

紅外線額溫計之性能改善研究

吳宗儒¹、陳宏源¹、陳濤¹、陳加忠^{2*}

摘要 為了執行武漢肺炎防疫需求，體溫量測成為各種公共場所與公共運輸工具用以篩檢可能病患的主要工具，額頭溫度測量被廣泛用於篩查疾病。然而紅外線額溫計的設備性能和篩選溫度標準缺乏相關研究。在此研究中，以標準溫度產生器產生之標準溫度為比較基準，兩型工業型紅外線溫度計與五型額溫計進行量測性能檢定，分別進行校正公式以進行性能改善，並且以獨立量測數據比較評估以校正公式進行性能改善之可行性研究。結果所得顯示中國生產的一型額溫計，在4個標準溫度環境下，該此額溫計讀出值仍然維持36.4°C~36.7°C，此結果顯示此型體溫計並無量測性能。兩型工業用紅外線溫度計之量測性能均為低估，無法以讀出值直接代表體溫值。四型額溫計量測性能在正常人體額溫為36°C時量測誤差均為高估，而且為0.5°C以上。以校正公式改善量測性能，在34°C~38°C之量測範圍，其準確性在0.21°C~0.35°C之範圍，其精密性為0.3°C~0.5°C範圍，顯示紅外線溫度計藉由適當校正公式，可改善性能並適用體溫量測。有關紅外線溫度計之性能改善方式建議，包括調整固定誤差值，使用校正公式計算量測值，依對照表對於額溫計讀出值加以對照，與溫度計製作公司之硬體改善。由於國內目前額溫計缺乏法令可以界定與約束，建議主管單位將其列管為應施檢定之方法定度量衡器，才能保障使用者權益以及有效協助疫情。

關鍵字: 新型冠狀病毒、額溫計、校正公式

Study of the improvement for the performance of the forehead infrared thermometer

Zong-Ru Wu¹, Hong-yuan Chen¹, Tau Chen¹ and Chiachung Chen²

ABSTRACT In order to prevent the spread of the Wuhan pneumonia epidemic (Coronavirus disease COVID-19), body temperature measurement has become the main tool to screen for possible patients in various public places and public transportation. Forehead temperature measurement is widely used for screening diseases. However, the equipment performance and screening temperature standards of the infrared forehead thermometer need to be studied. In this study, the standard temperature is generated by the standard temperature generator and used as the reference temperature. Two types of industrial infrared thermometers and five types of infrared forehead thermometers are used to perform performance test. The calibrations were established to improve measurement performance. The independent measurement data was used to verify the predictive performance. The result in this study indicated that a type of forehead thermometer produced in China, under the four standard temperature environments, the reading value of this forehead thermometer still maintains 36.4°C~36.7°C. This result shows that this thermometer has no measurement performance. The measurement performance of the two types of industrial infrared thermometers is underestimated. The temperature value cannot be directly represented by their readout values. The measurement performance of

¹ 國立中興大學生物產業機電工程學系研究生。Graduate student, Dept. of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung Hsing University, Taiwan.

² 國立中興大學生物產業機電工程學系教授。Professor, Dept. of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung Hsing University, Taiwan.

* 通訊作者。Corresponding Author. E-mail: ccchen@nchu.edu.tw

four types of forehead temperatures is overestimated at the 36°C and it is above 0.5°C. The calibration equations could be used to improve the measurement performance. In the measurement range of 34°C~38°C, its accuracy is in the range of 0.21°C~0.35°C, and its precision is in the range of 0.3°C~0.5°C. Suggestions for improving the performance of infrared thermometers include adjusting the fixed error value, using the adequate calibration equation to calculate the measured value, and comparing the reading values of the forehead thermometer with its special comparison table, and improving the hardware of the thermometer by manufacturing company. Due to the lack of related laws and regulations in Taiwan, ear thermometers can be checked officially. It is recommended that the infrared forehead thermometer must be defined and tested as an official instrument. Then the rights of users and the prevention of epidemic could be assisted effectively.

Keywords: COVID-19, forehead infrared thermometer, calibration equation

一、前言

近期以來，武漢肺炎(Coronavirus disease COVID-19)此疫情造成了世界性之大災難。為了執行防疫需求，體溫量測成為各種公共場所與公共運輸工具用以篩檢可能病患的主要工具。體溫量測所有溫度計共有兩型：玻璃溫度計與紅外線溫度計。玻璃溫度計為接觸人體使用，依量測部位之不同有肛溫、口腔溫與腋溫等。現今已經開發出許多類型的溫度計來測量體溫。紅外線溫度計具有快速、方便且易於使用的特點。紅外線溫度計為非接觸型，主要量測部位有耳膜、額頭與手腕。因為耳膜量測必需與人體耳朵接觸，有感染風險。因此額溫量測成為防疫作業標準程序。但是此型溫度計之性能是否合乎體溫量測之需求，至今尚無詳細報導。

隨著冠狀病毒 COVID-19 的傳播，額頭溫度測量被廣泛用於篩查疾病。但是這類設備的性能和篩選溫度標準需要研究^{1,2,3,28}。

Bitar 等⁷研究大批民眾的體溫量測方式，以耳溫槍之量測值為標準值，比較紅外線額溫計與影像儀對人體體溫量測之性能。其結果顯示參考值與額溫，兩處影像溫度的相關係數為 0.25, 0.51 與 0.71。以影像儀判斷體溫受到主觀認定的影響。Dzarr 等¹³以肛溫為基準，比較白血球過低成人患者其耳溫，肛溫與腋溫的量測值。除紅外線耳溫計之外，其餘三處量測設備為玻璃溫度計。其結果發現耳溫與口腔溫的相關係數為 0.81。作者評論以耳溫計可用以迅速且準確量測體溫，兩耳之體溫量測值並無顯著差異。Smitz 等²⁶針對年老病人，測試以耳溫計取代肛溫量測的可行性。肛溫標準值的量測使用玻璃溫度計。其結果顯示耳溫量測值顯著高於肛溫，耳溫與肛溫之相關係數為 0.91 與 0.84。作者評論紅外線耳溫計能夠用以量測病人體溫，但是其準確性能受到操作人員技術與廠

牌性能影響。

Fortuna 等¹⁵針對急診室幼兒之體溫量測進行評估，比較肛溫與耳溫量測結果。兩種溫度之相關係數為 0.7。與肛溫比較，在 38°C 以下低溫範圍，耳溫量測值為高估。在發燒範圍(高於 38°C)，耳溫量測值為低溫。因此作者認為耳溫計無法取代肛溫計。Mangat 等¹⁸。以鼻咽溫度為標準值，比較兩型耳溫計與一型腋溫計之量測性能，結果顯示一型耳溫計(The PR04000 IRTT)且有良好的性能，然而另一型耳溫計(Genius 2 IRT)與腋溫計其量測值與鼻咽溫度有顯著差異。Nguyen 等²⁰報導使用三型紅外線影像儀，用以篩選發燒狀態之性能，口腔溫為比較標準值。其研究結果顯示三型熱像儀(Opto Therm, FLIR 與 Wahl)都可適用於體溫是否高溫的檢測。

Oyakhrome 等²¹以非洲兒童為量測對象，評估 1000 名兒童其肛溫，腋溫與耳溫量測值。結果顯示肛溫與耳溫之差異平均值為 0.3°C，誤差範圍為 -1°C ~ -2°C。肛溫量測值顯著高於耳溫計量測值。Chiappini 等¹⁰比較高燒兒童其水銀腋溫計與紅外線額溫計之量測性能，結果顯示兩者線性相關，決定係數(R^2)為 0.837。腋溫與額溫之平均值各為 37.19°C±0.96°C 與 37.30±0.92°C，因此作者建議可以此型額溫計取代腋溫計。

Rubia-Rubia 等²⁴以動脈溫度為標準值，比較紅外線耳溫計與紅外線額溫計之量測性能。作者評論耳溫計有良好性能可適用以量測體溫。但是額溫量測的準確性不足。Rabbani 等²³以玻璃溫度計量測口腔溫度作為標準值，比較水銀溫度計量測口腔溫度與紅外線溫度計量測耳溫之性能。作者評論其兩者相關係數為 0.843，認為耳溫計具有良好性能且可快速使用，為適合工具以量測體溫。

Jefferies 等¹⁶以動脈溫度為核心體溫，與肛溫、腋

溫與耳溫計性能進行比較，兩型耳溫計與核心溫度之差異範圍為 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。作者評論為耳溫與肛溫量測可代表核心溫度，但是腋溫量測性能不良。Priest 等²²報導以熱像儀於機場進行邊境防疫之性能研究，比對標準為Thermoscan 耳溫計量測值。其結果顯示，體溫高於 37.8°C 的入境者，僅有0.5%能被熱像儀發現，因此作者強調無法以熱像儀篩選發燒者。Barnett 等⁴針對急診室成人體溫量測，探討腔溫與耳溫之量測性能，肛溫為比對標準值。其結果報導腔溫量測值最低，耳溫量測值最高。耳溫與肛溫差異值之平均值為 0.13°C 。作者認為僅有肛溫量測，才能代表真正體溫狀態。

Chue 等¹²進行腔溫與耳溫之量測性能比較，在泰國的高溫環境下，量測差異值低於 0.12°C 。因此作者推薦以耳溫計取代口腔溫度量測。Teran 等²⁷評論額溫量測於小兒科醫療室之應用性能，肛溫為標準值，與額溫及腋溫量測進行比對，量測結果如下：肛溫($37.9\pm 0.9^{\circ}\text{C}$)，腋溫($37.6\pm 0.8^{\circ}\text{C}$)，額溫($37.9\pm 0.9^{\circ}\text{C}$)，因此耳溫計可推薦應用於幼兒體溫量測。

Selent 等²⁵以腔溫、腋溫、肛溫與三型熱像儀量測值進行比對。三型熱像儀量測值與肛溫之相關係數為0.78、0.75與0.66。作者推薦熱像儀可用以篩選發燒現象並適用機場等邊境檢查。Cho 等¹¹研究熱像儀是否適用機場之邊境檢查，其結果顯示熱像儀之平均量測溫度為 36.83°C ，耳溫量測溫度為 38.14°C 。兩者量測值有顯著差異，然而作者推以熱像儀可以用進行邊境體溫檢查。

Mogensen 等¹⁹針對995名0.5~5歲幼兒量測其耳溫與腔溫。其結果顯示，耳溫量測可提供初步篩檢。正確的體溫仍然應以肛溫量測值為代表。Berksoy 等⁴以肛溫為標準，比較腋溫與額溫量測之性能可靠性。其結果顯示僅有耳溫量測性能可以取代肛溫，作為幼兒(1-4歲)肢體溫量測值。

由上述研究文獻可知，各型體溫計其量測性能之比較，涉及使用各型體溫計性能，使用者的量測技術，體溫標準值之選用判斷，量測值比對之數據處理與統計技術。因此不同國家，不同研究單位之研究結果無法有其一致性。使用紅外線溫度計進行額溫量測能否用以篩選發燒狀態，也已遭受醫學單位之質疑²⁸。

經濟部標準檢驗局於103年自行研究計畫中針對1型焦電型耳溫計與2型熱電堆式耳溫計進行性能測試¹，以黑體溫度爐維持 37.0°C 之標準溫度進行測試。結果顯示有11%的耳溫計誤差大於 0.5°C 。其建議與評論如下：

“耳溫計不屬於度量衡器檢定檢查辦法第3條例列管應施檢定之方法度量衡器。而目前耳溫計主管機關為衛生福利部，然而該部並未提供準確性確認服務，使用者無準確度之追溯能力，無法確保量測結果的有效性”。

針對額溫與耳溫之量測比較研究，Chen 等⁹評估了兩種紅外線耳膜溫度計和工業用紅外溫度計用以額溫量測的性能。結果顯示這些紅外線溫度計具有良好的精密度。耳膜溫度和額頭溫度之間存在固定偏差。測量手腕溫度顯示其結果與耳膜溫度也具有明顯偏差，因此手腕溫度量測不能使用發燒篩選。耳溫與額溫之差異範圍為 $2.1\sim 2.2^{\circ}\text{C}$ 。因此提出使用紅外線溫度計用於測量體溫的標準操作程序(SOP)。以額溫為發燒情況之篩選準應為 36°C 。額溫超過 36°C 之對象，再以耳溫計進行二次檢測，而其檢測標準為 38°C 。此方式有效篩檢發燒對象，並且方便作業。

吳等²針對中興大學各單位使用的7型54只額溫計進行性能測試。以溫度校正爐建構的黑體溫度環境，進行性能評估。其量測溫度為 34°C 、 36°C 與 38°C 。量測結果顯示其誤差範圍分佈極為分散，顯示精密度不佳。相同廠牌之重現性不良。以歐盟規範紅外線體溫計之公差要求標準進行評估，僅有3.7%之額溫計合乎規範。為能有效提供正確體溫量測結果以協助防疫工作，額溫計之標準量測技術與耳溫計檢定檢查技術規範必須盡速建立，額溫計的性能改善有其研究之必要性。

台灣與中國對於使用紅外線溫度計應用於耳溫與額溫量測都未曾制定國家規範，無法以法令制約溫度計製作廠商的使用性能。現有相關國際規範為歐盟所公布European Standard EN 12470-5: 2003，規定以紅外線原理量測體溫的體溫計其使用量測範圍為 35.5°C 至 42.0°C 。最大允許誤差為 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 。在武漢疫情威脅之下，中國臨時制定“體溫篩檢用紅外額溫計準確度臨時核對方法建議”³。臨時方法以玻璃體溫計為標準值，近紅外線額溫計的量測值與玻璃體溫計量測值差異於 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 為合格。但是此方法無法律效力。內容缺乏計量原理與可用技術，無參考價值。

在此研究中，以兩型工業型紅外線溫度計與五型額溫計進行量測性能檢定，分別進行校正公式以進行性能改善，並且以獨立量測數據比較評估以校正公式進行性能改善之可行性研究。

二、材料與方法

(一) 紅外線溫度計

此研究之紅外線溫度計共有兩型。

第一型為工業用紅外線溫度計，有 2 個廠牌。

1. SL-20 LBE 型：量測範圍，-60~760°C，解析度 0.1°C，廠商規格書其準確性±1.0~2.0°C。
2. TM-909A 型：量測範圍，-20~400°C，解析度 0.1°C，±0.3°C。準確性為讀出值±3%。

第二型為商業用額溫計，共有 5 種廠牌。

1. Poxi Dun Mei F168 型
2. Thermofocus
3. FORA IR42
4. BTM-8877
5. HT-820

(二) 性能檢測法

以 TC-2000 Scan Sense (Instrutek Co., Larvik, Norway) 為標準溫度產生器。2 型工業用紅外線溫度計與 5 型額溫計以此校正爐於 34°C、36°C、37°C 與 38°C 環境下，量測 9 次。並分成兩組：建模用數據(建立校正方程式)與預測用數據(評估預測性能)。使用時將待測溫度計置入校正器的校正槽體。溫度量測距離固定為 5 公分。周圍環境溫度範圍為 24-32°C，相對溼度範圍為 55-85% RH。校正槽體內之放射係數為 0.985。

(三) 性能分析

1. 準確性能

以誤差值表示量測的準確性能，誤差值越小，準確性越高⁸。

$$E_r = T_r - T_{std} \tag{1}$$

E_r : 量測誤差值, °C

T_r : 溫度計讀出值, °C

T_{std} : 標準溫度值, °C

2. 校正方程式

以標準值 T_{std} 為依變數(dependent variable)，紅外線溫度計讀出值 (T_r) 為自變數(independent variable)。建立之校正方程式形式如下：

a. $T_{std} = b_0 + b_1 T_r \tag{2}$

b. $T_{std} = c_0 + c_1 T_r + c_2 T_r^2 \tag{3}$

以 R^2 (決定係數)· s (標準差估計值)與殘差圖以判斷校正方程式的適稱(adequateness)性能。

3. 預測性能

與建模用數據完全獨立的另組數據，稱為預測用數據，代入已建立的校正方程式⁸，計算所得之溫度為預測溫度 (T_{pre})。

預測誤差(E_p)定義如下：

$$E_p = T_{pre} - T_{std} \tag{4}$$

(T_{pre} 為校正公式計算所得預測值)

預測準確性(ACU)計算公式如下：

$$ACU = \frac{\sum |E_p|}{n} \tag{5}$$

(n 為數據數目)

預測精確性(PRE)計算公式如下：

$$PRE = \left(\frac{\sum (E_p)^2}{n-1} \right)^{0.5} \tag{6}$$

三、結果與討論

(一) 無量測能力之耳溫計

來自中國深圳的 Poxi Dun Mei F168 型額溫計同型共 2 只，其在 4 個標準溫度範圍之內，其量測性能如圖 1。第 1 只額溫計(C_1)在 34°C~38°C 之量測範圍，其讀出值無顯著變化，維持於 36.6~36.7°C 之間。第 2 只額溫計(C_2)在 34°C 有略高之讀值(36.4°C~36.5°C)，在 36°C、37°C 與 38°C 三個標準溫度下，該此額溫計讀出值仍然維持 36.6°C~36.7°C。此結果顯示此型體溫計並無量測性能。以此額溫計進行體溫篩檢是毫無作用可言，而且對於發燒病人將嚴重誤判。此類無法量測體溫之溫度計竟然出現於商業市場之主因，在於台灣目前未將耳溫計與額溫計納入度量衡器檢定檢查之適用範圍。此防疫之嚴重漏洞建議儘速補足。

(二) 紅外線溫度計精密性

兩型工業使用的紅外線溫度計，量測精密性以其在同一標準溫度下由各量測值加以計算其標準差。在 4 個溫度下之其結果如圖 2。其標準差為 0.15°C~0.3°C 之間。4 型額溫計之量測標準差如圖 3。其數值範圍為 0.05°C~0.22°C。額溫計之量測使用範圍比工業型紅外線溫度計狹窄，但是其精密性並無顯著改善。

(三) 工業用紅外線溫度計之量測性能

兩型工業用紅外線溫度計，用以量測體溫範圍之量測性能如圖 4。誤差分佈如圖 5。兩型紅外線性能均為低估。SL-20LBE 誤差範圍-0.5~ -2.6°C。TM-909A 之誤差範圍為-2.1 ~ -3.8°C。因此以工業型紅外線溫度計用以直接量測體溫時，無法以讀出值直接代表體溫值(表 1)。

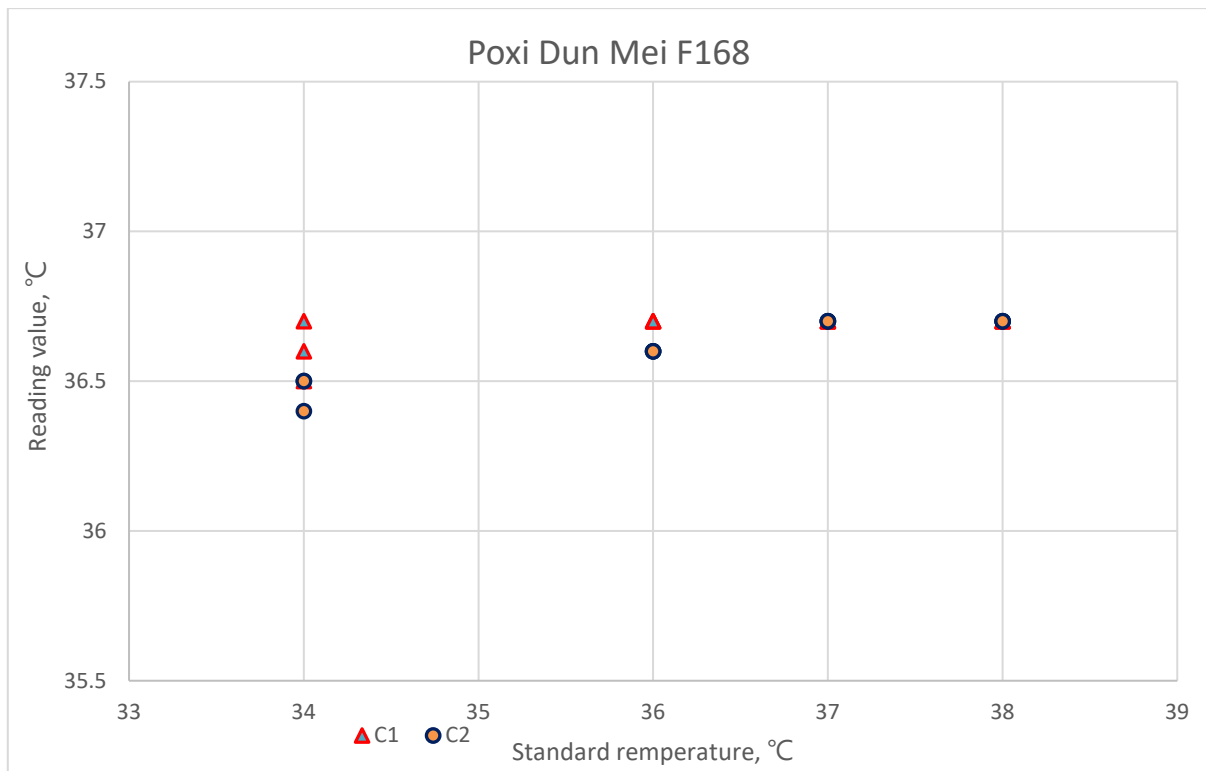


圖 1、中國深圳的 Poxi Dun Mei F168 型 2 只額溫計在 4 個標準溫度範圍之量測性能

Fig. 1 The measured performance of the two Poxi Dun Mei F168 forehead infrared thermometer form Shenzhen, China at the four measuring ranges

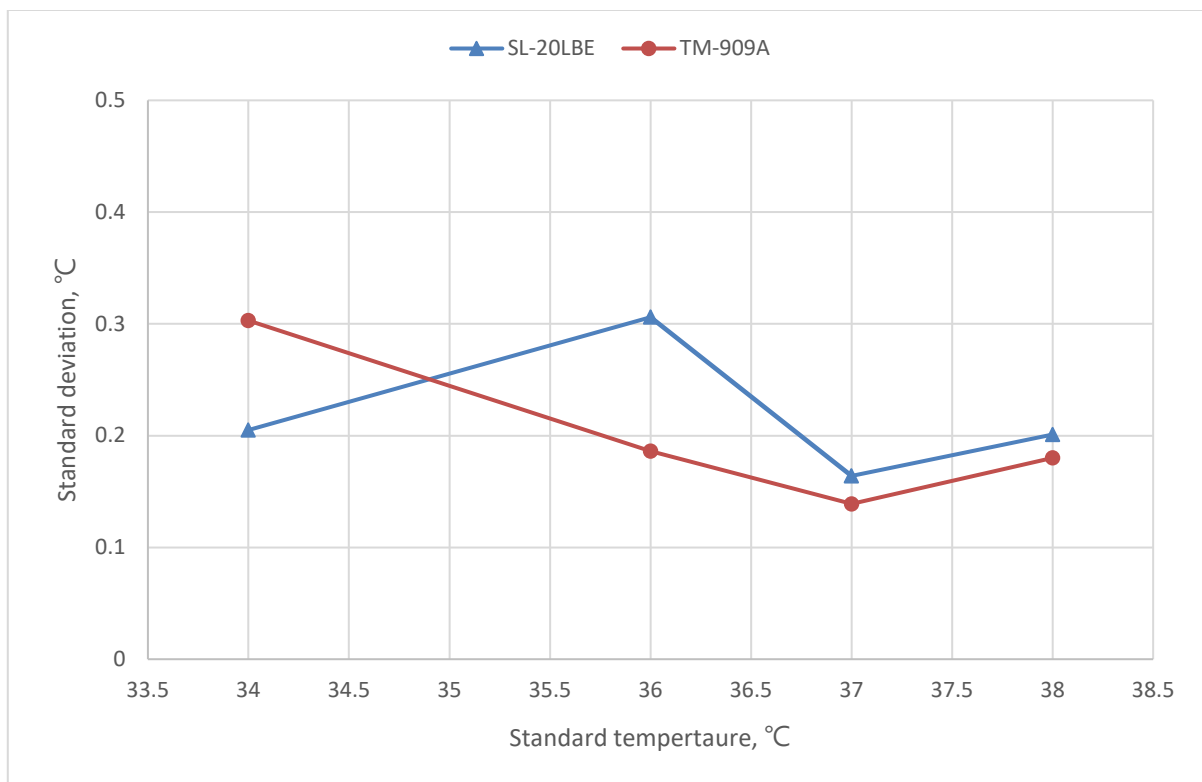


圖 2、兩型工業用的紅外線溫度計，在 4 個溫度下之量測標準差

Fig. 2 The measured errors of the two types of industrial infrared thermometer at the four measuring ranges

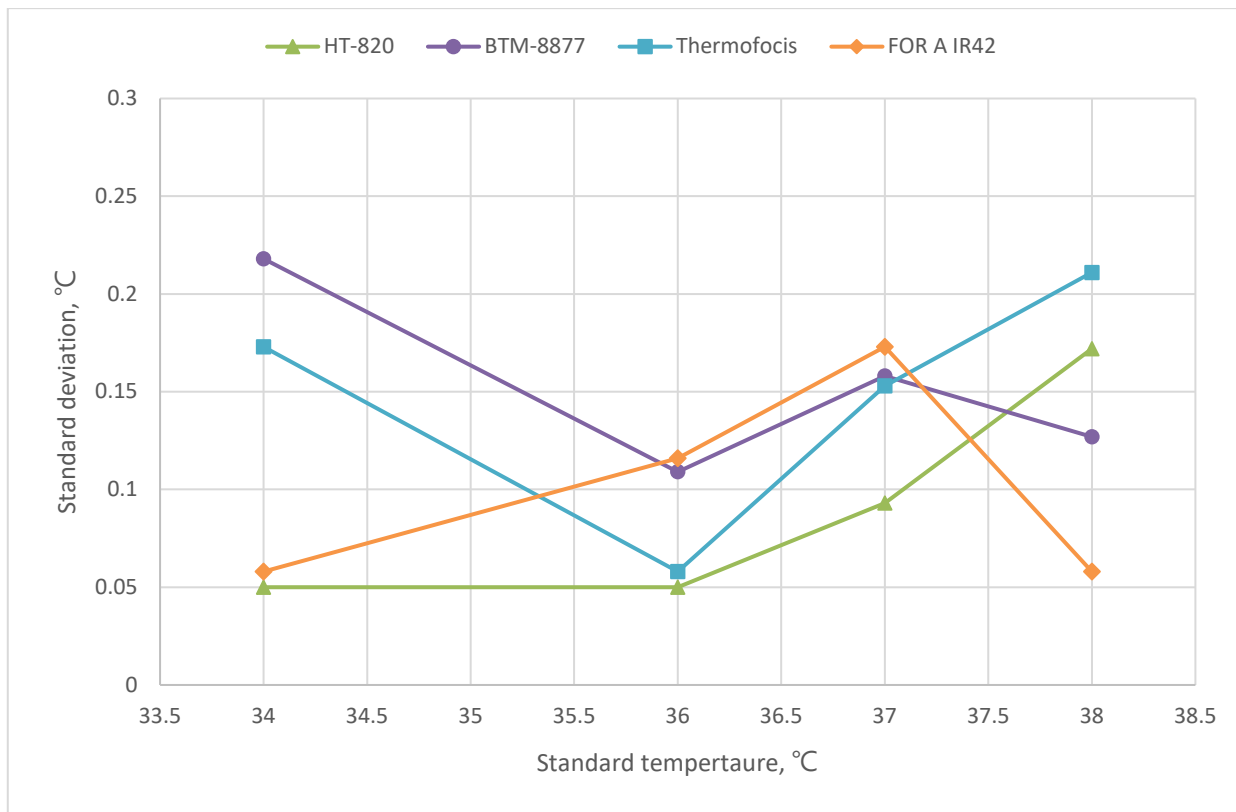


圖 3、四型紅外線額溫計，在 4 個溫度下之量測標準差

Fig. 3 The measured errors of the four types of forehead infrared thermometer at the four measuring ranges

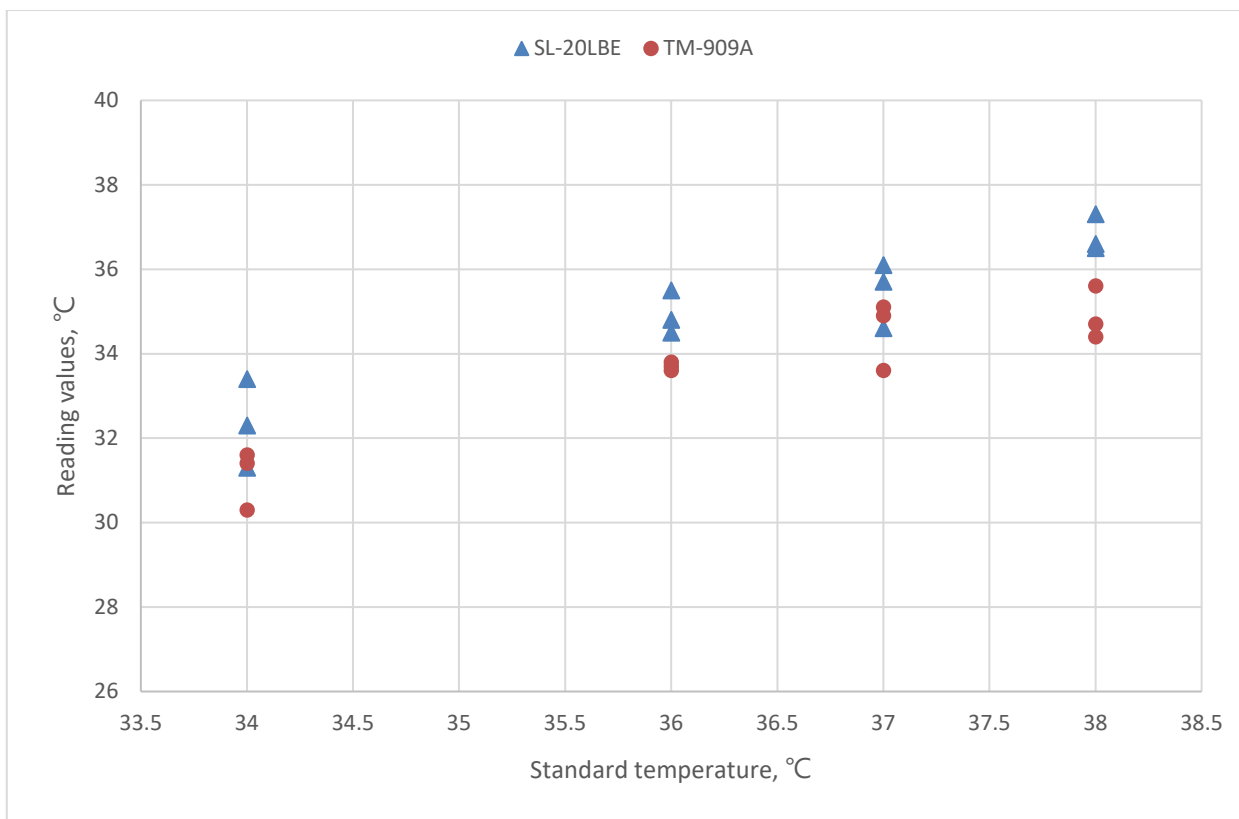


圖 4、兩型工業用紅外線溫度計用以量測體溫之量測性能

Fig. 4 The measured performance of the two types of industrial infrared thermometer

表 1、兩型工業用紅外線溫度計與 4 型紅外線額溫計之量測預測性能比較

Table 1 The comparison of the prediction performance of measurement for two types of industrial infrared thermometers and five types of infrared forehead thermometers

	SL-20LB	TM909A	Thermofocus	FORA IR42	BTM-8877	HT-820
ACU	0.267	0.348	0.292	0.208	0.226	0.332
PRE	0.302	0.505	0.366	0.311	0.339	0.371

(四) 額溫計之量測性能

兩型額溫計，Thermofocus 與 TORA IR42 的量測性能與誤差分佈如圖 6 與圖 7。Thermofocus 之量測值為高估，在 36°C 時高估值為 0.5°C，37°C 時與標準值十分接近，但是於 38°C 時精密性不良。FORA IR42 之量測值均為高估，在 36°C 與 38°C，高估約 1°C，37°C 時高估值為 0.5°C。

另兩型額溫計，BTM-8877 與 HT-820 的量測性能與誤差分佈如圖 8 與 9。BTM-8877 於 36°C 至 34°C 均為高估，而且變化不大。HT-820 之誤差與標準溫度為線性分佈，準確性不良。

以上述 4 型額溫計量測性能可知，正常人體額溫為 36°C 狀態下，無法正確得到量測值。量測誤差均為高估，而且為 0.5°C 以上。依歐盟標準量測範圍為 35.5°C 至 42.0°C。最大允許誤差為 ±0.3°C。上述 4 型額溫計均無法合乎歐盟規範。

(五) 校正方程式

為改善量測性能，2 型工業用紅外線溫度計與 4 型紅外線額溫計之量測數據進行迴歸分析，以每個參數的 t-檢定結果與殘差圖分佈判定其最佳公式為直線或是多項式函數。建立其校正公式如下：

1. SL-20LB

$$y = 1.069589 + 0.990718X; R^2 = 0.986; s = 0.183$$

y 為標準溫度值，X 為感測器讀出值

2. TM909A

$$Y = -7.88236 + 1.24142X; R^2 = 0.975; s = 0.248$$

3. Thermofocus

$$Y = -0.906924 + 49.16268X - 0.63936X^2; R^2 = 0.962; s = 0.363$$

4. FORA IR 42

$$y = -1176.33 + 62.74761 - 0.81059X^2; R^2 = 0.99; s = 0.183$$

5. BTM-8877

$$y = -217.019 + 12.45317X - 0.15124X^2; R^2 = 0.983; s = 0.21$$

6. HT-820

$$y = -130.226 + 4.5238X; R^2 = 0.982; s = 0.207$$

以上述校正方程式與另一組獨立預測性能驗證數據加以比對，6 只紅外線溫度計其預測性能如表 1 所示。兩型工業用紅外線溫度計與四型額溫計的量測值經校正式換算後的預測誤差如圖 10 與圖 11 所示。由此可知，紅外線溫度計讀出值以其校正式加以計算成為修正值。依表 1 所示，在 34°C~38°C 之量測範圍，其準確性在 0.21°C~0.35°C 之範圍，其精密性為 0.3°C~0.5°C 範圍。此結果顯示紅外線溫度計藉由適當校正式，可改善性能並適用體溫量測。

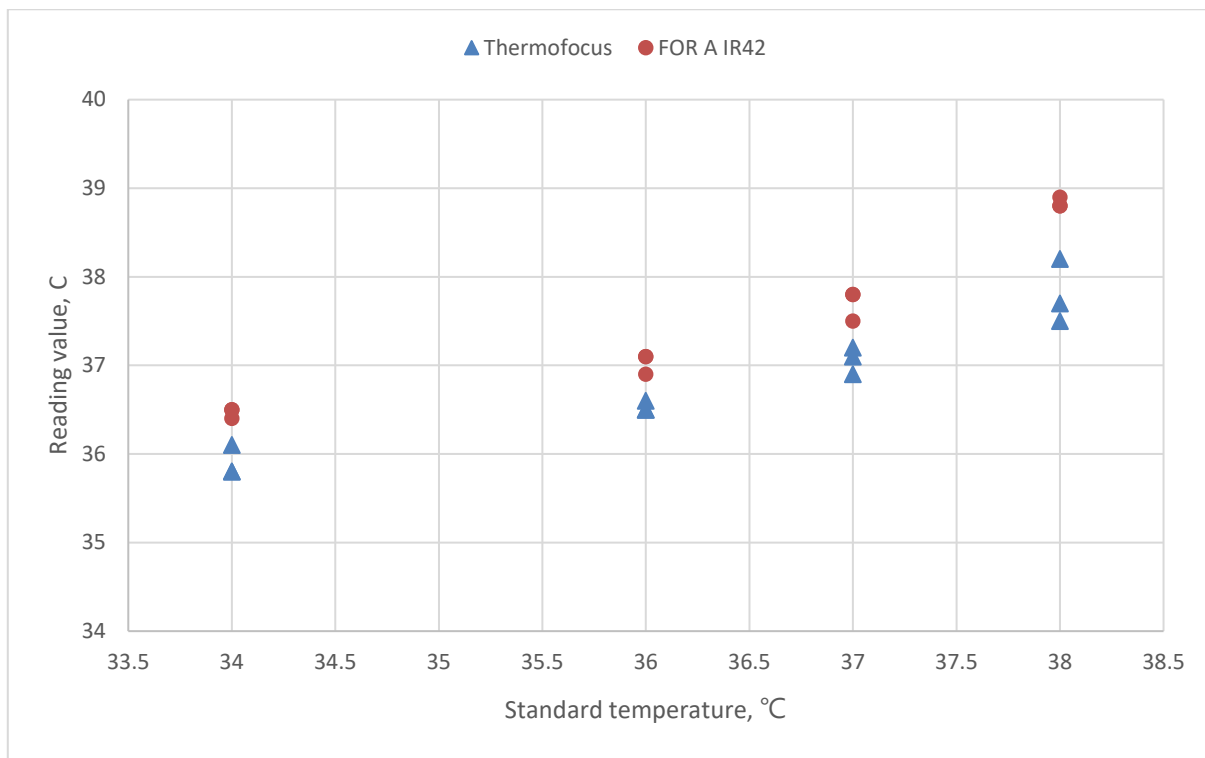


圖 6、Thermofocus 與 TORA IR42 額溫計的量測性能

Fig. 6 The measured performance of the Thermofocus and TORA IR42 forehead infrared thermometer

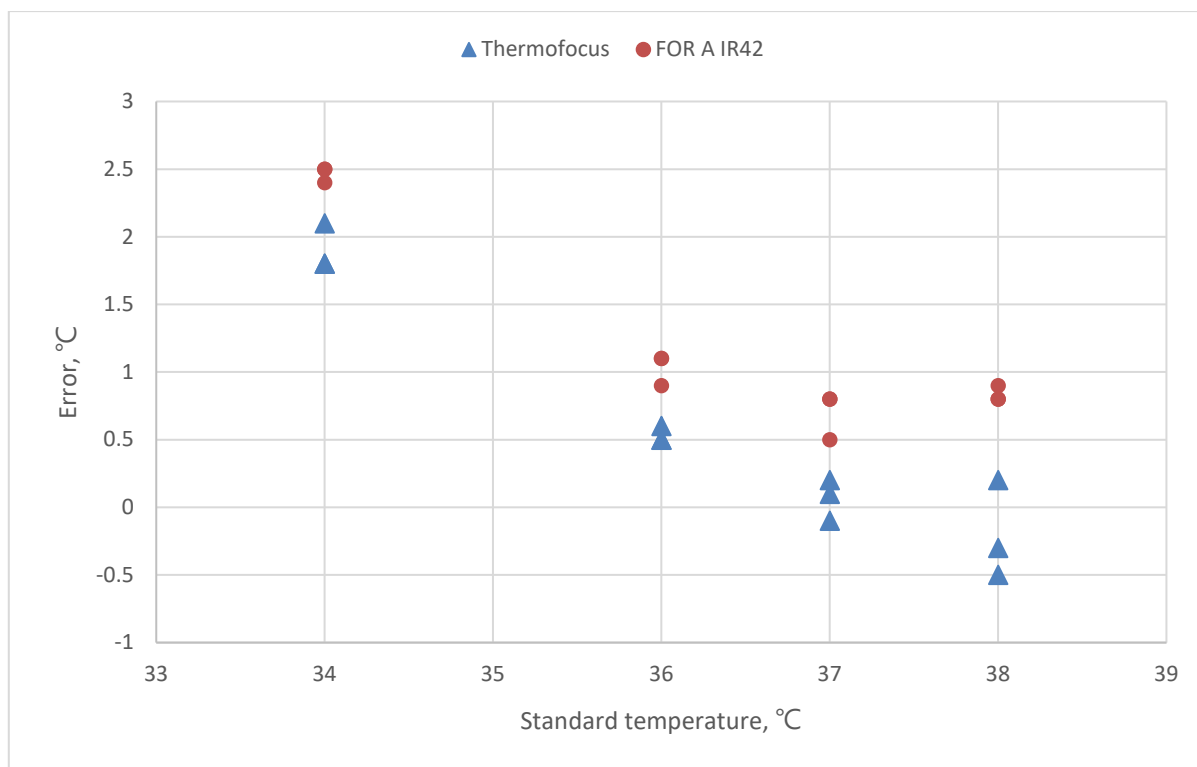


圖 7、Thermofocus 與 TORA IR42 額溫計的量測誤差

Fig. 7 The measured errors of the Thermofocus and TORA IR42 forehead infrared thermometer

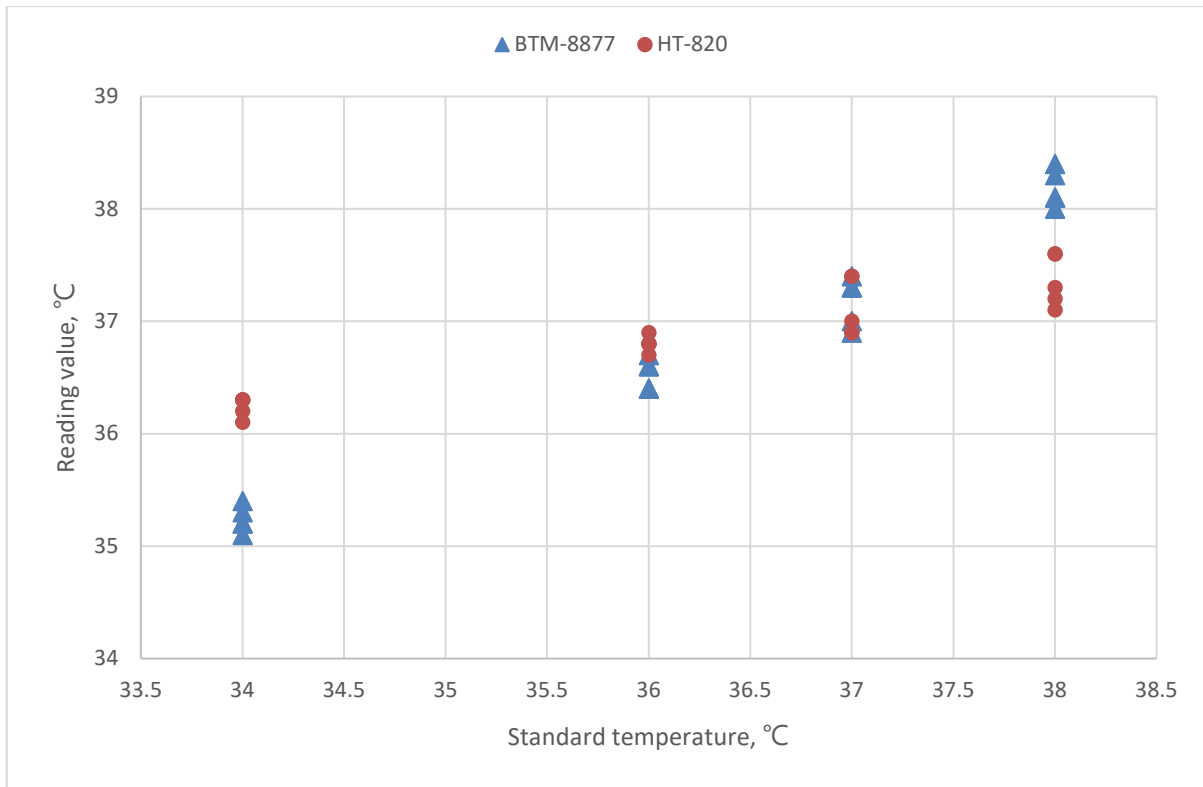


圖 8、BTM-8877 與 HT-820 兩型額溫計的量測性能

Fig. 8 The measured performance of the BTM-8877and HT-820 forehead infrared thermometer

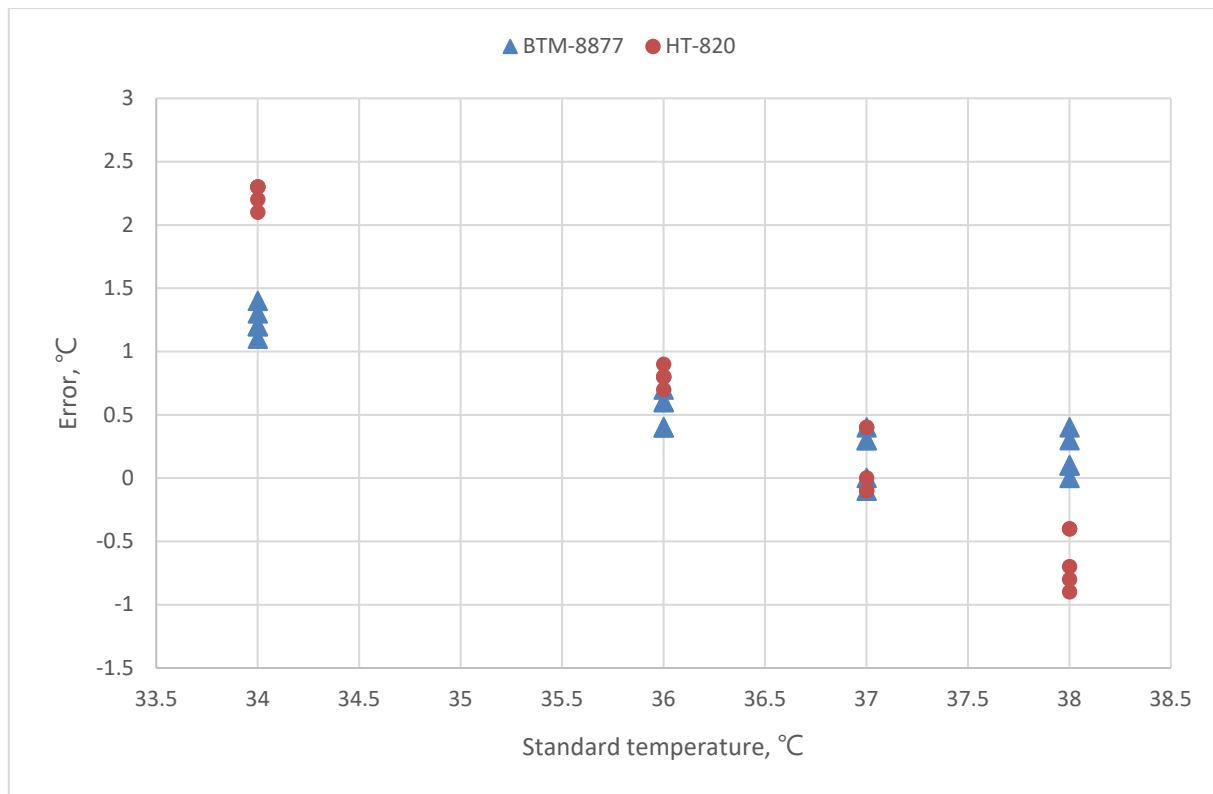


圖 9、BTM-8877 與 HT-820 兩型額溫計的量測誤差

Fig. 9 The measured errors of the BTM-8877and HT-820 forehead infrared thermometer

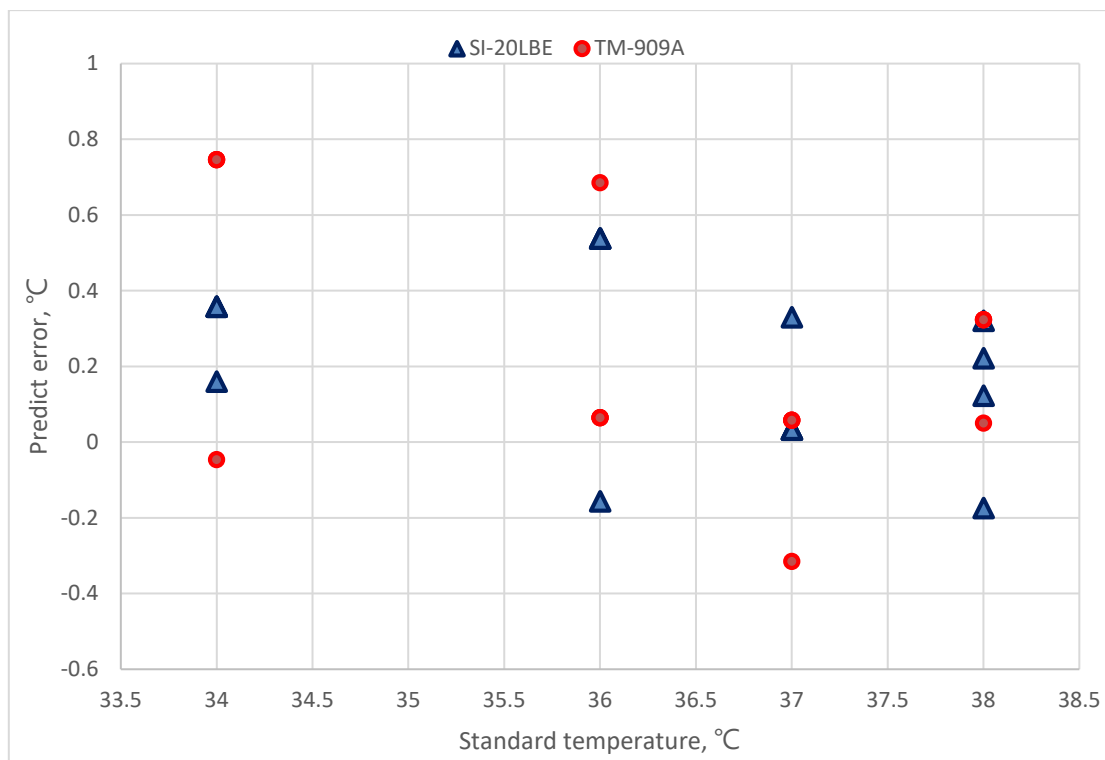


圖 10、兩型工業用紅外線溫度計的量測值經校正公式換算後的預測誤差

Fig. 10 The predicted errors that the measured values are calculated by calibration equations for two types of industrial infrared thermometers

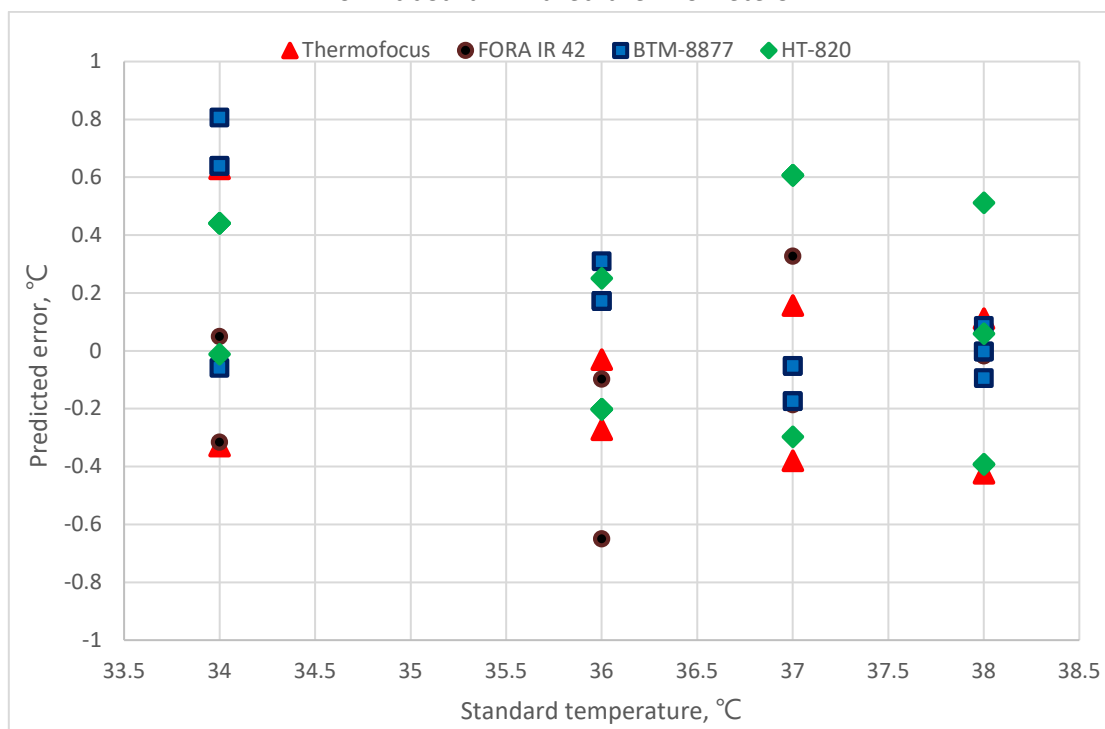


圖 11、四型額溫計的量測值經校正公式換算後的預測誤差

Fig. 11 The predicted errors that the measured values are calculated by calibration equations for four types of forehead infrared thermometers

四、紅外線溫度計之性能改善

在此研究中，6 型紅外線溫度計之讀出值與標準溫度均有顯著誤差。因此無法以讀出值做為真實值。有關紅外線溫度計之性能改善方式建議如下：

1. 調整固定誤差值

例如以 36°C 為基準，將 36°C 各紅外線溫度計的讀出值加減一個固定值，使其符合 36°C 之量測要求。經過固定誤差調整之後，Therfocus 與 FORA IR42 兩型額溫計之誤差分佈如圖 12。在 36°C 環境，量測誤差可接近 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，在 37°C 其量測誤差可低於 0.5°C ，但在 38°C，其量測誤差仍然於 $-0.2^\circ\text{C} \sim 1.0^\circ\text{C}$ 。經過固定誤差調整之後，BTM-8877 與 HT-820 之量測值之誤差分佈如圖 13。BTM-8877 與 HT-820 之量測值經由固定調整後在 36°C 有良好的量測性能，但是 37°C 與 38°C 之環境，量測誤差範圍分佈廣。因此固定誤差調整僅能對於單點量測環境有效。無法合乎 $34.5^\circ\text{C} \sim 42.0^\circ\text{C}$ 量測範圍之性能要求。

2. 校正公式計算

量測人員得到量測值後加以建立校正公式，並且於下次實際額溫量測作業時，配合手提計算器或是筆記型電腦進行計算。此方式對於多數人員並不方便，也增加體溫量測作業的複雜性。

3. 依對照表加以對照

以建立校正公式製作成對照表，Therfocus 與 BTM-8877 兩型紅外線溫度計之對照表如表 2 與表 3 所示。體溫量測人員將讀出值配合對照表直接讀出。較為簡便。以表 2 為例，Therfocus 讀出值為 36.0°C ，由對照表可得其真實校正值為 34.3°C 。讀出值為 37.8°C ，由對照表可得其真實校正值為 37.9°C 。以表 2 為例，BTM-8877 讀出值為 35.7°C ，由對照表可得其真實校正值為 34.8°C 。讀出值為

37.8°C ，由對照表可得其真實校正值為 37.6°C 。然而對照表之製作需要專業人員。

4. 溫度計製作公司之硬體改善

由紅外線溫度計製造公司，針對紅外線溫度計內部結構所使用的感測元件(焦電元件或熱電堆)，訊號處理元件，或是類比轉數位(A/D)元件等提出改善方案，以加強性能。已有研究論文提出紅外線溫度計性能改善技術^{5,17}。然而生產廠商為求降低成本，投入研發改良意願不高。唯有藉由法規約束，將紅外線體溫計納入於度量衡器檢定檢查辦法第 3 條例，將其列管為應施檢定之法定度量衡器，才能保障使用者權益以及有效協助疫情。

自 SARS 風暴至此次武漢肺炎，體溫量測成為篩檢發燒病患進行防疫的普及方法。然而體溫量測之量測性能卻少人關心。此次所量測之紅外線溫度計溫度計，其準確性無法符合原來玻璃體溫度計之性能要求。而體溫量測之不確定性與對武漢肺炎的防疫能力影響，其關聯性值得公共衛生領域人員加以關注。

此研究中，發現中國深圳生產額溫計，在 $34 \sim 38^\circ\text{C}$ 之量測環境下，其讀出值幾乎相同。此種性能嚴重錯誤的體溫計竟然成為商業產品，其根本原因在於國內目前耳溫計無法令可以界定與約束。經濟部現今施加檢定的法定度量衡器並未包括紅外線體溫計。主管單位衛生福利部無法規可加約束，此為急需解決的問題。

國內對額溫發燒之定義標準為大於 37.5°C 。而正常額溫為 36°C ⁹。傳統體溫之發燒溫度為 38°C ，係以本體核心溫度為基準。如果額溫量測仍然作為傳染病篩檢之重要技術，台灣醫療領域與工程領域應共同配合解決如下關鍵問題：

1. 以額溫為基準時，發燒臨界溫度為多少？
2. 額溫計如何建立檢定制度與約束法規，以保護全民健康安全。

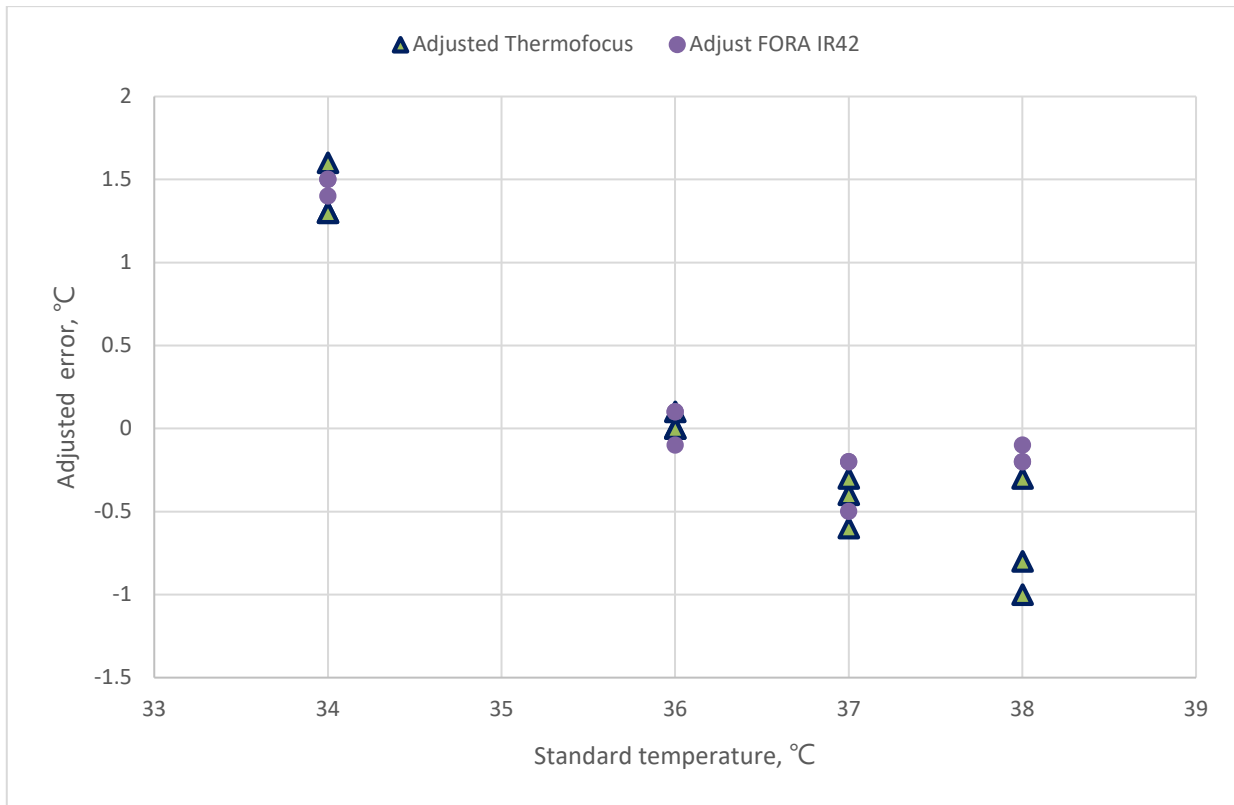


圖 12、經過固定誤差調整之後，Therfocus 與 FORA IR42 兩型額溫計之誤差分佈

Fig. 12 The error distribution of measured values adjusted by fixed values for the Therfocus and FORA IR42 forehead infrared thermometers

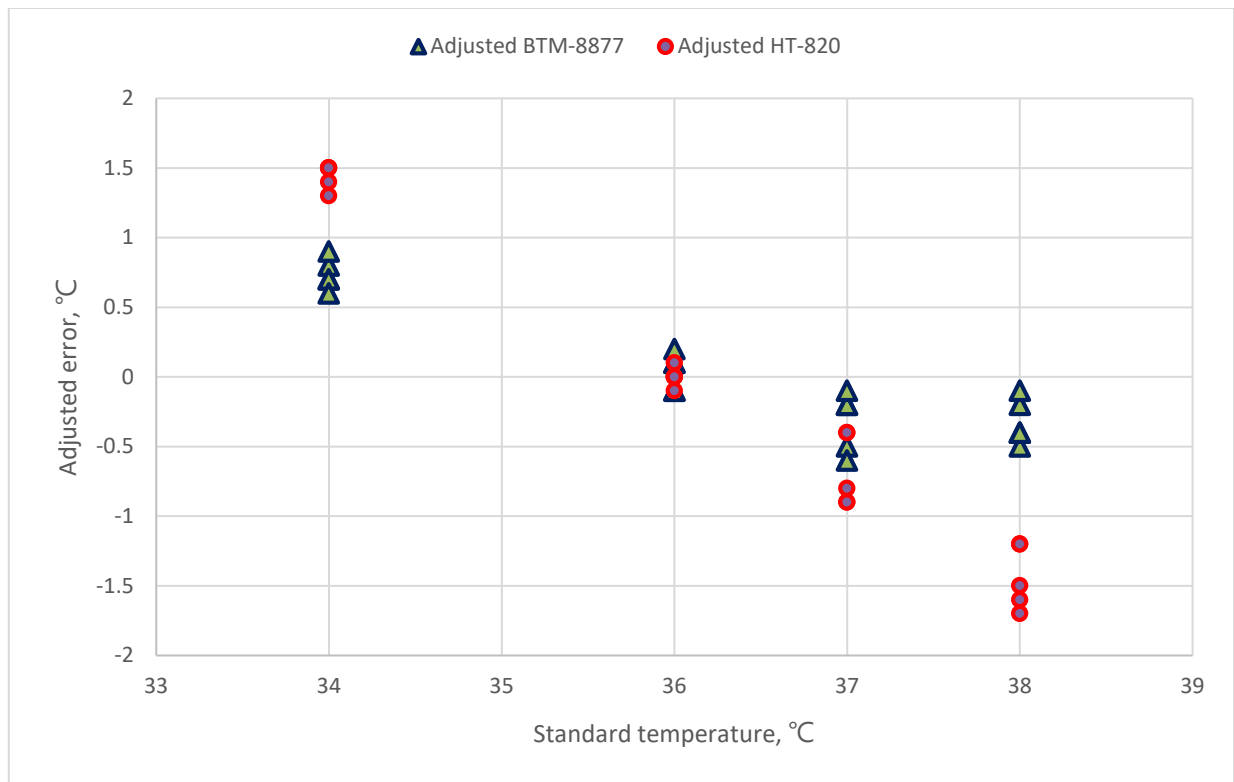


圖 13、經過固定誤差調整之後，BTM-8877 與 HT-820 之量測值之誤差分佈

Fig. 13 The error distribution of measured values adjusted by fixed values for the BTM-8877 and HT-820 forehead infrared thermometers

表 2、Thermofocus 額溫計對照表(表內為對照值)

Table 2 The check tables of the Thermofocus infrared forehead thermometer (The calibration values are showed in the table)

讀出值	35°C	36°C	37°C	38°C
.0		34.3	36.8	38.0
.1		34.6	37.0	38.1
.2		34.9	37.2	
.3		35.2	37.3	
.4		35.2	37.4	
.5	32.6	35.7	37.6	
.6	33.0	36.0	37.7	
.7	33.3	36.2	37.8	
.8	33.7	36.4	37.9	
.9	34.0	36.6	38.0	

表 3、BTM-8877 額溫計對照表(表內為對照值)

Table 3. The check tables of the BTM-8877 infrared forehead thermometer (The calibration values are showed in the table)

讀出值	35°C	36°C	37°C	38°C
.0		35.3	36.7	37.8
.1		35.4	36.8	37.9
.2		35.6	36.9	38.0
.3		35.7	37.1	38.1
.4		35.9	37.2	38.2
.5	34.5	36.0	37.3	38.3
.6	34.6	36.2	37.4	
.7	34.8	36.3	37.5	
.8	35.0	36.4	37.6	
.9	35.1	36.6	37.7	

五、結論

由上述研究結果所得結論如下：

1. 中國深圳的 Poxi Dun Mei F168 型額溫計，在 4 個標準溫度環境下，該此額溫計讀出值仍然維持 36.4°C~36.7°C。此結果顯示此型體溫計並無量測性能。
2. 兩型工業用紅外線溫度計之量測性能均為低估，低估範圍為-0.5~-2.6°C與-2.1~-3.8°C。無法以讀出值直接代表體溫值。四型額溫計量測性能在正常人體額溫為 36°C時量測誤差均為高估，而且為 0.5°C以上。
3. 以校正公式改善量測性能，在 34°C~38°C之量測範圍，其準確性在 0.21°C~0.35°C之範圍，其精密性為 0.3°C~0.5°C範圍。結果顯示紅外線溫度計藉由適當校正公式，可改善性能並適用體溫量測。
4. 有關紅外線溫度計之性能改善方式建議，包括調整固定誤差值，使用校正公式計算量測值，依對照表對於額溫計讀出值加以對照，與溫度計製作公司之硬體改善。
5. 使用額溫計性能不良其根本原因在於國內目前耳溫計缺乏法令可以界定與約束。建議主管單位將其列管為應施檢定之方法定量衡器，才能保障使用者權益以及有效協助疫情。

六、參考文獻

- [1] 李茂山·林金生·林文貴。(2014)。耳溫槍性能與準確性之探討。標準檢驗局台南分局自行研究報告。報告書編號 103-65。經濟部標準檢驗局·台南。
- [2] 吳宗儒·陳濤·陳宏源·陳加忠。(2020)。紅外線額溫計之性能評估。農林學報 審稿中
- [3] 中國計量科學研究院。(2020)。體溫篩檢用紅外線溫度計準確度臨時核查方法建議。中國北京市。
- [4] Barnett, B.J., Nunberg, S., Tai, J., Lesser, M.L., Fridman, V., Nichols, P. (2011). Oral and tympanic membrane temperatures are inaccurate to identify fever in emergency department adults. *West J Emerg Med.* 12(4):505-511. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3236177/pdf/wjem-12-04-505.pdf>
- [5] Barry, T., Fuller, G., Hayatleh, K., Lidgely, J. (2011). Self-calibrating infrared thermometer for low-temperature measurement. *IEEE Trans Instru Meas.* 60(6), 2047-2052.
- [6] Berksoy, E.A., Anil, M., Bıcılıođlu, Y., Gökalp, G., Bal, A. (2018). Comparison of infrared tympanic, non-contact infrared skin, and axillary thermometer to rectal temperature measurements in a pediatric emergency observation unit. *Int J Clin Exp Med.* 11, 567-573.
- [7] Bitar, D., Goubar, A., Desenclos, J.C. (2009). International travels and fever screening during epidemics: a literature review on the effectiveness and potential use of non-contact infrared thermometers. *Euro Surveill* 14(6). Available from: <http://www.eurosurveillance.org/images/dynamic/EE/V14N06/art19115.pdf>
- [8] Chen, C. (2009). Evaluation of resistance-temperature calibration equations for NTC thermistors. *Measurement* 42(7): 1103-1111.
- [9] Chen, H., Chen, A. and Chen, C. (2020). Investigation of the impact of infrared sensors on core body temperature monitoring by comparing measurement sites. *Sensors* 20, 2885.
- [10] Chiappini, E., Sollai, S., Longhi, R., Morandini, L., Laghi, A., Osio, C.E. (2011). Performance of non-contact infrared thermometer for detecting febrile children in hospital and ambulatory settings. *J Clin Nurs.* 20(9-10), 1311-1318.
- [11] Cho, K.S., Yoon, J. (2014). Fever screening and detection of febrile arrivals at an international airport in Korea: association among self-reported fever, infrared thermal camera scanning, and tympanic temperature. *Epidemiol Health* 36:e2014004. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4101989/pdf/epih-36-e2014004.pdf>
- [12] Chue, A.L., Moore, R.L., Cavey, A., Ashley, E.A., Stepniowska, K., Nosten, F. (2012). Comparability of tympanic and oral mercury thermometers at high ambient temperatures. *BMC Res.* 5:356. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3496650/pdf/1756-0500-5-356.pdf>
- [13] Dzarr, A.A., Kamal, M., Baba, A.A. (2009). A comparison between infrared tympanic thermometry, oral and axilla with rectal thermometry in neutropenic adults. *Eur J Oncol Nurs.* 13(4), 250-254.
- [14] European Standard EN 12470-5. (2003). Clinical thermometers - Part 5: Performance of infra-red ear thermometers (with maximum device). Ref. No. EN 12470-5:2003 E.
- [15] Fortuna, E.L., Carney, M.M., Macy, M., Stanley, R.M., Younger, J.G., Bradin, S.A. (2010). Accuracy of non-contact infrared thermometry versus rectal thermometry in young children evaluated in the emergency department for fever. *J Emerg Nurs.* 36(2), 101-104.
- [16] Jefferies, S., Weatherall, M., Young, P., Beasley, R. (2011). A systematic review of the accuracy of peripheral thermometry in estimating core temperatures among febrile critically ill patients. *Crit Care Resusc.* 13(3):194-199.
- [17] Liess, M., Karagözoglu, H., Ernst, H. (2009). Reducing thermal transient induced errors in

- thermopile sensors in ear thermometer applications. *Sensor Actuat A-Phys.* 154, 1-6.
- [18] Mangat, J., Standley, T., Prevost, A., Vasconcelos, J., White, P. (2010). A comparison of technologies used for estimation of body temperature. *Physiol Meas.* 31(9), 1105-1118.
- [19] Mogensen, C.B., Wittenho, L., Fruerhøj, G., Hansen, S. (2018). Forehead or ear temperature measurement cannot replace rectal measurements, except for screening purposes. *BMC Pediatrics* 18, 15.
- [20] Nguyen, A.V., Cohen, N.J., Lipman, H., Brown, C.M., Molinari, N.A., Jackson, W.L. (2010). Comparison of 3 infrared thermal detection systems and self-report for mass fever screening. *Emerg Infect Dis.* 16(11):1710-1717.
- [21] Oyakhrome, S., Profanter, K., Kreamsner, P.G. (2010). Assessment of fever in African children: implication for malaria trials. *Am J Trop Med Hyg.* 82(2):215-218. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2813159/pdf/tropmed-82-215.pdf>
- [22] Priest, P.C., Duncan, A.R., Jennings, L.C., Baker, M.G. (2011). Thermal image scanning for influenza border screening: results of an airport screening study. *PLoS ONE* 24, 6(1):e14490. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3016318/pdf/pone.0014490.pdf>
- [23] Rabbani, M.Z., Amir, M., Malik, M., Mufti, M., Bin, P.M., Iftkhar, S. (2010). Tympanic temperature comparison with oral mercury thermometer readings in an OPD setting. *J Coll Physicians Surg Pak.* 20(1), 33-36.
- [24] Rubia-Rubia, J., Arias, A., Sierra, A., Aguirre-Jaime, A. (2011). Measurement of body temperature in adult patients: comparative study of accuracy reliability and validity of different devices. *Int J Nurs Stud.* 48(7):872-880.
- [25] Selent, M.U., Molinari, N.M., Baxter, A., Nguyen, A.V., Siegelson, H., Brown, C.M. (2013). Mass screening for fever in children: a comparison of 3 infrared thermal detection systems. *Pediatr Emerg Care.* 29(3), 305-313.
- [26] Smitz, S., Van de, W.A., Smitz, M.F. (2009). Reliability of infrared ear thermometry in the prediction of rectal temperature in older inpatients. *J Clin Nurs.* 18(3), 451-456.
- [27] Teran, C.G., Torrez-Llanos, J., Teran-Miranda, T.E., Balderrama, C., Shah, N.S., Villarroel, P. (2012). Clinical accuracy of a non-contact infrared skin thermometer in paediatric practice. *Child Care Health Dev.* 38(4), 471-476.
- [28] Yae-Bellany, D. (2020). Thermometer Guns' on Coronavirus Front Lines are "Notoriously not Accurate" . *The New York Times*. Available online: <https://www.nytimes.com/2020/02/14/business/coronavirus-temperaturesensor-guns.html> (accessed on 30 May 2020).

2020年06月06日 收稿

2020年07月27日 修正

2020年09月12日 接受

