

感測器部署位置對游泳動作分析之影響

黃谷臣/淡江大學體育事務處

通訊作者：黃谷臣

服務單位地址：251 新北市淡水區英專路 151 號

電子郵件：tkuped@mail.tku.edu.tw

摘要

目的:使用感測技術來監測與評估運動表現時必須考量到活動類型、取樣頻率、配戴位置、濾波設定及儀器校正等，以確立儀器的準確與可信度。在游泳動作分析時大都將感測裝置固定於手臂肢段上來收集動作資訊，然而以游泳動作而言，手掌才是主要推進的關鍵部位。因此，本研究透過實驗的方式來探究不同位置感測器對於游泳動作分析的影響。**方法:**共有 3 位大學游泳選手參與實驗，分別於右手手掌及腕關節上方部署慣性感測器，並在陸上模擬游泳四式的手部動作，以自行開發的動作資訊擷取系統來讀取感測讀數，藉以分析兩具感測器讀數間的差異。**結果:**(一)手掌部位的感測資料在捷泳 X 軸、Z 軸及仰泳 Z 軸的峰值，明顯大於手臂部位的感測資料 ($p < .05$)。(二)由波形範圍的比較中發現，手掌部位的感測資料除了蛙泳 Y 軸的資料上未達顯著差異外，其餘各式泳姿的三軸感測皆大於手臂的感測資料。(三)在波形週期的比較中發現，兩個感測位置間沒有差異。**結論:**手掌位置的感測資料具有較大的振幅及峰值，波形辨識效果較佳，以感測裝置來分析游泳動作時不應忽略手掌部位感測資料的重要性；捷泳與仰泳的最大峰值在 Z 軸，而蛙泳與蝶泳的最大峰值在 Y 軸，以波形閾值進行相關分析時，應慎選相關軸向的資料進行分析。

關鍵詞:最大峰值、波形週期、感測波形

壹、緒論

運動資訊的發展隨著微機電感測技術與資訊平台的結合，多樣化的商品被開發出來，這些高靈敏度、體積小，攜帶方便的感測器，因種類繁多，在體育運動領域的應用越來越多元。然而，感測器的準確度及資料可信度一直是使用者疑慮的地方，Bassett, Rowlands, 與 Trost (2012) 認為感測器是需要不斷的校正與驗證來充實準確度，才能更清楚的表徵運動的現況，特別是使用在身體活動中，儀器的準確度更關係著後續的資料判讀與應用。相子元 (2009) 指出使用的族群、活動類型、取樣頻率、配戴位置及濾波設定等都可能影響資料的正確性，所以，在使用感測器作為相關研究與應用時需要更謹慎。以感測技術監測與評估運動表現已成為運動科學的新趨勢，感測元件具有高靈敏性且能忠實記錄動作訊息，可藉以了解動作間細微的變化及探索相關參數包括波形週期、時間軸、振幅大小等(黃谷臣、呂子修、潘孟鉉、陳五洲，2015)，進而調整優化動作內容，提升運動表現。

游泳運動的主要推進力取決於划手動作，牽涉到水流穩定、手掌的攻角、干擾阻力等流體力學的相關參數，甚至於動作結構、效率也都是教練和選手關注的議題，過去的研究大多以影像分析為主，透過水中錄影方式觀察的水面下動作，但往往因游泳過程中所產生的氣泡或肢段動作所造成的視覺遮蔽現象，而影響到觀察結果。Ohgi, Ichikawa, Homma, 與 Miyaji (2003) 嘗試以感測技術解決這樣的問題，其研究將加速度計封裝於防水盒內，並固定在游泳者手臂上以取得划手之感測資料，藉以蒐集游泳行為的技術參數及分析動作波形特徵；隨後Davey, Anderson, 與 James (2005) 也使用類似的方式來取得游泳者之三軸加速度動作之感測數據，並設計相關的演算法來計算游泳者的划手次數；隨著感測元件的精進與普及，陸續有學者將感測器應用於游泳動作分析上，而形成一股風潮 (Dadashi, Crettenand, Millet, & Aminian, 2011; Dadashi, Millet, & Aminian, 2014; Hagem, O'Keefe, Fickenscher, & Thiel, 2013; 陳俊宏，2012；黃谷臣等，2015)。

在分析游泳動作時，常以感測資料內的波峰值 (peaks) 是否達到所定義的門檻值，來判定划手週期或計算划手次數，並可因此推導出划手頻率、划幅即划手效能等參數 (Dadashi et al., 2011; Siirtola, Laurinen, Röning, & Kinnunen, 2011)，但在研究使用的方法及部署位置則有些差異；例如Bächlin 與 Tröster (2012) 在游泳者的手臂、背及腰上各設置一組感測器，藉以偵測游泳動作訊號，並以手臂感測器的Y軸波形來計算划手次數及划頻等。Hagem等人 (2013) 同樣使用手腕上的加速度感測器分析游泳動作，他們在分析波形時發現，Y軸數值的最大值發生於手臂向前入水時，而最小值在回復手臂之時，所以利用Y軸感測數值的最大值或最小值來分析划手頻率。Slawson等人(2008)則以游泳者腰部感測器的Y軸波形來分析蛙泳划手次數，並指出透過不同運動軸向參數的設定，可藉此探討波形的振幅、波長、範圍、波形輪廓等的分析，進而辨識泳姿及運算划手頻率等。Daukantas, Marozas, 與 Lukosevicius (2008) 則觀察划手時身體轉動的特性，所以將加速度感測器置於游泳者的背上，以Z軸的波峰值作為評估划手次數的元素。Stamm, James, 與 Thiel (2013) 也以捷泳軀幹轉動的特性，但分析的部位改為腰部X軸加速度感測資料作為評估划手次數的依據。

游泳時手臂與手掌的推進力是一個相當重要且複雜的機制，時至今日，學者們嘗試做了許多嚴謹的實驗，尚無法完全解釋這個現象 (Bixler & Riewald, 2002)；許多研究指出手掌部位的角度與面積才是主要影響游泳效能的關鍵(Abel, Antonio, Luis, Jorge & Francisco, 2006; Farzin et al., 2013)；Daniel等人 (2009) 以電腦斷層掃描建立手的解剖模型，採用電腦模擬穩定流體的狀態下，探討游泳時手的攻角與拇指位置對於升力與阻力的影響，研究結果顯示手掌的攻角關係著游泳推進的效能，甚至拇指內縮與外展也會有升力與阻力的效果。鐘祥賜與蕭秀萍(2004)從動力鏈的角度指出，肢段末端的速度將是決定運動表現的重要因子，游泳時手掌是動力鏈的末端，是影響游泳表現的關鍵；然而，自Ohgi等 (2003) 所作的研究開始，都將感測裝置固定於手腕上方，而非佈署於手掌關鍵位置上，可能導因於研究設備體積較大或設置固定上的困難。但由於肢段結構的限制，手腕與手臂的傳動與轉動並非一致，除了Bixler與Riewald (2002)的研究中特別將手掌與手臂的攻角提出來做討論外，多數的研究皆將兩者視為一體，但事實上可以發現手掌與手臂的波形振幅不同，手掌部位的轉動角度與擺動幅度皆大於手臂，且動作觸發的時間軸可能也不相同。在相關的研究中也發現感測器配置的位置會因泳姿特性而有所差異，資料分析時也有不同的選擇，但何者才是真正影響划水效能的關鍵？不同部位感測資料的運算結果是否會因波形週期或振幅大小而影響動作分析的結果？我們將嘗試比較不同位置的感測資訊在游泳動作分析上的差異，以尋找提供準確訊號的資訊擷取模式。

貳、方法

一、研究對象

本研究以3名大專游泳選手為受試對象，受試對象因長期接受游泳訓練，能穩地重複操作游泳技能。

二、研究工具

使用2具內置慣性感測器的行動裝置，搭載 Android 作業系統，加速度感測器最高可以量測到16G力，量測值誤差範圍為0.09%，以自行開發的Java程式來擷取感測資料，資料擷取頻率設定為100Hz。黃谷臣等人(2015)以該研究工具重複量測划手頻率的方式來考驗研究工具之信度，得到組內相關係數 (intraclass correlation, ICC)為 .965，顯示該研究工具所量測之數據具有極高的信度。

圖1為感測器與陀螺儀感測器之三軸軸向圖，圖中X、Y、Z分別代表加速度感測器之軸向，其中往X、Y、Z箭頭方向移動會帶來負加速度感測數值，加速度感測數值單位為公尺/秒²。

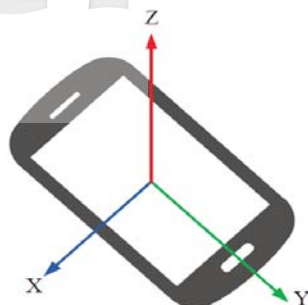


圖1 感測器之三軸軸向圖

三、研究步驟

本研究主要分析不同位置的感測資料對於游泳動作分析的影響，實驗設備固定於受試者右手掌及手臂上，手掌部分與掌根貼齊，手臂部分則參照Ohgi等(2003)人的研究固定於腕關節與肘關節之中點。受試者被要求同時配戴兩具感測器，進行陸上划臂動作，依序為捷泳、仰泳、蛙泳及蝶泳，各式泳姿分別進行5次的划臂動作，每次划臂動作要求動作一致且完整，兩個行動裝置的資料以起始動作時間軸同步。器材固定位置如圖2，實驗操作如圖3所示。



圖2 實驗設備固定位置

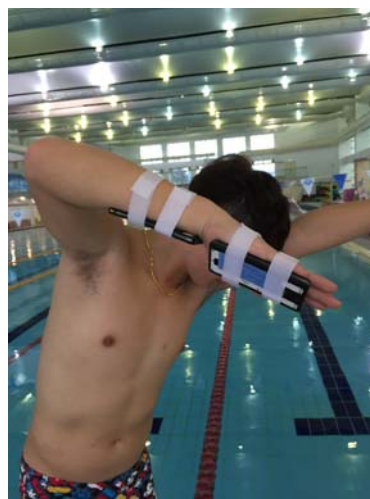


圖3 實驗操作示意圖

四、資料蒐集與處理

- (一)感測數據收集：為降低原始感測數據的雜訊干擾，以指數移動平均來進行濾波 (low pass filter)，濾波加權權重 (w) 為0.9，任一感測數值 $ati = ati-1 \times (1-w) + ati \times w$ ；時間資料記錄至毫秒(millisecond)，以Excel軟體來繪製各軸向之感測數據與時間之關係圖。本研究使用經過濾波後的感測數值來進行相關分析。
- (二)感測數據圖形切分：由於各式泳姿的陸上划臂動作各實作5次，感測波形將呈現四組

各5段的波形圖，因此可以清楚判別單一姿勢的起點，並以同一姿勢的週期性動作，判讀分析波形並予以切分(如圖4)。

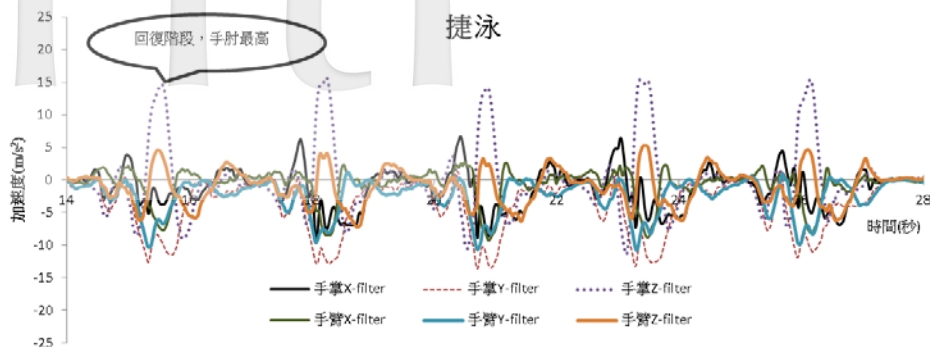


圖4 不同位置感測器之捷泳三軸加速度圖形

五、資料分析

將感測資料圖形化後進行下列處理:

- (一)波形峰值(peak):基於相關文獻中以設定波形閾值的方式進行分析，因此本研究針對不同位置感測器各軸向之波形峰值進行討論，由於各軸向的感測資料並非全是正值，所以取絕對值進行比較。
- (二)波形範圍(range):取單一動作週期之感測資料，計算由原點向上(波峰)與向下振幅(波谷)的差值，分別得到手掌的波形範圍(R_{hand})與手臂的波形範圍(R_{arm})。

$$R_{hand} = \sum |P_{hand(max)} - P_{hand(min)}|$$

$$R_{arm} = \sum |P_{arm(max)} - P_{arm(min)}|$$

- (三)波形週期(wave period):以單一划手動作之起終點的時間軸來計算分別得到手掌單划手的波形週期(W_{hand})與手臂的頻率(W_{arm})
- (四)將所得波形峰值、波形範圍及波形週期等資料依各式泳姿進行運算取其平均值，比較不同感測位置在相關參數上的差異。
- (五)本研究將兩種不同位置量測資料進行比對與統計分析；統計分析以IBM Spss Statistics 18.0版來進行，顯著水準訂為 $\alpha = .05$ 。

參、研究結果

一、不同位置感測器最大峰值的差異

將感測資料依動作週期切割後，在每個姿勢中分別找出五個划手動作周期的峰值(peaks)，取各式泳姿峰值平均值加以分析，並以成對樣本 t 檢定進行分析所得結果，如表 1。

表 1 不同感測器在各式泳姿之峰值成對樣本 t 檢定摘要表

軸向	泳姿	手掌感測器	手臂感測器	t 值
X 軸	捷泳	6.42±1.20	3.57±1.66	6.565*
	仰泳	7.83±2.04	3.68±0.95	2.760
	蛙泳	8.41±1.44	6.32±2.88	1.478
	蝶泳	9.34±1.50	7.39±2.21	2.392
Y 軸	捷泳	0.16±0.63	0.43±0.75	-0.364
	仰泳	0.97±1.74	3.01±1.19	-1.199
	蛙泳	-0.74±1.56	0.70±1.42	-1.866
	蝶泳	-0.88±1.88	-1.61±2.01	0.612
Z 軸	捷泳	13.25±1.72	2.88±1.48	61.339*
	仰泳	13.06±1.92	5.30±1.23	7.740*
	蛙泳	9.47±2.52	4.57±0.98	2.827
	蝶泳	13.97±3.39	8.03±0.96	2.360

*, $p<.05$

表 1 顯示，兩個位置的感測資料，X 軸部分在捷泳呈現顯著差異($t=6.565, p<.05$)，手掌的加速度感測資料之峰值明顯高於手臂的感測資料，代表手掌向內或向外改變動作方向時產生的加速度明顯大於手臂。Y 軸的四個泳姿，兩個位置的感測峰值間沒有差異，在 Z 軸則發現捷泳($t=61.339, p<.05$)及仰泳($t=7.740, p<.05$)兩個泳姿的感測資料達顯著差異，手掌位置的加速度峰值明顯大於手臂位置。

二、不同位置感測器在各式泳姿之波形範圍間的差異

以感測器之單一波形之極大值與極小值之差值來計算波形的範圍，結果如表 2。

表 2 不同感測器在各式泳姿的波形範圍成對樣本 t 檢定摘要表

軸向	泳姿	手掌感測器	手臂感測器	t 值
X 軸	捷泳	15.18±3.24	12.36±2.58	3.217*
	仰泳	20.95±2.31	14.13±1.87	14.902*
	蛙泳	15.54±3.61	12.01±4.04	2.927*
	蝶泳	21.23±5.01	18.33±3.26	3.979*
Y 軸	捷泳	13.91±3.15	11.38±1.25	3.205*
	仰泳	12.31±1.60	10.73±1.60	2.513*
	蛙泳	16.80±2.83	16.00±2.95	1.371
	蝶泳	20.65±2.97	14.53±5.63	8.182*
Z 軸	捷泳	22.62±2.67	8.90±1.19	17.859*
	仰泳	18.90±2.44	11.31±1.54	10.666*
	蛙泳	18.02±4.96	9.63±3.92	10.516*
	蝶泳	24.92±2.56	16.73±3.19	6.789*

*, $p<.05$

從表 2 的波形範圍中可以發現除了在蛙泳的 Y 軸感測資料沒有顯著差異外($t=1.371$, $p>.05$), 其他各軸向在手臂與手掌間的波形範圍在各泳姿間皆達顯著差異, 手掌部位所擷取的加速度資料明顯大於手臂位置, 此也符合動力鏈的原則(鐘祥賜、蕭秀萍, 2004), 肢段末端的速度將是決定運動表現的重要因子, 因此在游泳技術分析時, 不應忽略手掌才是影響游泳表現的關鍵。

三、不同位置感測器在波形週期間的差異

取 X 軸動作起終點所經過的時間, 視為一個波形週期亦即為划手週期, 以五個划臂動作之週期平均值, 比較不同感測器在週期間的差異, 結果如表 3。

表 3 不同感測器在各式泳姿之波形週期成對樣本 t 檢定摘要表

波形週期	手掌感測器	手臂感測器	t 值
捷泳	2.54±0.32	2.49±0.27	1.637
仰泳	1.81±0.43	1.80±0.73	1.732
蛙泳	2.44±0.62	2.40±0.56	0.909
蝶泳	1.43±0.12	1.42±0.14	0.918

表 3 為感測資料在各式泳姿的波形週期之比較, 在各式泳姿間, 兩個感測位置所得的資料沒有顯著差異。

肆、討論與結論

一、討論

(一)各泳姿最大峰值的比較

由不同位置的感測資料之峰值發現, 捷泳在 X 軸與 Z 軸兩個軸向, 手掌部位的感測資料明顯大於手臂感測資料, 兩者間達顯著差異; 仰泳動作在 Z 軸軸向上呈現明顯差異。由 Z 軸的變化皆達顯著差異而言, 意味為捷泳與仰泳兩個動作型態的特性, 手掌在動作中所產生的加速度明顯大於手臂。

我們由動作波形解析中發現捷泳的最大峰值出現在 Z 軸, 在推水完成後的回復動作階段, 由圖 4 可以看出 Z 軸的波形辨識效果佳, 因此若以設定波形閾值來計算划手次數時, Z 軸的感測資料將會有較佳的效果。Daukantas 等(2008)也是使用 Z 軸資料來評估划手參數, 不過該研究係以背部的加速度感測器為主, 強調身體轉動的特性。然而, Bächlin 與 Tröster (2012) 及 Hagem 等(2013)分別使用手部感測資料, 皆使用 Y 軸的感測資料來進行相關分析。該研究解析動作特徵後發現, Y 軸數值的最大值發生於手臂向前入水時, 而最小值在回復手臂之時, 所以以 Y 軸感測數值的最大值或最小值來進行相關研究。

Slawson 等人(2008)認為分析游泳動作波形參數必須依動作特徵來解析, 並選擇不同軸向的資料來加以分析。我們解析三軸波峰資料發現, 在捷泳與仰泳的最大峰值出現在 Z 軸, 而蛙泳與蝶泳則以 Y 軸的峰值最大。因此, 以使用波形閾值來分析划手參數可依泳姿選擇不同軸向的感測資料, 以避免造成誤判。

(二)不同感測器在各式泳姿之波形範圍的比較

本研究取單一划手動作中，波形之向上與向下振幅的差值，分別得到手掌與手臂的波形範圍資料，並以成對樣本 t 檢定來比較兩個感測器在各式泳姿間的差異。表 2 的統計結果顯示在各式泳姿中僅有蛙式 Y 軸的資料上沒有達顯著差異外，其餘各式泳姿的三軸資料皆顯示，手掌的感測資料範圍較大，代表整體加速度值也較高，此外也具有較佳的辨識性(Abel et al., 2006; Bixler & Riewald, 2002; Daniel et al., 2009; Farzin et al., 2013)。因此，在探討游泳技術參數時不可忽略手掌這一個重要的關鍵。

(三)不同位置感測器在波形週期間的差異

由於動作型態的差異，在波形圖中可以發現觸發波形變化的時間軸上有落差，手臂感測器的動作觸發時間似有延遲的現象，所以我們以單一划手動作之起終點所經過的時間軸，來比較兩個感測器在划手週期上是否有差異，由於所有軸向皆為同步資料，所以取 X 軸的資料進行分析，各式泳姿的五個划手週期的平均值，進行成對樣本 t 檢定。表 3 的資料顯示兩個感測器在各式泳姿的划手週期沒有差異，因此，評估划手週期時，無論使用手掌或手臂感測器皆具有相同的效果。

二、結論

本研究以內建慣性感測器的行動載具為工具，藉由部署不同位置感測器所擷取的資料進行分析，獲致以下結論：

- (一)手掌位置是游泳動力鏈的末端，在動作效能上更具有代表性，手掌位置的感測資料具有較大的振幅及峰值，除具有較高加速度值外，波形辨識效果也較佳，未來以感測裝置來探究游泳技術時不應忽略此一重要關鍵。
- (二)本研究結果顯示捷泳與仰泳的最大峰值出現在 Z 軸，而蛙泳與蝶泳則以 Y 軸的峰值最大，以波形閾值進行相關分析時，可依泳姿選擇不同的軸向資料進行分析。

參考文獻

1. 相子元 (2009)。運動生物力學之趨勢。華人運動生物力學期刊，1(1)，52-55。
2. 陳俊宏 (2012)。微機電感測器系統運用於捷泳動作分析。未出版碩士論文，樹德科技大學，高雄市。
3. 黃谷臣、呂子修、潘孟鉉、陳五洲 (2015)。慣性感測器運用在游泳姿勢分析。大專體育學刊，17(3)，303-316。 doi:10.5297/ser.1703.005
4. 鐘祥賜、蕭秀萍(2004)。上肢投擲動作之開放式動力鏈理論探究。中華體育季刊，18(1),52-59。DOI：10.6223/qcpe.1801.200403.1808
5. Abel, R., Antonio, S., Luis, L., Jorge, R. & Francisco, A.(2006) The effect of swimmer's hand/forearm acceleration on propulsive forces generation using computational fluid dynamics. *Journal of Biomechanics* 39 . 1239-1248.
6. Bächlin, M., & Tröster, G. (2012). Swimming performance and technique evaluation with wearable acceleration sensors. *Pervasive and Mobile Computing*, 8 (1), 68-81.
7. Bassett, D. R., Jr., Rowlands, A., & Trost, S. G.(2012). Calibration and validation of wearable monitors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(1S), S32.

8. Bixler, B.; Riewald, S.(2002) Analysis of a swimmer's hand and arm in steady flow conditions using computational fluid dynamics. *Journal of Biomechanics*, 35, 713–717.
9. Dadashi, F., Crettenand, F., Millet, G., Seifert, L., Komar, J., & Aminian, K. (2011). Front crawl propulsive phase detection using inertial sensors. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 11 (2), 855-858.
10. Dadashi, F., Millet, G. P., & Aminian, K. (2014). Estimation of front-crawl energy expenditure using wearable inertial measurement units. *IEEE Sensors Journal*, 14 (4), 1020-1027.
11. Daniel A. Marinho, Abel I. Rouboa, Francisco B. Alves, João P. Vilas-Boas, Leandro Machado, Victor M. Reis, António J. Silva (2009) Hydrodynamic analysis of different thumb positions in swimming. *Journal of Sports Science & Medicine*.8(1), 58–66.
12. Daukantas, S., Marozas, V., & Lukosevicius, A. (2008). Inertial sensor for objective evaluation of swimmer performance. *Proceedings of 11th International Biennial Baltic Electronics Conference*.(pp.321-324). Tallinn, Estonia: IEEE.
doi:10.1109/BEC.2008.4657545
13. Davey, N. P., Anderson, M. E., & James, D. A. (2005). An accelerometer-based system for elite athlete swimming performance analysis, *SPIE 5649*, doi:10.1117/12.582264.
14. Farzin, D., Florent, C., Gregoire P. M., Ludovic, S., John K. & Kamiar A. (2013) .Automatic front-crawl temporal phase detection using adaptive filtering of inertial signals. *Journal of Sports Sciences*, 31(11), 1251–1260,
<http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2013.778420>
15. Hagem, R. M., O'Keefe, S. G., Fickenscher, T., & Thiel, D. V. (2013). Self-contained adaptable optical wireless communications system for stroke rate during swimming. *IEEE Sensors Journal*, 13 (8), 3144-3151.
16. Ohgi, Y., Ichikawa, H., Homma, M., & Miyaji, C. (2003). Stroke phase discrimination in breaststroke swimming using a tri-axial acceleration sensor device. *Sports Engineering*, 6 (2), 113-123.
17. Siirtola, P., Laurinen, P., Röning, J., & Kinnunen, H. (2011). Efficient accelerometer-based swimming exercise tracking. *Proceeding of IEEE 2011 Symposium on Computational Intelligence and Data Mining*. (pp.156-161). Pairs, France: IEEE. doi:10.1109/CIDM.2011.5949430
18. Slawson, S. E., Justham, L. M., West, A. A., Conway, P. P., Caine, M. P., & Harrison, R. (2008). Accelerometer profile recognition of swimming strokes. In M. Estivalet & P. Brisson (Eds.), *The engineering of sport* (pp. 81-87). Berlin, Heidelberg: Springer.
19. Stamm, A., James, D. A., & Thiel, D.V. (2013). Velocity profiling using inertial sensors for freestyle swimming. *Sports Engineering*, 16 (1), 1-11.

Analysis of the effects of sensor placement location for swimming motion

Ku-Chen Huang / Office of Physical Education, Tamkang University

Abstract

Objective: Using sensor technology to monitor and evaluate sports performance must take into account the type of activity, sampling frequency, placement location, wave filtering setting, and instrument calibration in order to establish the accuracy and reliability of the instrument. Usually the sensor device is placed on the forearm segment to collect data for analyzing swimming motion. However, in swimming, palm is the key part of propulsion. In this study an experiment was designed to explore the effects of different sensor placement locations for analyzing swimming stroke motion. **Methods:** Three college athlete swimmers participated in the experiments. Two inertial sensors were installed on their right palm and forearm above their wrist, respectively. Through the simulation of hand movements of the four different swimming styles on land, the sensors reading were retrieved by the system that we developed. The data obtained from the sensors were analyzed to see the difference between the two placement locations. **Results :** (a) peak value: the sensor data from palm location higher than the forearm in free style x-axis, z-axis and backstroke z-axis. (b) wave range: the sensor data from palm location larger than the forearm. (c) wave periods: there are no significant differences between the two placement locations. **Conclusions :** The sensor data obtained from palm location show a larger amplitude and peak value, and better waveform identification. So it is important to place the sensor device on the palm for analyzing swimming stroke motion. The maximum peak value is in the z-axis for free style and backstroke, in the y- axis for breaststroke and butterfly. Hence, the relevant axis should be carefully chosen when analyze the waveform data.

Keywords: maximum peak value, wave period, sensory waveform