的帶動而完成投籃，就算重復再多次，也不可能因此記住如何投進籃的，因為力量既然是馬達出的，而不是手臂自己出的，怎麼可能因此記住投進的動作和力道呢?而且在那麼快的速度下，手臂早就被連桿的帶動而拉傷了。我們可以想像，如果一個人穿上外骨骼機器腳，然後因此而能做出灌籃的動作，有可能在脫下此機器腳以後還能灌籃嗎?很明顯是不可能的，因為他本身就沒有那個肌力。所以使用者只要穿戴上本研究設計的輔具，自然地用上腿部的力量，進行訓練、調整，自然就能將投籃的命中率提升了。

5.2 未來方向

本論文中所模擬的過程，並未考慮空氣阻力，因此在未來方向上，將把空氣阻力的影響納入考慮，如此一來就更接近真實的情況。而在輔具設計方向，希望學弟妹們能做產品改良的研究，讓輔具更適合穿戴於人的身上；還有各個桿件要再改成能伸長縮短，幾個重要的

聯結軸也要改成位置可以調整的設計，這樣長比較高大、手比較長的人，或是比較矮小、手比較短的人，才能使用此輔具。當然，要怎麼調整聯結軸的位置，就參考手臂合成部分的 3.2.5 及手腕合成部分的 3.3.4，進行簡單的作圖，找出聯結桿的長度及聯結軸的位置，便可調整出適合每個人穿戴的尺寸。最後再進行實作。畢竟模擬的結果終究只是模擬而已，實際上本研究的輔具到底能不能幫助籃球選手增加投籃的準度，還是只有將本研究所設計的輔具實際地做出來，並找人測試，才能了解輔具的實用性。所以，若是時間上以及經費上能配合，便可以把本研究設計的輔具做出來。然後就可以真人的實際測試，例如請籃球隊的球員一起參與測試。尤其是要找投籃動作非常不標準且投籃準度低的人來測試，看是否有改進投籃動作不標準的人的動作，並且改進他們的投籃準度。

參考文獻

- [1] <http://www.jumpusa.com/bandit.html>, JumpUSA.comCo., Ltd.
- [2] T. Rahman, W. Sample, S. Jayakumar, M. M. King, J. Y. Wee, R. Seliktar, M. Alexander, M. Scavina, A. Clark, “Passive exoskeletons for assisting limb movement” , Journal of Rehabilitation Research & Development, Volume 43, Number 5, Pages 583 - 590, September 2006
- [3] T. Rahman, W. Sample, R. Seliktar, M. T. Scavina, A. L. Clark, K. Moran, and M. A. Alexander, “Design and Testing of a Functional Arm Orthosis in Patients With Neuromuscular Diseases” , IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineer, Volume 15, Number 2, June 2007
- [4] J. He , E. J. Koeneman, R. S. Schultz, H. Huang, J. Wanberg, D. E. Herring, T. Sugar, R. Herman, J. B. Koeneman, “Design of a Robotic Upper Extremity Repetitive Therapy Device” , Proceedings of the 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, July 2005
- [5] P. Garrec, J.P. Friconeau, Y. Méasson, Y. Perrot, “ABLE, an Innovative Transparent Exoskeleton for the Upper-Limb”

2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent
Robots and Systems Acropolis Convention Center Nice, France,
September 2008

- [6] 高天賜，「下肢輔助架的關節構造之改良」，**專利號碼：099822**
，民國 84 年。
- [7] 胥樹玲，「籃球投籃技術」，國立體育學院，國立體育學院教練
研究所技術報告書，民國 95 年。
- [8] 王人生，「談籃球運動不同方式投籃之力學分析」，台灣省體育，
第 63 期，19-23 頁，民國 81 年。
- [9] 李宇載，籃球絕技圖解手冊，星光出版商，民國 92 年。
- [10] “NBA basketball standard shot action handbook - Common
wrong shot action analysis and standards of shot action
(Pics and Details)” , FIFALIFE NBA Basketball Shot BLOG,
2008
- [11] 徐武雄，張勝翔，「常見籃球投籃實務之問題探討」，福爾摩沙體
育學刊 ，第一期，41-52 頁，民國 95 年。
- [12] 施翔，「提高投籃命中率的訓練方法」，常熟理工學院學報，第 2
期，第 21 卷，民國 96 年。
- [13] Robert L. Norton，Design of Machinery，謝慶雄，機構學，

台北市，麥格羅希爾，民國 89 年。

- [14]李雲光，「不同投籃姿勢各關節運動學分析」，台北市立體育學
球類運動學系，大專體育學刊，9卷4期，113-123頁，民國96年。
- [15]湯文慈，孫錦祥，黃奕銘，「優秀與一般籃球選手跳投動作之運
動學分析」，國立體育大學教練研究所，大專體育學刊，第11
卷第3 期69-79頁，民國98年。

