

## スポーツ現場での深部体温測定における体温連続モニタリングシステムの有用性

小松孝行<sup>1</sup>, 深尾宏祐<sup>2</sup>, 伊藤勇太<sup>3</sup>, 大杉一平<sup>1</sup>, 山本悠矢<sup>1</sup>, 武者春樹<sup>4</sup>, 山澤文裕<sup>5</sup>  
藤谷博人<sup>6</sup>, 真鍋知宏<sup>7</sup>, 長門俊介<sup>2</sup>, 仲村明<sup>2</sup>, 山崎一彦<sup>2</sup>, 杉田学<sup>1</sup>

<sup>1</sup>順天堂大学医学部附属練馬病院 救急・集中治療科

<sup>2</sup>順天堂大学スポーツ健康科学部スポーツ科学科

<sup>3</sup>東京慈恵会医科大学 腫瘍血液内科

<sup>4</sup>かえでファミリークリニック

<sup>5</sup>丸紅健康開発センター

<sup>6</sup>聖マリアンナ医科大学 スポーツ医学講座

<sup>6</sup>慶應義塾大学スポーツ医学研究センター

### 1. はじめに

熱中症は、日常生活において室内などで生じる「非労作性」と身体活動を伴うことにより生じる「労作性」の2つに大別され、深部体温 $\geq 40^{\circ}\text{C}$ となれば不可逆的な細胞障害を来すため、発症 30 分以内の冷却開始が必要とされている<sup>1)</sup>。このため労作性熱中症を来し得るスポーツ現場における早期発見においては、主観的な自覚症状だけでなく、パフォーマンスの低下や体温測定によって早期発見することも重要である。

一方、スポーツ現場における治療において、冷却輸液は困難であるため、同等の冷却効果を持つアイスバスを利用した Cold Water Immersion (以下 CWI)法が世界的に推奨されている<sup>2-7)</sup>。熱中症の診断だけでなく、CWI の適応判断や施行中の体温モニタリングとして深部体温の測定が必要とされているが、現在推奨されている直腸温の測定は、本邦で日常的に施行されている体温測定方法ではなく、手技時の安全性や感染対策、あるいは国民性などの観点から普及しているとはいえず、簡便かつ安全な深部体温測定方法が求められている。

Temple Touch PRO<sup>TM</sup>(以下 TTP, MEDISIM 社製)は浅側頭動脈直上に貼付したセンサーキットによって皮膚温から深部体温(以下 TTP 温)を算出するデバイスであり、既に手術中患者において直腸温との相関が示されているが<sup>8)</sup>、スポーツ現場での有用性に関して検討した報告はない。そこで本研究ではスポーツ現場での深部体温測定における TTP の有用性を検討した。

### 2. 研究方法

#### 2.1 対象と測定環境

本研究は大学陸上競技部長距離部門に所属し文書によるインフォームドコンセントの得られた健常な男子選手 25 名を対象に、直腸温と TTP 温の測定誤差に関して検討した前向き観察研究である。本研究はヘルシンキ宣言に基づき、順天堂大学医学部研究等倫理委員会の承認を得ている(順大医倫 2020142 号)。新型コロナウイルス感染症蔓延に伴う施設利用制限などのため、測定に際しては選手の安全性とパフォーマンスへの影響を考慮し、通常練習の時間を

利用し 2020 年 9 月 22 日 16 時-18 時にかけて行った。測定場所は練習環境と測定場所の移動を少なくするため、陸上競技トラック横に併設されている屋根のあるサブトラック内にビニールシートで遮蔽をした仮設テントを作成し、プライバシーへの配慮と測定時の風を遮蔽した。

## 2.2 測定項目

### 2.2.1 一般的項目

測定時の天候、湿球黒球温度(wet bulb globe temperature:以下 WBGT)、各選手の年齢、身長、体重に関して調査した。

### 2.2.2 体温測定

通常練習メニューの合間に測定するため、測定タイミングは練習開始前(開始前)、アップ終了後(2回目)、インターバルトレーニング終了後(3回目)の計3回に設定した。なお本研究は同一時間に測定した各体温測定誤差に関する検討であり、練習内容により3回目の測定がない選手が存在することに関しては容認した。

体温は同一時間における直腸温と TTP 温を測定した。直腸温は側臥位の状態で、使い捨てプローブカバー(Medarchitect 社製)を装着した直腸用体温計(テルモ社製)にワセリンを塗布し肛門より 4-5cm 挿入し測定した。TTP 温は浅側頭動脈部の皮膚に付着した汗を乾燥したタオルで拭き取った後にセンサーキットを貼付し測定した。

## 2.3 統計解析

年齢、身長、体重に関しては平均値(mean)と標準偏差(standard deviation;以下 SD)を算出した。また直腸温と TTP 温との測定誤差に関しては Bland-Altman 分析<sup>9)</sup>により検討した。本法は同時に施行した二つの方法による測定値の差を検討する検定法であり、測定値の差の平均(Bias)とその SD を算出し、Bias $\pm$ 1.96SD から計算される 95%一致限界(95% limits of agreement, 以下 95% LOA)を求め、また各測定値の差と平均から作成された Bland-Altman plot によって両者の互換性を判断する方法である。互換性の判断においては明確な基準が存在しないが、直腸温と TTP 温を直接比較した先行研究<sup>8)</sup>を参考に、Bias が $\pm$ 0.5 $^{\circ}$ Cの誤差を許容範囲とした。

統計ソフトは IBM SPSS Statistics Desktop Version 23.0(SPSS Inc., USA)を用い、有意水準は  $p < 0.05$  とした。

## 3. 結果

全 25 名の選手(表 1)に対して合計 67 回(3 回目施行選手:17 名)の測定を行った(表 2)。運動開始後から 2 回目、3 回目までの経過時間の中央値は、各々 35 分[Interquartile range:以下 IQR: 30, 60]と 75 分[IQR: 70, 110]であった。開始前、2 回目および 3 回目における Bias[上限 95%LOA, 下限 95%LOA]はそれぞれ-0.37[0.77, -1.52]、-1.44[0.28, -3.17]、-1.12[-0.09, -2.15]であり、また Bland-Altman plot は図 1-3 に提示した通りであり、開始前のみ Bias の絶対値は 0.5 $^{\circ}$ C未満であった。

なお天候は測定期間中一貫して曇りであり、WBGT は開始前、2 回目時、3 回目時それぞれ 20.4 $^{\circ}$ C、

20.3°C、20.3°Cであり熱中症を発症した選手は認めなかった。

#### 4. 考察

本研究ではスポーツ現場における直腸温と TTP 温の測定誤差に関して検討した。対象となった選手はいずれも長距離部門の競技特性上、同様の体型であり、また各測定時における WBGT の変化も認めず、今回は体型や WBGT に関して層別化は行わなかった。

開始前の直腸温と TTP 温の誤差は許容範囲内であったが、2 回目、3 回目に関しては許容範囲外の誤差であった。また直腸温は運動強度の増加に伴い上昇していたが、TTP 温の上昇は認めなかった。TTP 温の正確な深部体温推定のアルゴリズムは公開されていないが、TTP はセンサー直下の浅側頭動脈(表在直下もしくは 1cm 未満の深度に位置している)から体表に向かう熱流束(単位時間、単位面積あたりに移動する熱量)を、体表温を元に 2 つのセンサーで得られた温度変化として捉え、深部体温を算出する測定原理となっている(図 4)。このため断熱材によって環境温がセンサー自体に与える影響はほとんどないとされるものの、「皮膚温」自体に影響する因子は全て TTP 温に影響すると考えられる。先行研究<sup>9)</sup>では発汗することもなく、手術室という皮膚温の変動がほとんどない状態で測定されているが、本研究においては汗を乾燥したタオルで拭き取ってはいるものの、汗の蒸発による気化熱により皮膚温が低下した可能性や、表皮とセンサーキットの間に僅かな水分の層が存在し熱伝導を低下させた可能性がある。また競技特性上、走行時のスピードと時間によって生じる皮膚直上の対流や WBGT20°C の環境自体によって皮膚温が低下した影響も考慮された。

一方、2 回目および 3 回目の誤差は許容範囲外であったものの、2 回目から 3 回目にかけて Bias は 0 に近づき、LOA 幅も狭小化しばらつきも軽減した。これは測定者の測定手技や汗を拭き取る作業の質の向上の要素もあり、検者内信頼性の検討も考慮したが、先述の如く皮膚温低下する因子が多く今回は見送った。

屋外暑熱環境下での体温測定に関しては、Casa らが報告した Exergen 社の TAT-2000C を用いて側頭動脈温と直腸温を比較した研究<sup>10)</sup>があり、同研究では WBGT22.6°C~32.6°C の環境下の中で、運動開始後 240 分経過するまでに計 7 回測定が行われた結果、Bias[上限 95%LOA, 下限 95%LOA]は-1.46[0.70, -3.62]であり、有効性はないとする結論であった。しかし、同研究では各場面での検討はなされておらず、測定機器間の測定原理の違いもあるかもしれないが、本研究では少なくとも運動開始前においては、TTP 温は深部体温として利用できることが明らかになった。これにより、競技開始前のコントロールとしての深部体温測定においては TTP 温が代用可能であると考えられた。

また近年では Bias よりも LOA を重要視するという意見もあり<sup>11)</sup>、皮膚温が低下することが想定される運動中(すなわち Bias がマイナスになる状況)においても、3 回目のように LOA 幅が狭ければ近似式を作成できる可能性もあると考えられた。なお本研究においては直腸温=1.02 × TTP 温+0.21(p=0.02537)という近似式を作成することが出来たが、このように作成した近似式の妥当性に関しては今後追加検討が必要である。LOA 幅の狭小化のためには皮膚温への影響因子の軽減が必要であり、競技中断から TTP 温測定までの時間、汗の拭きとり方法などの要素に関しても比較検討が必要である。

また本研究においては WBGT が低く屋外環境での陸上競技を対象としたが、今後は WBGT 高値下、屋内環境下、他競技において検討が必要である。

## 5. まとめ

大学陸上競技長距離男子選手において、直腸温と TTP 温の測定誤差に関して前向きに検討した。TTP 温は、運動開始前の深部体温として直腸温の代用として妥当な測定値であった。また種々の要素により皮膚温が低下する運動開始後の経時的なモニタリングにおいても近似式を作成でき得ることが示唆された。

## 謝辞

本研究の遂行において研究助成を受け賜りました公益財団法人ミズノスポーツ振興財団に厚く御礼申し上げます。また、本研究の遂行にあたり故大槻穰治先生に御協力賜りましたことに感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) Belval LN, Casa DJ, Adams WM, et al. Consensus statement—prehospital care of exertional heat stroke. *Prehosp Emerg Care*. 2018; 22:392-7.
- 2) Heled Y, Rav-Acha M, Shani Y, et al. The “goldenhour” for heatstroke treatment. *Milit Med*. 2004; 169: 184-6.
- 3) O’ Connor JP. Simple and effective method to lower body core temperatures of hyperthermic patients. *Am J Emerg Med*. 2017; 35: 881-4.
- 4) Wyndham CH, Strydom NB, Cooke HM, et al. Methods of cooling subjects with hyperpyrexia. *J Appl Physiol*. 1959; 14:771-6.
- 5) Plattner O, Kurz A, Sessler DI, et al. Efficacy of intraoperative cooling methods. *Anesthesiology*. 1997; 87: 1089-95.
- 6) McDermott BP, Casa DJ, Ganio MS, et al. Acute whole-body cooling for exercise-induced hyperthermia: a systematic review. *J Athl Train*. 2009; 44: 84-93.
- 7) Smith JE. Cooling methods used in the treatment of exertional heat illness. *Br J Sports Med*. 2005; 39: 503-7.
- 8) Evron S, Weissman A, Toivis V, et al. Evaluation of the Temple Touch Pro, a Novel Noninvasive Core-Temperature Monitoring System. *Anesth Analg*. 2017;125(1):103-9.
- 9) Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1(8476):307-10.
- 10) Casa DJ, Becker SM, Ganio MS, et al. Validity of devices that assess body temperature during outdoor exercise in the heat. *J Athl Train*. 2007 Jul-Sep;42(3):333-42.
- 11) 小竹良文, 佐藤暢一. Bland-Altman 法による心拍出量モニタの精度評価. *日集中医誌*. 2000; 16: 263-72.

表 1 選手背景

	n=25 (mean±SD)
年齢 (歳)	19.72±1.21
身長 (m)	1.71±0.06
体重 (kg)	55.58±3.96
BMI	19.08±0.81

SD: Standard deviation

BMI: Body mass index

表 2 体温測定結果①

Subject Number	開始前 (WBGT:20.4℃)		2 回目 (WBGT:20.3℃)		3 回目 (WBGT:20.3℃)	
	直腸温(℃)	TTP 温(℃)	直腸温(℃)	TTP 温(℃)	直腸温(℃)	TTP 温(℃)
1	37.6	37.5	38.4	36.3	N/A	N/A
2	36.9	37.3	36.5	33.4	37.3	37.1
3	37	36.2	38	36.4	37.9	37
4	37	37	37.1	36.6	36.8	36.3
5	36.7	36.1	37.9	36.8	N/A	N/A
6	37.7	36.9	38.4	35.4	36.8	36.6
7	37.1	36.2	37.9	35.3	37.4	36.3
8	36.6	36.4	37.2	36.7	N/A	N/A
9	36.4	37	36.9	36.7	N/A	N/A
10	36	36.2	36.9	36.2	N/A	N/A
11	36	36.5	37.4	36.8	N/A	N/A
12	36.1	36.4	36.9	36.5	38.2	36.9
13	36.5	36.1	37.5	36.6	38.1	36.7
14	37.2	36.2	37.8	37.5	N/A	N/A
15	36.4	36.7	38.2	36.3	37.6	36.5
16	36.6	35.9	37.4	36	N/A	N/A
17	37.2	35.8	37.3	36.6	38	36.7
18	36.9	36.5	38.2	36.8	38.1	36.7
19	37.4	37.1	38	36.9	39.1	37.2
20	37.2	36.5	38.3	36.2	38.5	37
21	37	35.7	38.5	36.8	38.4	37.2
22	37.1	36.3	38.8	36.8	38.4	36.4
23	36.5	36.8	37.6	36.3	37.8	37.3
24	38	36.9	38.6	35.6	38.7	37.2
25	37.5	37.1	38.3	36.4	37.9	36.8
平均±SD	36.9±0.53	36.5±0.48	37.8±0.63	36.3±0.78	37.9±0.62	36.8±0.33

WBGT: Wet blub globe temperature

TTP: Temple Touch PRO™

N/A: Not available

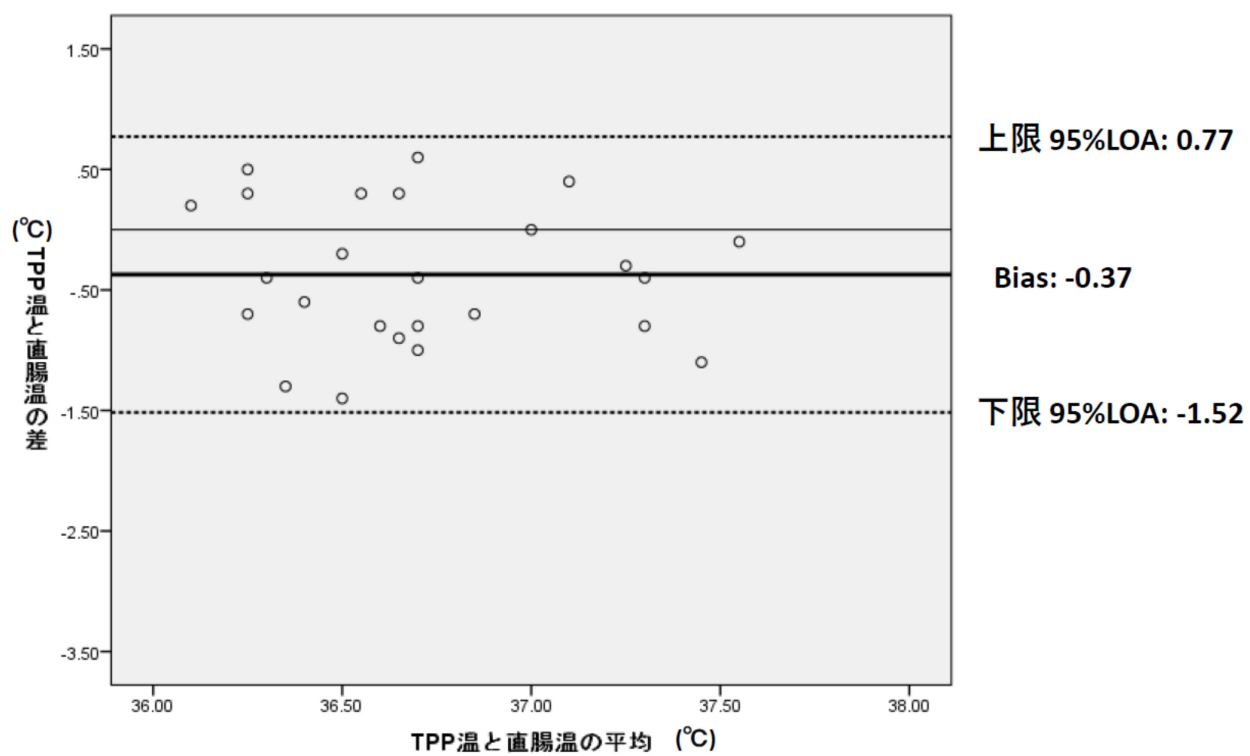
SD: Standard deviation

表 3 体温測定結果②

	開始前 (n=25)	2 回目 (n=25)	3 回目 (n=17)
Bias (°C)	-0.37	-1.44	-1.12
[上限 95%LOA, 下限 95%LOA]	[0.77, -1.52]	[0.28, -3.17]	[-0.09, -2.15]

Bias: TTP 温と直温の差の平均値

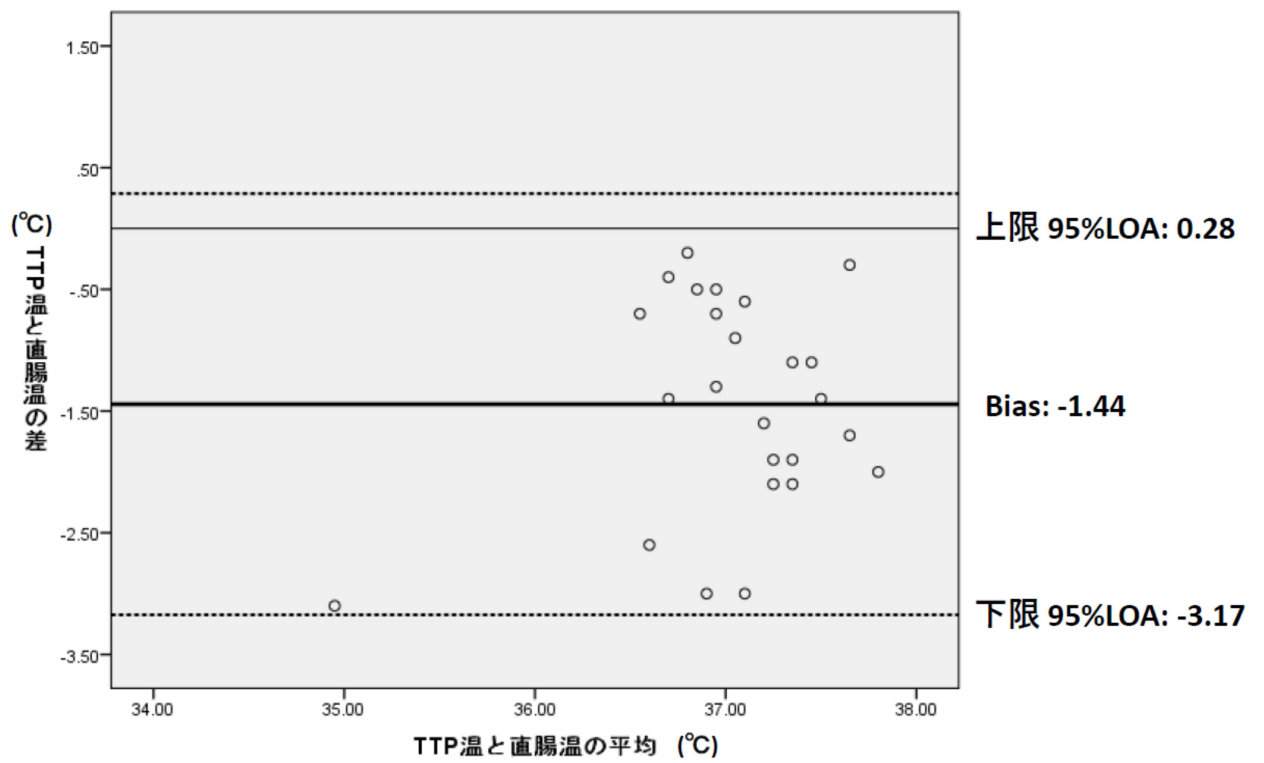
LOA: Limits of agreement



LOA: Limits of agreements

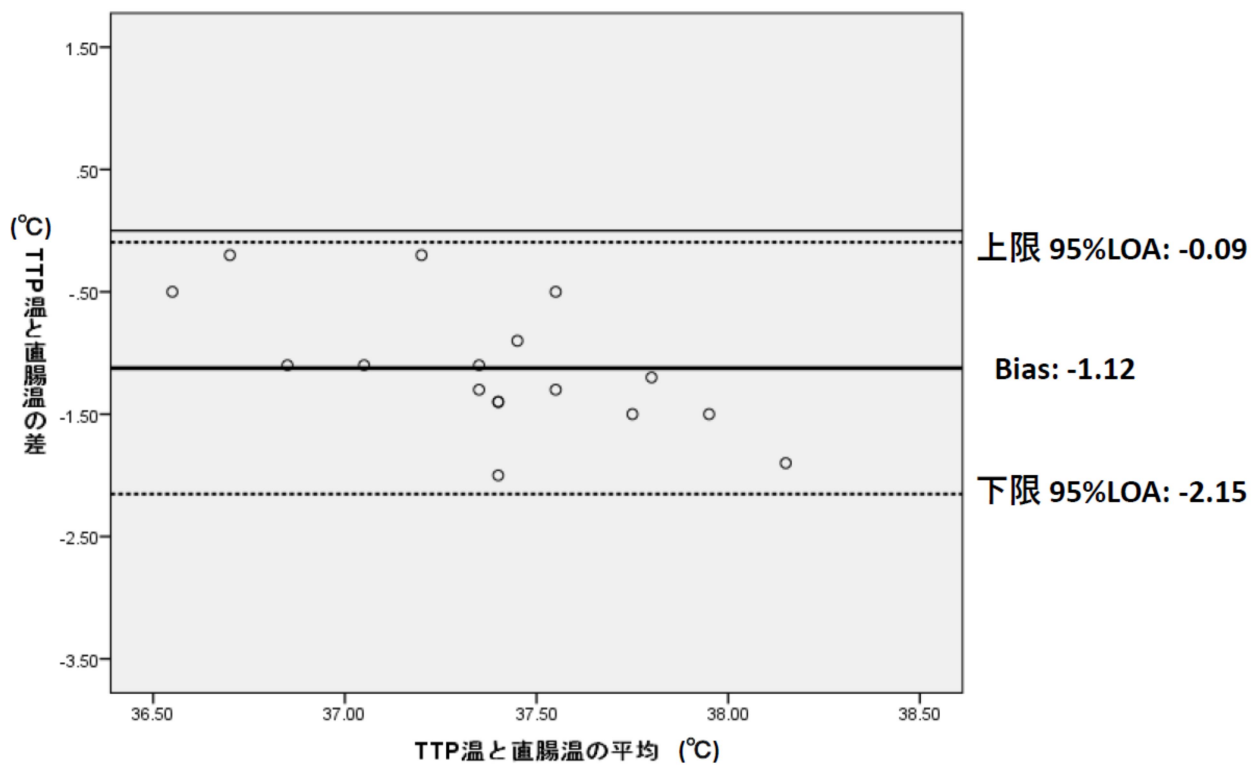
図 1. Bland-Altman plot(開始前)





LOA: Limits of agreements

図 2. Bland-Altman plot (2 回目)



LOA: Limits of agreements

図 3. Bland-Altman plot(3回目)

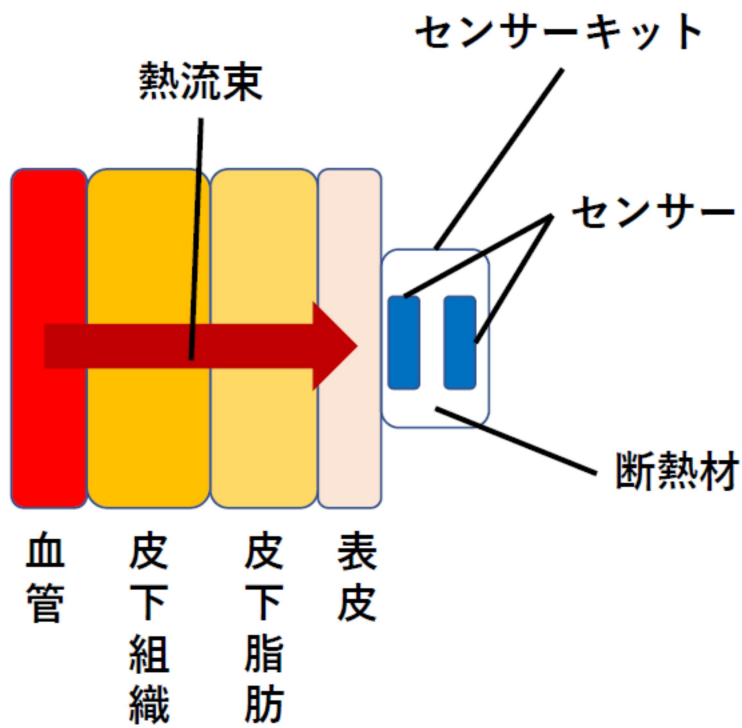


図 4. TTP の構造と測定原理の模式図