

# 探討使用穿戴裝置測量長跑運動生理參數之效度

學生：1063020 莊家俊

## 壹、前言

自2016年以來，穿戴裝置逐漸普及，其可以測量心率，對應的生理參數為最大攝氧量 ( $VO_2\max$ )，因此部分業餘及專業的跑者會用來訂定運動強度以及觀察跑步表現的改善程度。因此本文想收集現今長跑愛好者常用的穿戴裝置用以測量心率的效度是否足以供訓練時使用。

## 貳、最大攝氧量的定義

### 與其他生理參數之間的關係

#### 一、最大攝氧量

眾所皆知，要維持最高的跑步速度，其最重要的生理數值就是  $VO_2\max$ ，公式如下：

$$VO_2\max = CO (\text{心輸出量}) \times (a-v)O_2\text{diff} (\text{動靜脈含氧差})$$

#### 二、心率與攝氧量的關係

Karvonen 等 (1957)

說明了一種運動處方的方法——保留心跳 (HRR)，公式如下：

$$HRR = HR_{\max} - HR_{\text{rest}}$$

NSCA 指出，心跳率百分比與攝氧量百分比有高度的相關性 (見圖1)。(即  $\%VO_2\max = \%HRR$ )

$\%VO_2\max$	$\%HRR$	$\%MHR$
50	50	66
55	55	70
60	60	74
65	65	77
70	70	81
75	75	85
80	80	88
85	85	92
90	90	96
95	95	98
100	100	100

圖1.  $\%VO_2\max$  與  $\%HRR$  及  $\%MHR$  的關係

圖片來源：Thomas & Roger, 2008

## 參、穿戴裝置測量心率的機轉

### 一、心電圖 (ECG) 穿戴裝置

以 Polar RS400 為例，帶有位於胸帶上的電極並且具備發射器，可以以 1ms 的分辨率檢測 QRS 波以測量心率 (見圖2, R-R 間隔)。

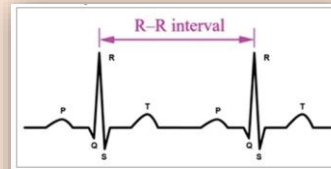


圖2. R-R 間隔 (間隔越長，心率越慢)  
圖片來源：Fotouhi-Ghazvini & Abbaspour, 2020

### 二、光體積變化描記圖法 (PPG) 穿戴裝置

以光學的方式取得器官的體積描記圖，透過照射皮膚並測量光吸收的變化量以達到測量心率的目的是 (見圖3)。

## 肆、PPG 穿戴裝置測量心率相關文獻

作者	受試者	實驗設備	實驗內容	結果
Navalta 等 (2020)	21 名 受試者	標準： Polar H7 穿戴裝置： 1. Garmin Fenix 5 (GF) 2. Motiv (MV) 3. Scosche Rhythm (SR) 4. Jabra Elite Sport (JE)	戶外跑 3.22 公里 (單趟 1.61 公里) 3 種不同海拔 高度差的距離 (48、55、104m)	裝置 MAPE r 值
				GF 13% .32
				MV 16% .29
				SR 6% .79
				JE 23% .38
有效的條件： MAPE < 5%, r > .90				
Stove 等 (2019)	29 名 受試者	標準： Polar RS400 穿戴裝置： Garmin Forerunner 235 (GF)	(1) 休息： (2) 腳踏車 測功計： 跑步 (8.7kph) (50、100、150W) (3) 跑步機： 跑步 (12kph) (4.8、8.7、12kph) (4) 手臂快速 運動 (負重：女 1kg、 男 2kg)	休息
				跑步 (12kph)
				腳踏車 (150W)
				手臂快速運動
				達到有效 (p < .0001)

註：MAPE (mean absolute percentage error) = 平均絕對百分比誤差

作者	受試者	實驗設備	實驗內容	結果	
Shumate 等 (2021)	30 名 健康 受試者	標準：7-lead ECG 穿戴裝置： Polar Vantage M (PVM)	跑步機 GXT stage 0: 休息 stage 1: 2.7kph/10% stage 2: 4.0kph/12% stage 3: 5.4kph/14% stage 4: 6.7kph/16% stage 5: 8.0kph/18% 每組 3 分鐘	PVM 和 ECG 達 高度相關 (r = .87)， 但強度越高， LOA 分布越廣泛	
				Fitbit charge HR 2	
					整體：< 20% HRR 女性：< 20% HRR 達到有效 (p < .05)
					Apple Watch
					整體：< 20% HRR 男性：> 85% HRR 達到有效 (p < .05)

註：ECG (electrocardiography) = 心電圖；GXT (graded exercise testing) = 漸增運動負荷測試；  
MAPE (mean absolute percentage error) = 平均絕對百分比誤差；  
LOA (limits of agreement) = 一致性界線；%HRR (percentages of heart rate reserve) = 保留心跳率

## 伍、結論與建議

綜合上述文獻，可得知 PPG 穿戴裝置測得的心率，其效度在戶外不佳，但在定速、定強度的狀況下效度尚可接受，將其用於預估目標強度對於一般人是可接受的，但對於需要精確心率的人須謹慎考慮 (建議使用 ECG 測量)。

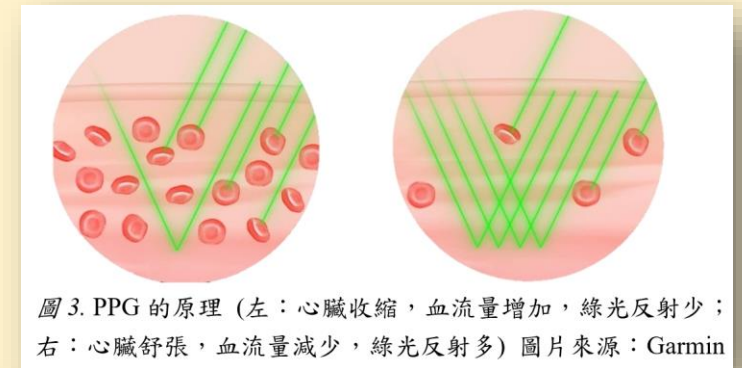


圖3. PPG 的原理 (左：心臟收縮，血流量增加，綠光反射少；右：心臟舒張，血流量減少，綠光反射多) 圖片來源：Garmin

作者	受試者	實驗設備	實驗內容	結果	
Stahl 等 (2016)	50 名 跑步 3 次/週 運動前 血壓 < 140/80 mmHg	標準： Polar RS400 (PL) 穿戴裝置： 1. Scosche Rhythm (SR) 2. Mio Alpha (MA) 3. Fitbit Charge HR (FH) 4. Basis Peak (BP) 5. Microsoft Band (MB) 6. TomTom Runner Cardio (TT)	(1) 坐著休息 3 分鐘 (2) 跑步機 GXT (3.2、4.8、6.4、8.0、9.6kph)， 每組 5 分鐘， 組間不休息 (3) 坐著休息 3 分鐘	6 個穿戴裝置皆和 PL 達到高度相關 (r = .929 ~ .959)， 其中以 MB (r = .956) 及 TT (r = .959) 與 PL 相關性最高。	
				Fitbit charge HR 2	
					整體：< 20% HRR 女性：< 20% HRR 達到有效 (p < .05)
					Apple Watch
					整體：< 20% HRR 男性：> 85% HRR 達到有效 (p < .05)

註：ECG (electrocardiography) = 心電圖；GXT (graded exercise testing) = 漸增運動負荷測試；  
MAPE (mean absolute percentage error) = 平均絕對百分比誤差；  
\* 表示穿戴裝置與心電圖達顯著相關 (p < .05)