GI pillを用いた運動時における深部体温の測定

Measurement of body core temperature during exercise using GI pill

奥　田　鉄　人（人間科学部スポーツ学科教授）
Tetsuhito OKUDA (Faculty of Human Sciences, Department of Sports Science, Professor)
宇　田　知　史（人間科学部スポーツ学科4年生）
Tomofumi UDA (Faculty of Human Sciences, Department of Sports Science, Senior)
安　田　光太郎（人間科学部スポーツ学科卒業生）
Koutaro YASUDA (Faculty of Human Sciences, Department of Sports Science, Graduate)

〈要旨〉

熱い時期に行われるスポーツにおいては高体温が問題となり，寒い時期に行われるスポーツにおいては低体温が問題になる。いずれの状態においても急に異常な体温になるわけではなく，その間の体温のモニタリングを行うことができれば重篤な状態に陥るのを防ぐことが可能である。正確な体温の計測のためには深部体温を計測する必要があり，深部体温の計測には鼓膜温や直腸温が用いられるが，鼓膜温度の測定には習熟が必要で，直腸温では体内深くまでプローブを挿入する必要があり侵襲的である。またこれらは持続的に測定することが困難である。近年,簡易的かつ持続的にリアルタイムで深部体温を測定できるGI pill(Gastro Intestinal pill：カプセル式体温計）を用いた研究が進んでいる。暑熱状態，寒冷状態の2つの異なる環境下で運動した際の深部体温をモニターしその結果を考察した。

〈キーワード〉
深部体温，運動，高体温，低体温

1　背景と目的

夏季の暑い時期に行われるスポーツ活動は，高体温やけいれん等を主徴とする熱中症が発生しやすい。特に野球は熱中症発症件数および熱中症による死亡件数が最も多いスポーツである[1]。暑熱環境下の中で運動を長く続けると熱産生量が増えるだけでなく，熱放散も制限されているため深部体温が急激に上昇し熱中症に陥る。

逆に冬季の寒い時期に行われるスポーツでは低体温症が発生しやすい。低体温症は直腸温などの深部体温が35℃未満となった状態と定義され，35～32℃を軽症，32～28℃を中等症，28℃未満を重症と分類される。軽症の場合，運動停止，ふるえ，判断力低下など，中等症以上の場合は，意識障害，徐脈となり最終的には心停止となる[2]。3月初旬に開催されている東京マラソンにおいて，2007年～2010年の4大会でモバイルAED（Automated External Defibrillator：自動体外式除細動器）隊とBLS（basic life support：一次救命処置）隊が救護所以外のコースで救護対応したランナーの傷病は，筋肉痛・関節痛等の外傷を除くと低体温症の割合が一番多い[3]。

深部体温の測定方法は，直腸温や鼓膜温などを使用するが，直腸温では計測のために体内深くまでプローブを挿入する必要がある。侵襲的で測定が難しく特殊な器機を必要とするためスポーツ現場における計測は現実的ではない。近年，簡易的に深部体温を測定できるものとしてカプセル式体温計が開発された[4]。カプセル式体温計は，腸管内での深部体温を測定するものであり，総称してGI pill（Gastro Intestinal pill）と呼ばれている[5]。GI pill の種類として，e-Celsius，CorTemp，VitalSense，myTempなどがあり，Bongersらの研究では，これら4つのGI pillを用いて，温度制御された水槽内での有効性と信頼性を検討した実験では，カプセル式深部体温計に優れた妥当性，信頼性が見られたと報告している[4]。

今回の研究ではBodycap社製のe-Celsiusを使用し暑熱状態，寒冷状態の2つの異なる環境下で運動した際の深部体温をモニターしその結果を考察する。

2　実験①　暑熱環境での運動

2－1　対象

被験者は普段から野球をしていて暑熱順化している野球経験者3名である。被験者には，事前に本研究の目的や測定内容，測定時の危険性について口頭で説明し，参加の同意を得た。

2－2　実験方法

被験者は，夏季に開催されたアマチュアの野球の1試合（7イニング制）において，試合開始3時間前にGI pill（e-Celsius: Bodycap, Hérouville-Saint-Clair, France）を飲用してもらいその後試合翌日の朝まで深部体温を計測した。飲用時間を3時間前に設定した理由は，予備実験において，約2時間で体温が安定したこと，一般的に摂取したものが小腸までに届くまで約3時間かかるといわれているためである。試合は2020年8月9日に富山県高岡市の球場で開催された。被験者のポジションはピッチャー，キャッチャー，センターの3ポジションに限定し実験を行った。被験者には試合中の水分摂取は自由とし，使用した飲料は冷蔵のものを飲用し，試合前後の体重を測定した。測定時間は30秒間隔とした。

データの採取方法は，ActivatorにGI pillをセットし（図1），e-Viewer（図2）を近づけActivatorのボタンを押すことにより，接続が始まりその後は体とe-Viewerを約1～2mまで近づけることによりデータを採取することができる。

被験者にはカプセル飲用後から翌日の朝まで便の排泄は禁止とし，1日の経過を同条件で行うために3名の1日に摂取する食事を同じとし，アルコール類の摂取も不可とした。また，夜間の睡眠時の冷房の使用を不可とし実験を行った。

ほかに試合開始前と試合終了後の体重，試合中の飲水量および1時間当たりの推定の発汗量（不感蒸泄は含めず）を測定した。試合開始時の気温は31℃，WBGT（Wet Bulb Globe Temperature：湿球黒球温度）は28.6℃の状況で試合を行った。WBGTは環境省熱中症予防情報サイトを参照した。

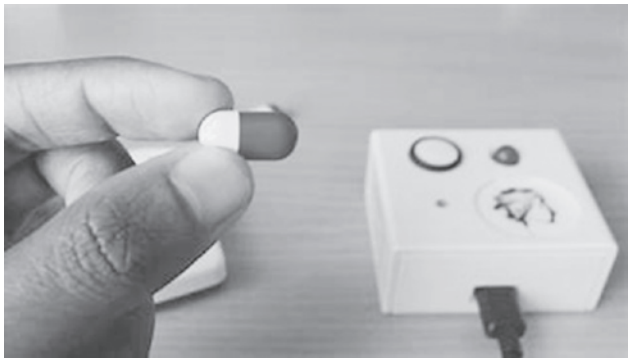


図1．e-Celsius 右.Activator

図2．e-Viewer
（上数値．現在体温．左数値．最低体温．右数値．最高体温）

3　結果（暑熱環境での運動）

3－1　気温，WBGTの変化（図3）

試合開始の気温は31℃でWBGTは28.6℃であった。また,試合終了後には，温度，WBGTともに上昇し気温は32.4℃，WBGTは30.5℃と上昇した。

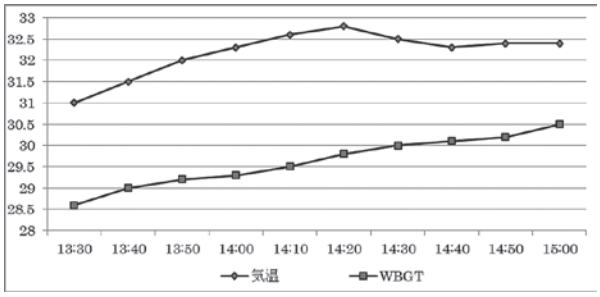


図3．試合開始から終了までの気温,WBGTの変化
（試合開始13時30分，試合終了15時）

3－2　体重の減少

試合前の体重と試合後の体重を比較した結果，推定発汗量は，ピッチャーは3.3kg（飲水量は1ℓで体重減少は－2.3kg）で体重の3.2％の減少。センターの推定発汗量は2.9kg（飲水量は1ℓで体重減少は－1.9kg）であり体重の2.6％減少。キャッチャーの推定発汗量は2.5kg（飲水量は1.5ℓで体重減少は－1.0kg）で体重の1.1％の水分が減少した。試合開始前から終了後まで3名とも排尿は行わなかった。特にピッチャーの発汗量が多く，3％以上の体重減少はパフォーマンスに影響を及ぼす値であった。

3－3　試合開始前の深部体温の変化（図4）

GI pillを飲用した10時30分以後，11時からの測定結果を示す。試合開始前（13時30分）までの深部体温の変化は，キャッチャーはウォーミングアップ開始（12時15分）までの安定時体温は約37.5℃であった。また，ウォーミングアップ開始から試合開始前まで深部体温は約1℃上昇した。ピッチャーは，ウォーミングアップ開始前の安定時体温は約37.3℃であったが，飲用してから試合開始前まで体温が安定せず，12時15分頃の急激な体温の低下は胃または十二

指腸の中にGI pillがあり水分摂取の影響を受けたものと考えられ，正確な測定ができなかった。センターの安定時体温は約37.1℃であったが，ピッチャーと同様13時10分頃まで体温が安定しなかったが（水分摂取による体温の低下），その後は安定して体温を測定でき，安定時体温より試合開始前の体温は約1.5℃上昇した。

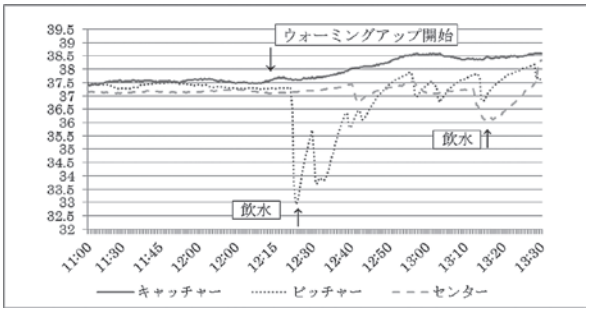


図4．飲用から試合開始前までの深部体温の変化

3−4　試合開始から終了後までの深部体温の変化（図5）

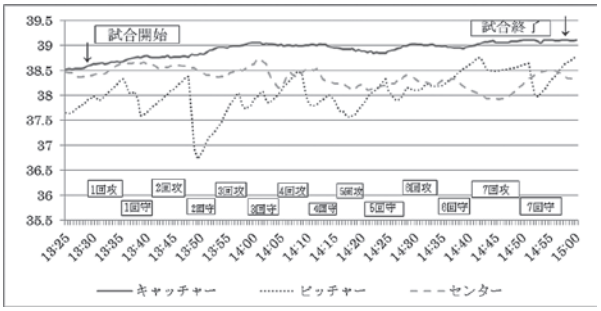


図5．試合開始から終了後までの深部体温の変化

試合開始から試合終了後までの深部体温の変化は，キャッチャーは試合開始時の深部体温は38.5℃でありそこから体温が上昇を続け，試合終了後にはこの日の最高体温である39.1℃まで上昇した。通常時体温と比べると約1.6℃上昇した。ピッチャーの深部体温の変化は試合開始直後まで腸までpillが届いておらず若干のばらつきがあったが，試合開始20分後の13時50分頃には徐々に安定した体温が測定できた。ウォーミングアップ開始前の安定時体温は約37.3℃であり，そこから体温が上昇を続け，試合終了後には38.8℃まで上昇し，試合終了までに体温は1.5℃上昇した。センターの深部体温の変化は，ウォーミングアップ前の安定した体温は約37.1℃であり，試合開始前に体温が上昇を始めたが，キャッチャー，ピッチャーとは異なり，上昇を続けることはなく，試合途中（14時頃）には体温が下がり始めたが，その後の体温は上昇，低下を繰り返した。この日の最高体温は38.7℃であり，安定時体温から1.6℃体温が上昇した。

3−5　試合後の深部体温の変化（図6）

3名の試合終了後の深部体温の変化を比較すると，試合終了から約30分後から体温が下がり始めた。ピッチャーとキャッチャーは試合終了後約2時間後に温水シャワーを約15分浴びたがその時に深部体温が上昇した。また，3名ともに試合終了後約3時間で体温は安定した。また3名とも睡眠と同時に深部体温が下がっていくことがわかった。

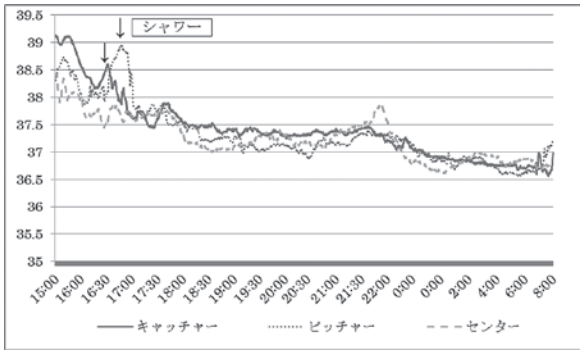


図6．試合終了後の深部体温の変化

4　考察（夏期の運動）

4−1　深部体温について

異なる環境下における運動時の深部体温を測定した研究では，15℃，25℃の環境に比べ35℃の暑熱環境では深部体温は，運動時間が長くなるにつれより高くなると報告されており[6]，暑熱環境下での長時間の運動により過度に深部体温が上昇することによって，熱中症の増加や，運動効率の低下がみられる[7]。これらのことから，暑熱環境下での運動時は，深部体温の持続的な計測が必要であるといえる。

4−2　GI pillについて

一般的に口から摂取された食べ物が胃の中から小腸に届くまでには，約3時間かかると言われており，GI pillが小腸まで届くと安定した体温が計測できるが，今回実験を行った3名を比べてみると，小腸まで届くスピードはヒトにより差がでることが考えられた。その理由として，スポーツ時は緊張やストレスにより消化管の蠕動運動が減弱し，消化スピードに差が出ることが考えられる。また，カプセルの位置によって測定値の差に大きく出るということも分かった。山末らはGI pillを用いた研究で，胃の中の温度の変動は小腸や大腸に比べ変動が多く，カプセルが胃の中にある状態で熱いお茶を飲むと39℃まで体温が上昇し，通常時体温に戻るまで5分かかったと報告している[8]。今回，本実験で使用したe-Celsiusの他の問題点としてピル1つの値段が高価で，ピルが大きいため滞留リスクが高いということがあげられる[9]。またGI pillは金属製品を含むため，摂取した状態で熱中症などによる重篤な状態に陥りMRI

検査が必要になった場合，MRI検査を受けることができないため注意が必要である。

本研究で使用したGI pillにより野球の試合中において深部体温を測定することが可能であると分かったが，データを採取するためにはロガーを身体に近づける必要があるため，リアルタイムでの深部体温測定は出来なかった。しかしながら現在は時計型のロガーが開発されており，時計を着用できるスポーツ（市民マラソンなど）であれば深部体温のデータをリアルタイムで採取することが可能であり，今後はそのデータをリモートでリアルタイムで監視できるようになることを期待する。

4－3　深部体温の変化について

ピッチャー，キャッチャー，センターの3ポジションに分け深部体温の変化を見たところ，特に運動量の多いピッチャー，キャッチャーは試合開始から試合終了後まで体温が上昇を続け，両名ともにだるさを感じ，5回裏（14時25分頃）には39℃近い体温になっていた。深部体温の平時の体温は37℃付近で保たれており，その値は熱産生量と熱放射量のバランスで決定される。深部体温が過度に上昇すると，認知機能が低下すると報告されている[10]こともあり，両名の深部体温はとても危険な状態であり，認知機能が低下し怪我をしやすい状態となっていた。

試合終了後の体温は3名ともに約30分で下がり始めた。運動終了後の皮膚温（腋下温など）は早い段階で運動前の値に回復するが，深部体温が回復するまでは時間がかかると報告されている[11]。また，暑熱環境下で行われた運動後の男性は，体内に熱を蓄積しやすいと報告されており[12]，深部体温の回復が遅いと考えられる。ピッチャーとキャッチャーは試合終了約2時間後に温水シャワーを浴びたがキャッチャーは通常体温と比べ約1℃上昇し，ピッチャーの深部体温は通常体温と比べ約1.5℃高い38.9℃まで上昇し，この日の最高体温まで上昇した。温浴は運動よりも深部体温が上昇するといわれており[13]，暑熱環境下で運動をした同日は，温水シャワーや入浴により容易に深部体温が上昇する可能性があり注意を要する。

運動後の過剰な体温を早く下げる方法として，アイスバスがあり，運動後5分間14℃のアイスバスに入ることで深部体温が低下したと報告されている[14]。アイスバスは運動終了後30分以内で温度は10℃～15℃が有用である。

5　実験②　寒冷状態での運動

5－1　対象

被験者はマラソン経験のない健康な男性3名を対象とした。

被験者には事前に本研究の目的や測定内容，測定時の危険性について口頭で説明し参加の同意を得た。

5－2　実験方法

被験者には陸上競技場内に約500mのコースを作成し84周（約42km）走行してもらいGI pill（e-Celsius）を用いて深部体温の測定を行った。走行開始時刻を9時，制限時間を7時間とした。GI pillは被験者に測当日5時に起床してもらい飲用してもらった。実験①で夏期のGI pillを用いた実験では飲用してから3時間でも温度が安定しなかったため，測定開始の4時間前に設定した。GI pillは実験①と同様に30秒ごとに計測し，その他に2周（1km）ごとに心拍数も測定した。走行中の飲食についてはスポーツドリンクと水を1kmごとに自由に摂取可能とし，食べ物は朝6時に朝食に塩おにぎり2個を食べてもらい，走行中は1時間ごとに提供し食べるかは自由とした。走行前後の体重，走行中の尿量，飲食の摂取量を測定し発汗量の測定を行った。

6　結果（寒冷状態での運動）

6－1　気象データ

表1は実験当日の天候および気温等の変化を示した。実験当日の天候は雨で強く降ったり弱まったりを繰り返すような雨だった。気温はスタート時8.3℃で12時50分に10.5℃になり，その後気温は下がり測定を終了した14時10分には4.6℃まで下がった。15時には1.3℃となり雪も降りだした。

表1　研究当日の気象データ

時刻	天候	気温（℃）	湿度（%）	降水量（mm）	風速（m/s）
9時	雨	8.3	91	4.5	5.5
10時	雨	8.2	86	2.5	7.5
11時	雨	8.4	86	1.0	6.9
12時	雨	8.8	76	1.5	8.2
13時	曇り	9.0	66	0.0	9.9
14時	雨	4.8	87	6.5	6.8
15時	雪	1.3	90	3.0	8.2

6－2　深部体温，心拍数，RPEの変化

6－2－1　走行前の変化（図8）

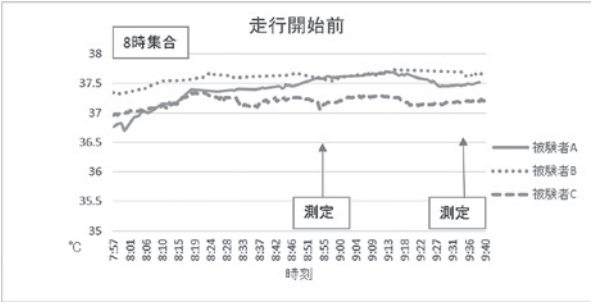


図8．走行前の深部体温の変化

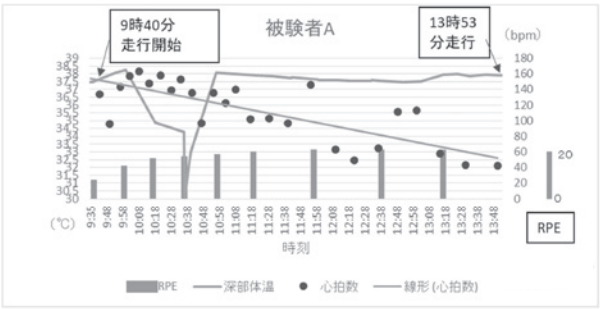
図8は走行前の深部体温の変化を表したものである。朝8時に集合してすぐの深部体温は被験者Ａが36.7℃被験者Ｂは37.3℃被験者Ｃは37.0℃だった。そこから各自アップを行ってもらい，スタート5分前の8時55分に再度測定を行ったところ被験者Ａは37.4℃で0.7℃上昇，被験者Ｂは37.6℃で0.3℃上昇，被験者Ｃは37.1℃で0.8℃上昇し3名とも深部体温が上昇した。ここで器材トラブルにより40分スタートが遅れ，その間被験者には自由に待機してもらった。

6－2－2　被験者Ａの走行中の変化（図9）

図9は被験者Ａの走行中の深部体温，心拍数，RPE（Rating of perceived exertion：自覚的運動強度）の変化を表した。被験者Ａは走行開始直後深部体温が38℃以上まで上昇した。その後被験者Ａは10時36分に一度30℃まで深部体温が下がった。これはちょうど水分摂取を行った時間でまだ胃または中十二指腸の中にカプセルが入っていたと考えられる。被験者Ａは11時50分を過ぎて17kmを通過した頃から歩行となったこの時の深部体温は37.7℃で心拍数は97，RPEは20のもうダメと答えた。心拍数において散布図から回帰直線を求めた。

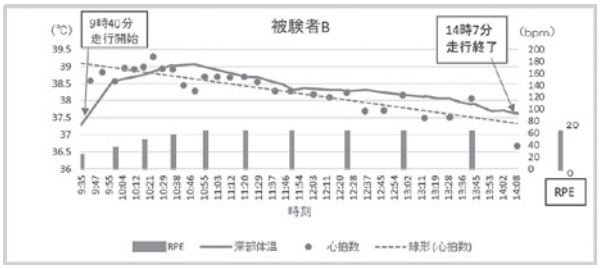
6－2－3　被験者Ｂの走行中の変化（図10）

図10は被験者Ｂの走行中の深部体温，心拍数，RPEの変化を表した。被験者Ｂは走行を開始してから約一時間後に39℃以上まで上昇した。39℃になる前に心拍数は188回とかなり高かった。その時のRPEは8と楽だと回答している。深部体温は39℃をピークに徐々に深部体温は低下していった。その後11時50分頃18kmを通過してからは歩行になった。この時の深部体温は38.3℃で心拍数は130回だった。またこのときRPEは20のもうダメと回答している。



時間	走行前	10時58分	10時16分	10時36分	10時56分	11時19分	11時56分	12時39分	13時17分
RPE	7	13	16	17	18	19	20	20	20

図9．（被験者Ａの深部体温，心拍数，RPEの変化）



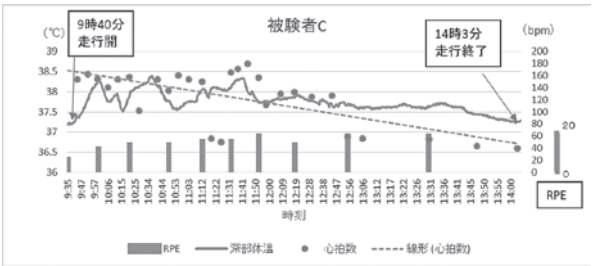
時間	走行前	10時59分	10時18分	10時38分	10時58分	11時23分	11時52分	12時27分	13時02分	13時45分
RPE	7	11	15	18	20	20	20	20	20	20

図10．（被験者Ｂの深部体温，心拍数，RPEの変化）

6－2－4　被験者Ｃの走行中の変化（図11）

図11は被験者Ｃの走行中の深部体温，心拍数，RPEの変化を表した。被験者Ｃは深部体温の上昇と低下を繰り返し，11時45分ごろからは約37.5℃で安定した。この上昇と低下を繰り返したのは深部体温が下がり始める前に水分摂取を行っており，それが原因で下がった可能性が考えられる。被験者Ｃは12時57分に24kmを通過してからは歩行となった。この時の深部体温は37.6℃でRPEは20でもう無理と回答している。

3名全員が歩行になっても1名も深部体温は急激に下がることはなく37℃以上を記録した。深部体温は低下しなかったが心拍数が低下していった。また最終的には被験者Ａが測定開始から4時間たった13時53分に26km地点で心拍数が42回／分となり心拍数が50回／分以下の徐脈と筋硬直の症状も見られためその時点で測定を終了とした。その後も被験者Ｃが14時3分に29km地点で心拍数が40回／分となった。被験者Ｂも14時7分に28km地点で心拍数が38回／分となりここで被験者全員が測定を終了した。最終的に深部体温が35℃未満になることはなく体温の低下の前に心拍数の低下が確認された。また結果から心拍数が減少したのち深部体温が低下している事も確認された。



時間	走行前	10時01分	10時23分	10時43分	11時5分	11時28分	11時47分	12時20分	12時57分	13時32分
RPE	7	13	15	15	17	17	20	15	20	20

図11．（被験者Ｃの深部体温，心拍数，RPEの変化）

6－3　体重の変化

表2は走行前と走行後の体重の変化を表した。体重のプラス分は△　マイナス分は▲で表示した。

表2　走行中の体重変化

	被験者A	被験者B	被験者C
走行前の体重	74.2kg	88.4kg	75.0kg
走行後の体重	72.8kg	87.4kg	74.8kg
体重の増減	－2.2kg	－1.0kg	－0.2kg
排尿量	1.32ℓ▲	0.3ℓ▲	0ℓ
飲水	900㎜△	900㎜△	800㎜△
食べ物	350g△	450g△	450g△

6－4　走行後の深部体温の変化（図12．図13）

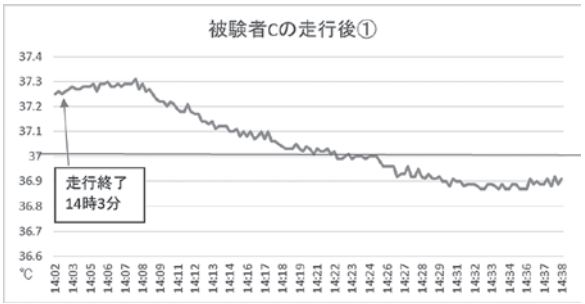


図12．（被験者Ｃの走行終了から解散までの深部体温の変化）

走行後の深部体温は被験者Ｃのみデータを取得できたため被験者Ｃのみのデータを示す。図12は走行終了後から解散するまでの深部体温を表した。測定終了後着替えを行いストーブや豚汁など温かい飲み物を提供した。その間深部体温は徐々に低下し36.9℃まで下がった。走行をやめたのにもかかわらず深部体温が減少した。

図13．（解散から翌日正午までの深部体温の変化）

図13は解散後から翌日の正午過ぎまでの深部体温の変化を表した。また解散してからは17時に入浴を行い入浴によって深部体温は37.1℃から37.8℃まで急激に上昇した。その後は36.5℃前後となった。実験日の集合時の深部体温と比べ翌日は0.3℃低かった。

7　考察（寒冷状態での運動）

7－1　深部体温の変化について

深部体温は走行を始めてから上昇し，その後低下する被験者もいたがずっと37℃以上を保っていた。また豊岡らの研究では人工気象室で室温10℃において相対強度50～80％VO_{2max}の運動強度で80分の走行でも直腸温は37℃から38℃の間でほとんど変化しなかった事が報告されている[15]。また測定終了後に深部体温の変化について栃原らは，寒冷曝露終期の直腸温低下度に対しして回復期当初の直腸温低下度が有意に大きいと報告している[16]。この様な寒冷環境から温めた後の大きな深部体温の再低下はアフタードロップと言われている。原因として温めた事による血管収縮解除により，血液が冷たい末梢組織を通って深部へ流れ込むためと言われている[17]。このような研究背景から低体温を疑った場合，運動は禁忌とされており，市民マラソンの救護の現場では走行を中止させている。

7－2　心拍数の変化について

心拍数は走行を開始してから上昇したが徐々に低下していき最終的には心拍数が40台の徐脈となった。また運動なしの寒冷曝露時に寒冷曝露から15後には心拍数が低下し45分までは低下が持続した事が報告されている[18]。寒冷環境により低下したことが考えられた。

8　まとめ

暑熱環境下において野球を行うことで3名とも深部体温が上昇した。特にピッチャーは試合中39℃に近い体温，体重の3％を超える体重減少など危険な状態となっていた。試合終了後は約6時間で体温が安定するものの，試合当日の入浴では容易に深部体温が上昇し，当日の入浴の危険性についても観察された。GI pillにより深部体温を測定することの重要性が示唆された。

寒冷環境における運動について，深部体温は比較的長く保たれること，深部体温の低下に先行して心拍数が減少することが新たに分かった。特に寒冷環境での運動後に身体をあたためることでアフタードロップ現象がみられ，体温がさらに低下することがわかった。GI pillでの深部体温計測については，もっと多くのデータの解析を行う必要があると考えられた。

引用文献

(1) 独立行政法人日本スポーツ振興センター学校災害防止調査研究委員会体育活動における熱中症予防 調査研究報告書（2014）第2編.

(2) Castellan JW・Young AJ・Ducharme MB・Giesbrecht GG・Glickman E・Sallis RE (2006) American College of Sports Medicine position stand: Prevention of cold injuries during exercise. Med SciSports Exerc38：2012-202

(3) 一般財団法人東京マラソン財団救命救急情報による https://www.marathon.tokyo/about/medical/medical_criticalcare/index05.html

(4) Bongers CCWG・Daanen HAM・Bogerd CP・Hopman MTE・Eijsvogels TMH (2017) Valibity,Reliability,and inertia of four different temperature capsulesystems. Med Sci Sports Exerc,50(1)：169-175.

(5) Wilkinson DM・Carte JM・Richmond VL・Blacker SD・Rayson MP (2008) The Effect of cool water ingestion on gastrointestinal pill temperature: Medicine & Science in Sports &Exercise,40(3)：523-528.

(6) 近藤徳彦・池上晴夫（1986）環境温が持久性運動時の体温調節に及ぼす影響―個人差に着目して―。体力科学，35(5)：229-240.

(7) Hasegawa H・Cheung SS (2013) Hyperthermia effects on brain function and exercise capacity. J Phys Fitness Sports Med,2(4)：429-438.

(8) Yamasue K・Hagiwara H・Tochikubo O・Sugimoto C・Kohno R (2012) Measurement of core body temperature by an ingestible capsule sensor and evaluation of its wireless communication performance. Advanced Biomedical Engineering 1：9-15.

(9) 中村力・吉田慎哉・宮口裕（2020）胃酸で発電・蓄電する普段使いできる「飲む体温計」の開発。化學工業，71(7)：414-420.

(10) 風間彬・高津理美・長谷川博（2012）体温上昇が持久的運動時における認知機能に及ぼす影響。体力科学，61(5)：459-467.

(11) Kenny GP・Jay O・Zaleski WM・Reardon ML・Sigal RJ・Journeay WS・Reardon FD (2006) Postexercise hypotension cause a prolonged perturbation in esophageal and active muscle temperature recovery. Am J.Physiol Regul.integr.Comp.Physiol,291：580-588.

(12) 高津理美・山崎昌廣・長谷川博（2008）運動後の回復過程における体温調節反応の性差。体力科学，(57)：295-304.

(13) 鏡森定信・Alexandru Gaina・王紅兵・新村哲夫・関根道和・立瀬剛志・宮地正典（2007）飲用型カプセル深部体温計からみた日常的生活行動―運動，温浴および睡眠を中心に―。日温気物医誌，70(4)：227-237.

(14) Peiffer JJ・Abbiss CR・Watson G・Nosaka K (2008) Effect of a 5-min cold-water immersion recovery on exercise performance in the heat. British Journal of Sports Medicine,44(6)：461-465.

(15) 橋本峻・杉田正明（2020） カプセル式深部体温測定器における妥当性の検討日本大学紀要49：3021-3025

(16) 豊岡示朗・高橋篤志（2006）向かい風の強さがランニング中のエネルギー消費量，体温調節反応に及ぼす影響デサントスポーツ科学12：73-82

(17) 栃原祐・大中忠勝・山中信也・田中正敏・吉田敬一（1982）寒冷曝露時の及び回復時の心拍数，体温変動の特徴人類史90(4)：411-420

(18) Budd GM・Warhaft N (1966) body temperature, Shivering, blood pressure and heart rate during a standard cold stress in australia and antarctica. J. Physiol,186(1)：216-232