パラアスリートの使用器材の温度変化と身体に及ぼす影響

（共同研究者）
和歌山県立医科大学　指宿　立
和歌山県立医科大学付属病院　川崎真嗣
獨協医科大学埼玉医療センター　上條義一郎

Temperature Change of Equipment Used by Para Athlete and Its Effect on The Body

by

Tatsuru Ibusuki
Institute of Sports Science and Environment Physiology
Medical Center for Health and sports Science, Wakayama Medical University,
Shinji Kawasaki
Department of Rehabilitation Medicine,
Wakayama Medical University Hospital
Yoshi-ichiro Kamijo
Department of Rehabilitation Medicine,
Dokkyo Medical University Saitama Medical Center

ABSTRACT

The Tokyo 2020 Paralympic Games held twenty-two sports, including ten outdoor sports such as Para Athletics and Para Triathlon. Para Athletics and Para Triathlon athletes use racing wheelchairs or running prostheses in competition and training session. However, it was not clear how the temperature of a racing wheelchair or running prosthesis would change in a heat environment.
Five wheelchair athletes and three prosthetic athletes had their temperature, humidity, and core body temperature measured on their wheelchairs, helmets, or prostheses.

The range of temperature change in the racing wheelchair depended on the part of the racing wheelchair, with high humidity in the sitting seat and racing helmet. In addition, core body temperature of athletes was significantly elevated during wheelchair marathon races. There was high humidity in the prosthetic socket liner. This can cause skin problems for prosthetic athletes. In addition, the core body temperature of bilateral above knee athlete increased more than unilateral above the knee athlete during training in the same environment.

The impairments and residual functions of Paralympic athletes differ from athlete to athlete.

Their use of wheelchairs or prostheses varies from sport to sport. A variety of thermal measures are necessary for safe and comfortable competition in summer Paralympic sports.

要　旨

東京2020パラリンピック競技大会は22競技実施され，屋外競技はパラ陸上競技やパラトライアスロン等10競技であった.パラ陸上競技やパラトライアスロンのアスリートは競技中，レース用車いすやランニング用義足を使用している.しかし，レース用車いすやランニング用義足の暑熱環境下の温度変化に関する報告はない．われわれはレース用車いす使用者5名，義肢使用者3名に対して使用補装具とヘルメットの温湿度変化，深部体温を測定した．レース用車いすの温度変化の程度は車いすの部位により異なり，座シートおよびヘルメット内は高湿度になることが明らかになった．また，車いすマラソン時にアスリートの深部体温が著しく上昇した.

義肢着用選手のライナー内側は高湿度で皮膚トラブルの要因となる．また両大腿切断者の深部体温は片大腿切断者よりも上昇した.

パラアスリートの機能障害と残存機能はそれぞれ異なり，使用する機材は競技および種目によって異なるため，多面的な暑熱対策により暑熱環境下でも安全にかつ快適に競技可能となる.

緒　言

東京2020パラリンピック競技大会が2021年8月24日から9月5日まで開催された.大会期間中特に前半のオリンピックスタジアムとウォーミングアップトラックは酷暑であり，ウォーミングアップトラックに設置されていたWet-Bulb Globe Temperature（湿球黒球温度WBGT）は31℃以上を示す日もあり（**図1**），スポーツ活動時には危険な気象状況であった．夏季に開催されるスポーツ大会は少なくなく，酷暑の中でいかに安全に競技するか，どのような暑熱対策を講じるかは夏季スポーツにかかわるすべての人々とって重要なテーマである.

1）本研究の背景

地球温暖化およびヒートアイランド現象による気温上昇で，夏季の屋外でのスポーツは競技成績のみならずアスリートの健康に影響する.障がい者のスポーツ（以下パラスポーツ）は人と競技用補装具である器材が適合して素晴らしい記録が誕生する．しかし暑熱環境下における競技用補装具や使用器材温度変化が人体に与える影響についての報告はない.

図１　Wet-Bulb Globe Temperature index（湿球黒球温度）計 2021,8,26 10:42 撮影

東京2020パラリンピック競技大会は22競技有り，パラ陸上競技やパラトライアスロン等10の屋外競技が開催された.中でもパラ陸上競技においては167種目に約1100人が出場した．障害を伴う競技者（以下パラアスリート）は競技器具と競技用補装具などを使用し競技する．陸上競技の場合の競技用補装具は①レース用車いす②座位投てきフレーム③ランニング用義足④視覚障害者と伴走者の使用するテザー（ガイドロープ）などがある．またレース用車いす使用種目ではヘルメットの着用が義務付けられている，これらの競技用補装具の規定については国際競技規則[1)]で定められているが，運動時の人体に与える影響については何ら考慮されていない.

2）研究の目的

パラアスリートはさまざまな原疾患による機能障害を伴い，随伴症状の他に合併症を引き起こす可能性がある.

本研究の目的はパラアスリートが使用している競技用補装具や使用器材の暑熱環境下での温度変化と身体への影響を明らかにし,パラアスリートの安全性を高めることである.

1．方　法

1．1　対　象

研究協力者8名（平均年齢32.9 ± 12.0歳 **表1**）でレース用車いす使用者5名,義肢使用者3名であった.

表1　対象一覧

	性別	年齢	障がい	使用補装具
A	女性	30	両下肢麻痺	レース用車いす
B	女性	27	両下肢麻痺	レース用車いす
C	女性	25	片上肢欠損	競技用義手
D	女性	21	片下肢欠損	競技用義足
E	女性	20	両下肢欠損	競技用義足
F	男性	38	四肢麻痺	レース用車いす
G	男性	46	両下肢麻痺	レース用車いす
H	男性	56	両下肢麻痺	レース用車いす
	AVE	32.9		
	SD	11.96		

1．2　測定方法

測定方法は3つの方法で実施した.

1．2．1　レース用車いす使用時の温湿度と深部体温（対象:A・B・F３名）

対象A・B・F3名すべてのレース用車いす使用時の温湿度と深部体温の測定は，車いすを断熱材で覆った低温条件（**図2**）と暑熱下での高温条件で，それぞれ30分連続で運動を実施した．低温条件での運動と高温条件での運動の間は20分の安静とした.

運動強度は予測最大心拍数の60%とし，1分毎に深部体温・心拍数・フレーム・バックシート・座シート内・ヘルメット内を測定した.

温湿度測定は温湿度データロガー（KNラボトリーズ　**図3**）を使用し，深部体温測定は，HQ社製のCore Body Temperature Monitoring Systemにて高精度ピル型センサーと中核温度測定レコーダー（受信レコーダー　**図4**）を使用して，PCでデータダウンロードして解析した.

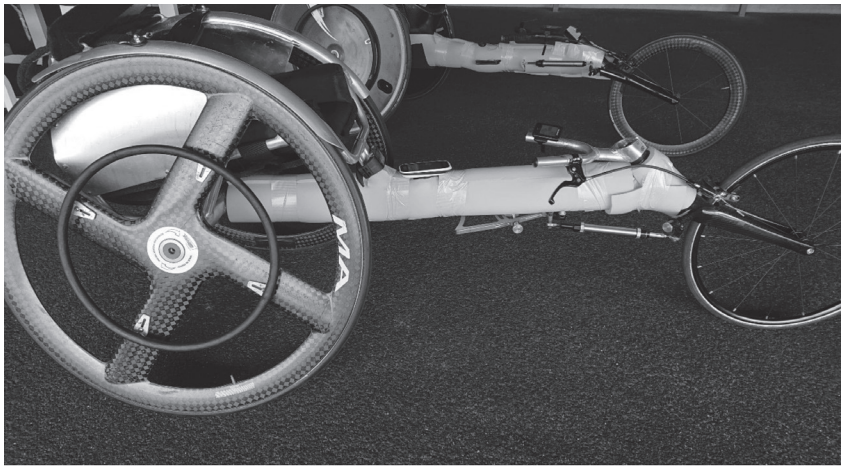
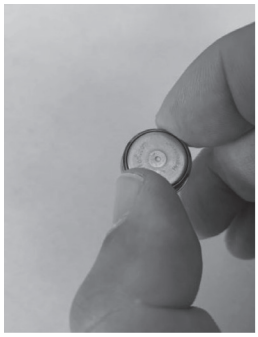


図2　断熱材でレース用車いすを覆う



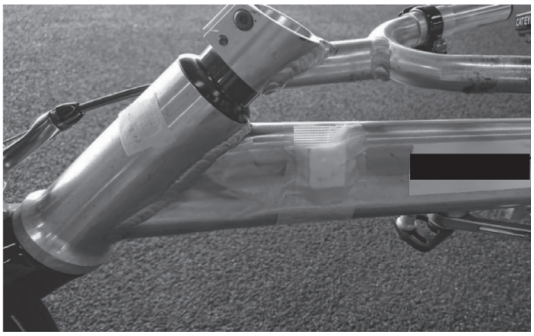


図3　温湿度データロガー

図4　Core Body Temperature Monitoring System

1．2．2　義肢の温湿度と深部体温（対象：C・D・E３名）

トレーニング中の義肢表面温度（図5）および断端に装着しているライナー内温湿度，深部体温

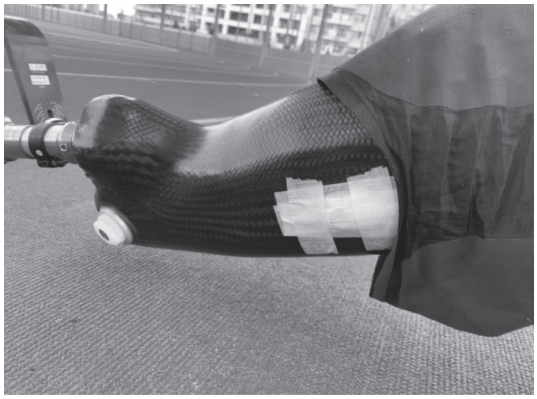


図5　義肢（大腿義足）表面温度測定

と心拍数を1分毎に測定した．ライナー内温湿度測定は温湿度データロガー（KNラボトリーズ　図3）を使用し断端部を測定した．深部体温測定は，HQ社製のCore Body Temperature Monitoring Systemにて高精度ピル型センサーと中核温度測定レコーダー（受信レコーダー　図4）を使用して，PCでデータダウンロードして解析した．

1.2.3　車いすマラソン選手の深部体温と体重（G・H２名）

フルマラソンレース時の深部体温を1分毎に測定し，レース前後の体重変化と飲水量も測定した．深部体温測定は，HQ社製のCore Body Temperature Monitoring Systemにて高精度ピル型センサーと中核温度測定レコーダー（受信レコーダー　図4）を使用して,PCでデータダウンロードして解析した．

なお，本研究は和歌山県立医科大学倫理審査委員会の承認を得て，協力者に対して書面および口頭で説明し同意を得て実施した．またすべての測定はCOVID-19感染予防に十分に留意し実施した．

2. 結　果

2. 1　レース用車いす使用時の温湿度と深部体温（対象：A・B・F３名）

2. 1. 1　AおよびB（測定日：2020年7月10日）

測定時気象条件は平均気温32.6 ± 0.35℃，平均湿度46.2 ± 2.72%, 平均WBGT28.8 ± 0.67℃であった．AとBのフレーム，バックシート，座シートの平均温度はすべて断熱材無の高温条件で上昇した. 座シート平均湿度の変化はみとめなかったが，AとBの比較ではBが断熱材の有無にかかわらず，低温条件と高温条件のいずれも高値を示した．

ヘルメット内平均温度はA・B共に断熱材の有無は影響しなかったが，湿度はA・B共に断熱材無の高温条件で微増した．

深部体温はBのみ測定したが，断熱材の有無による運動時平均深部体温の比較では変化は認めなかった（表2）．

2. 1. 2　F（測定日：2020年9月24日）

測定時気象条件は平均気温27.6 ± 0.63℃，平均湿度37.7 ± 2.36%, 平均WBGT22.7 ± 0.61℃であった．フレーム，バックシート，座シートの平均温度，ヘルメット温湿度は断熱材無の高温条件で微増した．平均心拍数と平均深部体温は断熱材無の高温条件で低下した（表3）．

対象A・Bと対象Fの測定時の気象条件は異なるが，対象3名のヘルメット内湿度は断熱材無の高温条件ではすべて60%を超えていた．

2. 2　義肢の温湿度と深部体温（対象：C・D・E３名）（測定日：2020年9月16日）

測定時気象条件は平均気温27.8 ± 0.66℃，平均湿度39.8 ± 2.02%, 平均WBGT22.8 ± 0.42℃であった．

表２　レース用車いす温湿度と深部体温の比較（対象A･B）

断熱材		フレーム温度（℃）		バックシート温度（℃）		座シート内温度（℃）		座シート内湿度（%）		ヘルメット温度（℃）		ヘルメット湿度（%）		心拍数（bpm）		深部体温（℃）
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	B
有	AVE	32.6	33.8	35.4	35.7	32.8	33.5	64.9	89.6	33.1	33.1	63.8	59.9	125.7	135.8	37.57
	SD	0.96	1.27	2.40	1.78	0.75	0.66	1.01	3.33	0.34	0.67	1.65	2.16	7.24	4.69	0.34
	MAX	33.5	35.0	38.5	38.0	33.5	34.5	67.2	93.3	33.5	34.0	67.6	68.2	134.0	143.0	38.07
	MIN	31.0	31.5	31.5	32.5	31.5	32.5	62.8	79.5	32.5	31.5	60.7	57.5	98.0	126.0	37.07
	RANGE	2.5	3.5	7.0	5.5	2.0	2.0	4.4	13.8	1.0	2.5	6.9	10.7	36.0	17.0	1.00
無	AVE	35.4	35.1	38.0	36.3	34.4	34.6	63.9	90.7	33.3	33.2	67.1	62.4	132.2	136.6	37.58
	SD	1.52	1.09	2.16	1.29	0.77	0.64	2.57	1.37	0.27	0.44	1.89	2.35	4.16	5.02	0.28
	MAX	38.0	37.0	41.5	38.5	35.5	35.5	69.1	92.3	34.0	34.0	73.5	69.5	140.0	145.0	38.04
	MIN	32.0	32.5	33.5	33.5	33.0	33.5	59.5	87.0	33.0	32.5	64.3	58.7	123.0	129.0	37.15
	RANGE	6.0	4.5	8.0	5.0	2.5	2.0	9.6	5.3	1.0	1.5	9.2	10.8	17.0	16.0	0.89

表３　レース用車いすの温湿度と深部体温の比較（対象F）

断熱材		フレーム温度（℃）	バックシート温度（℃）	座シート内温度（℃）	座シート内湿度（％）	ヘルメット温度（℃）	ヘルメット湿度（％）	心拍数（bpm）	深部体温（℃）
有	AVE	29.6	29.7	28.3	59.4	28.7	60.6	132.9	37.35
	SD	0.79	0.83	0.38	1.32	0.52	1.02	3.41	0.17
	MAX	30.0	30.5	28.5	63.5	30.0	62.3	138.0	37.60
	MIN	27.0	27.5	27.0	57.7	28.0	58.6	118.0	37.07
	RANGE	3.00	3.00	1.50	5.80	2.00	3.70	20.00	0.53
無	AVE	30.6	33.2	28.7	57.5	29.1	63.5	129.6	37.25
	SD	0.83	2.26	0.41	0.90	0.23	2.13	6.00	0.22
	MAX	31.5	37.0	29.0	59.5	29.5	69.1	139.0	37.48
	MIN	28.0	29.0	28.0	56.0	28.5	60.4	103.0	36.80
	RANGE	3.50	8.00	1.00	3.50	1.00	8.70	36.00	0.68

表４　義肢の温湿度と深部体温の比較（対象：C･D･E）

	ソケット外側温度（℃）				ライナー内側温度（℃）				ライナー内側湿度（％）				HR（bpm）			深部体温（℃）		
	C	D	E(Rt)	E(Lt)	C	D	E(Rt)	E(Lt)	C	D	E(Rt)	E(Lt)	C	D	E	C	D	E
AVE	31.0	32.4	32.3	31.8	32.8	34.2	32.7	34.5	64.0	83.5	59.8	56.8	108.0	110.2	112.5	37.72	37.98	38.09
SD	1.46	1.69	1.34	0.89	1.59	1.21	1.18	1.07	13.19	8.93	5.54	7.34	20.19	16.96	24.21	0.13	0.20	0.40
MAX	34.0	36.5	34.0	33.5	36.5	35.5	34.5	35.5	90.3	92.5	67.8	65.1	159.0	168.0	168.0	38.06	38.38	38.80
NIN	27.0	30.0	29.5	30.5	30.0	32.5	30.0	32.5	46.3	68.6	47.8	41.9	78.0	78.0	71.0	37.44	37.60	37.19
RANGE	7.0	6.5	4.5	3.0	6.5	3.0	4.5	3.0	44.0	23.9	20.0	23.2	81.0	90.0	97.0	0.62	0.78	1.61

ソケット外側平均温度は3名とも30℃以上で，ライナー内側平均温度は外側平均温度よりも高い値を示した．ライナー内側平均湿度はDの83.5%で最高値を示し，Cの範囲は44.0%で最も湿度変化が大きかった．

Eの平均深部体温は38.09℃，ピーク値38.80℃で最高値を示した（表4）．

2．3　車いすマラソン中の深部体温と体重（G･H２名）（測定日：2020年11月15日）

測定時の気象状況はレーススタート時15.9℃，湿度67％であった（大分地方気象台）．

レース中の平均深部体温はG 38.45 ± 0.27℃，H 38.74 ± 0.41℃であり，Hのピーク値は39.08℃であった．

またレース前後の体重比較ではG・H共にレース後3%の体重低下を認めた．レース中飲水量はG200ml，H90mlであった（表5）．

表5　車いすマラソン中の深部体温と体重変化の比較（対象G･H）

	深部体温（℃）	
	G	H
AVE	38.43	38.74
SD	0.27	0.41
MAX	38.76	39.08
MIN	37.69	37.53
RANGE	1.07	1.55

	体重（kg）		ボトル内ドリンク量（ml）	
	G	H	G	H
レース前	72.5	60.6	500	500
レース後	70.0	58.9	300	410
RANGE	2.5	1.7	200	90

3．考　察

本研究の目的はパラアスリートが使用している競技用補装具や使用器材の暑熱環境下での温度変化と身体への影響を明らかにし，パラアスリートの安全性を高めることである．

レース用車いすのフレームの材質は近年アルミニウム製，あるいはカーボンファイバー製である．また，アスリートが姿勢を保持する座シートやバックシートはナイロンやポリエステルである．ナイロンやポリエステルは耐摩耗性に優れ，吸水性や吸湿性が低い[2)]．

レース用車いすの温度変化は車いすの部位によって異なり，座シートおよびヘルメット内の湿

度は高い値を示した．レース用車いす上で前傾姿勢を保つ車いすアスリートの下部体幹と下肢はシートに覆われており，下部体幹と下肢における発汗およびシート内の低い通気性によりシート内湿度の上昇が示唆された．また，トレーニング時のヘルメット内の発汗による湿度も上昇することから，夏季においてはヘルメット内の通気性についても考慮する必要がある[7]．トレーニングやレース前に高温多湿の環境下に車いすやヘルメットを放置することは輻射熱によりレース用車いすやヘルメットの温度を上昇させることになる．また空気力学的に有利とされている通気性の劣るヘルメットの長時間の着用は発汗の蒸発による蒸発性熱放散を阻害するために推奨されない．

レース用車いすの温度変化がアスリートの深部体温に及ぼす影響は直接的な要因ではないが，シートの素材の性質を把握し，夏季に使用するヘルメットの構造には注意を払う必要があることが示唆された．

気温の低い時期の車いすマラソンでは車いすマラソン選手の深部体温が39.0℃を超える値を示し，飲水量は90mlと少量であった．脊髄損傷者の場合，自律神経障害による体温調整は低下しているが，車いすマラソン選手は一般のランナーよりも速度が速いため体表を露出すればレース中の対流により熱放散を促進し深部体温上昇を抑制し，飲水に依存することなくマラソンを完走することが可能となる．しかし高温多湿で暑熱負荷の高い環境下においては，車いすマラソン選手の身体冷却についての対策は不可欠である[3, 6, 8]．

義肢は大腿義足や下腿義足，上腕義手や前腕義手で，多くは片側の装着であるが，今回は両大腿義足の測定結果も含んでおり，貴重な測定結果となった．義肢装着してのトレーニング時に低温条件と高温条件を設定するにあたり義肢に対して断熱材での加工が困難なために，トレーニング時の温湿度変化と深部体温変化を測定した．

義足アスリートは義足の強度を高めるために硬いソケットを使用している．また硬いソケットとランニング時の床反力による衝撃から断端を保護し，義足装着性を高めるためにライナーを使用している．ライナーは一般的にsilicone（シリコーン）製のものが利用されていることが多い．今回の測定ではライナー内側の湿度変化を認めているが，断端による発汗とライナーの密封性によるものと推察されるが，湿度の高い断端部分においては，長時間の義肢装着や荷重位での活動による力学的ストレスは皮膚にトラブルを発生させる[4]．荷重量の大きい義足の場合の皮膚トラブルは特に留意する必要があり，スポーツ時の断端部分の管理として定期的にソケットとライナーを外し換気し，汗を拭きとる等の取り組みが必要である．

両大腿切断者の深部体温は片大腿切断者の2倍も上昇しているが，片大腿切断者よりも体表面積が小さいため熱放散が低く，同じ気象条件でのトレーニングでも深部体温がより上昇しやすいことが示唆された．下肢切断者は活動時の体温調節のために発汗量を増大させるが[5]，両大腿切断者の場合は飲水量を含め身体冷却の方法に注意を払う必要がある．

研究対象者は屋外競技で競技用補装具を使用するパラアスリートとしたが，COVID-19感染拡大により測定会場となる陸上競技場や調査協力者の募集は制限を受けたため引き続き研究を継続したい．

4. 結　論

車いす陸上競技においてはレース用車いすとヘルメットを使用することが義務付けられているので，放射や輻射熱のみならず熱放散（蒸発性と非蒸発性）にも着目すること，特にヘルメットの通気性は軽視できない．また，義肢使用アスリートにおいては，ライナー使用により断端部の湿度が高いこと．片大腿切断者と両大腿切断者の深部体

温の変化は異なり，両大腿切断者の深部体温は上昇しやすい．

パラアスリートの機能障害と残存機能はそれぞれ異なり，使用する機材は競技および種目によって異なるため，多面的な暑熱対策により暑熱環境下でも安全にかつ快適に競技可能となる．

謝　辞

本研究に助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に感謝いたします．また被検者としてご協力いただきましたパラアスリートの皆様へ感謝いたします．

文　献

1）World Para Athletics Rules and Regulations 2020-2021 February 2020 https://www.paralympic.org/sites/default/files/2021-02/World%20Para%20Athletics%20Rules%20and%20Regulations%202020-2021.pdf（Retrieved on February 6）（2020）

2）栗尾浩：第4回 ポリエステル・ナイロン・ポリウレタン 化学繊維の代表的な合成繊維．国民生活．3 No.103.15-16（2021）

3）Yang Zhang: Risks of Heat Illness in Athletes With Spinal Cord Injury: Current Evidence and Needs., *Front. Sports Act. Living*, 10 January 1-4（2020）

4）中村隆：義肢装具における皮膚トラブルとその対処法．義肢装具学会誌．33 No1 40-45（2017）

5）Hiroshi Hasegawa: Thermoregulatory responses of lower limb amputees during exercise in a hot environment., *Journal of Thermal Biology*., 91, July 1-7（2020）

6）Trbovich M.B., Kiratliab J.B., Pricec M.J.: The effects of a heat acclimation protocol in persons with spinal cord injury., *Journal of Thermal Biology*, 62: 56-62,（2016）

7）スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック．日本スポーツ協会，（2019）

8）Goosey-Tolfrey V., Swainson M., Boyd C., Atkinson G., Tolfrey K.: The effectiveness of hand cooling at reducing exercise-induced hyperthermia and improving distance-race performance in wheelchair and able-bodied athletes., *J. Appl. Physiol*., 105:37-43（2008）