

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01723

研究課題名(和文) 障害者スポーツ選手の熱中症事故を防ぐ-2020年東京パラリンピックを見据えて-

研究課題名(英文) Preventing heat-related illness in Para-sports -Looking ahead to the 2020 Tokyo Paralympics-

研究代表者

福原 幸樹 (Fukuhara, Kouki)

広島大学・病院(医)・理学療法士

研究者番号：80644971

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：障害者スポーツを行う中で、下肢切断者は熱を放散しにくいいため、熱中症のリスクが上がり、重症化しやすいと考えられていた。しかし、実際に検証はされておらず、憶測にしか過ぎない。そこで、私たちは、下肢切断者の体温調節反応を健常者と比較研究した。主な成果は、人工気象室内を暑熱環境または高温多湿環境に設定し、下肢切断者が60%の運動強度で上肢持久性運動を60分間行い、体温が上昇したが、いずれの環境下であっても、健常者と差がなく、憶測とは異なった。また、冷涼環境下での障がい者スポーツ競技中の下肢切断者の体温は競技開始15分または30分の短時間のうちに38℃後半の高体温になることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

運動中の下肢切断者の体温変化は健常者と同じであったが、下肢切断者の汗の量は明らかに多いことがわかった。下肢切断者は発汗により熱放散能を高め、体温を調節しているため、脱水率が高い。そのため、下肢切断者はより多くの飲水を促す必要があるかもしれない。このように下肢切断者の体温調節の特徴を理解できれば、熱中症予防策のための情報を選手自身やその家族、コーチスタッフ、競技団体などへ提供でき、障害者スポーツを安全に取り組むことが出来れば、社会的に意義深いものになる。

研究成果の概要(英文)：Persons with lower-limb amputation were considered to be at increased risk of heatstroke and more likely to become severely ill because they tended to become overheated and have difficulty dissipating heat in para-sports. However, this has not been actually verified and is the only speculation. Therefore, we conducted a comparative study on the thermoregulatory responses of persons with lower-limb amputation with those of able-bodied subjects. Our main results were that persons with lower-limb amputation performed upper-limb endurance exercise for 60 min in either a hot or a hot and humid environment in a climate chamber, and their core body temperature increased but did not differ from that of able-bodied subjects in either environment, which is different from speculation. In addition, the core body temperature of persons with lower-limb amputation reached a high of late 38℃ within a short period of time (15 or 30 min) during para-sports competition in a cool environment.

研究分野：障がい者の体温調節反応

キーワード：障害者スポーツ 下肢切断者・選手 体温調節機構 熱中症 身体冷却

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2020年東京パラリンピック夏季大会を見据えた熱中症予防対策の必要性

2016年度に研究計画調書を作成し、2017年度から2020年度にかけて、研究課題を「障害者スポーツ選手の熱中症事故を防ぐ-2020年東京パラリンピックを見据えて-」とし、研究を開始した。

研究計画調書作成当時は、2016年リオデジャネイロパラリンピック夏季大会を終え、自国開催が決まった4年後の2020年東京パラリンピック夏季大会に向けて盛り上がりを見せていた。8月のリオデジャネイロの気候は1日の平均気温が22、平均最高気温が26、平均最低気温が19であり、乾季のため湿度は低い。一方で東京パラリンピックの大会期間は8月25日から9月6日までであり、その期間中の平均気温は26.2、平均最高気温29.8、平均最低気温23.3とリオデジャネイロに比べて概ね4も気温が高く、平均相対湿度も76.3%と高い(気象庁, 6年間分のデータ, 2011年~2016年)。

体温はvital signs(生命の徴候)の一つである。高体温となる代表的な例が熱中症であり、生命に危険を及ぼす。体温が上昇する主な要因は、気温や湿度などの気象条件(環境要因)と運動である(図1)。気温が高く、湿度が高い状態で、競技レベルの高い運動を行うと、熱中症の発生リスクを増加させる。そのため、気温や湿度などの気象条件を組み合わせた指標として、暑さ指標(WBGT: Wet Bulb Globe Temperature)が推奨され、暑さ指標28、気温31以上では熱中症患者が急増するため、激しい運動は中止または厳重警戒とされている(日本体育協会, 熱中症予防運動指針)。

平成28年5月から9月までの熱中症による救急搬送件数は50,412件であり、都道府県別では東京都がワースト1位の多さであり、かつ熱中症の重症度が高い(総務省消防庁, 平成28年の熱中症による救急搬送状況)。

このように、東京パラリンピックはパラリンピック史上最も過酷な大会になることが予想され、暑さ対策が必要不可欠になると考えた。

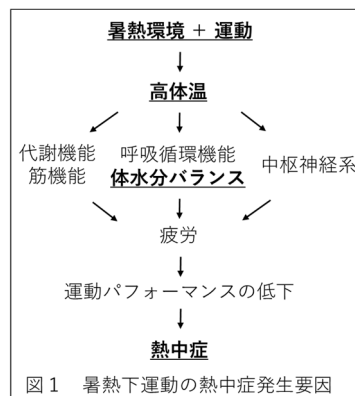


図1 暑熱下運動の熱中症発生要因

下肢切断者の体温調節機構

ヒトの体温調節機構において、熱放散は伝導・対流・放射や蒸発によってなされ、熱放散能を規定する因子に、体表面積が挙げられ、体表面積が大きいと、熱放散に有利とされる。

障害者スポーツ分野では、脊髄損傷者の体温調節機構について、国内外で報告されており、脊髄損傷者は、損傷レベル以下の熱放散反応が障害されるため、健常者に比べて、体温が上昇しやすい。下肢切断者では下肢の一部を失っており、体表面積が小さく、熱放散が不利になる。熱放散反応を示せる体表面積が減少するため、下肢切断者においても体温が上昇しやすいのではないかと憶測されていた。放熱しにくいとなれば熱中症のリスクは上がり、重症化しやすいことが考えられる。このように、下肢切断者においても、熱中症のリスクや重症化の危険性を考えると、下肢切断者の体温調節機構について十分理解することは、下肢切断者の身を守る上で重要なことである。また、障害者スポーツは暑熱環境下で競技を行うことも少なくないため、厳重な管理が必要となる。しかし、これまでに下肢切断者の体温調節反応を健常者と比較検討した報告は少なく、下肢切断者の詳細な体温調節反応はわかっていない。

身体冷却(クーリング)の効果

熱中症の治療として、深部体温が38℃になるまで積極的な冷却処置を行うことを推奨している(日本救急医学会, 熱中症診療ガイドライン2015)。しかし、競技現場においては熱中症を発生させないための身体冷却が重要であり、身体冷却の有効性は多数の報告がある。運動前のプレクーリングは体温の危機的限界レベルに達するまでの時間を延長させ(Gonzalez-Alonso et al., 1999)、運動中のクーリングジャケットによる身体冷却は、持久性運動能力を向上させる(Hasegawa, 2005)。また、脊髄損傷者に対する身体冷却の報告は散見される(山崎, 2003)が、下肢切断者に対する身体冷却に関する報告は皆無である(図2)。

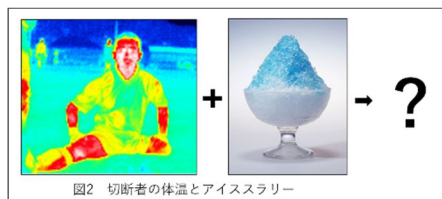


図2 切断者の体温とアイススラリー

2. 研究の目的

研究開始当初の背景で述べた研究課題を解決するために、暑熱環境下の運動時における下肢切断者の体温調節機構を人工気候室(基礎的研究)とフィールド調査(実践的研究)から解明し、障がい者スポーツ中の下肢切断者の熱中症予防策を提案すること、を以下のように研究目的とした。

1) 暑熱環境下の運動時における下肢切断者の体温調節機構を解明する

	目的	実験場所	実験時期
研究1	暑熱環境下での持久性上肢運動中の下肢切断者の体温調節反応	実験室 (基礎的研究)	冬季
研究2	高温多湿環境下での持久性上肢運動中の下肢切断者の体温調節反応		

研究1では、下肢切断者に暑熱環境下で持久性上肢運動を行わせ、健常者と比較して体温調節反応の相違点を検討し、暑熱環境下における下肢切断者の体温上昇に関する要因を具体化する。
仮説：下肢切断者は熱放散に必要な体表面積が小さいため、体温は上昇しやすい。

研究2では、研究1の追加検証として、さらに厳しい環境条件で、同様の運動プロトコルを行い、下肢切断者と健常者で体温関連パラメータを比較検討した。
仮説：下肢切断者は代償性発汗により、健常者の体温上昇と差がない。

2) 下肢切断者の障害者スポーツ中の熱中症予防策を提案する

	目的	実験場所	実験時期
研究3	下肢切断アスリートの障害者スポーツ競技中の体温変化の実態調査	フィールド (実践的研究)	夏季
研究4	トライアスロンにおけるクーリングが水泳のパフォーマンスに及ぼす影響		

研究3では、障害者スポーツ競技中の下肢切断アスリートの体温がどの程度上昇するか調査し、合わせて脱水の程度も測定する。
仮説：下肢切断アスリートは障害者スポーツ競技中に高体温かつ脱水状態となる。

研究4では、パラトライアスロン競技を想定し、スイム前のクーリングがスイムパフォーマンスに及ぼす影響について、健常者を対象にクロスオーバー試験で予備実験を行った。
仮説：スイム前のクーリングにより、体温が低下し、スイムパフォーマンスは向上する。

3. 研究の方法

基礎的研究 (人工気候室)

	研究 1	研究 2
目的	暑熱環境下での持久性上肢運動中の下肢切断者の体温調節反応	高温多湿環境下での持久性上肢運動中の下肢切断者の体温調節反応
方法	人工気候室で気温 32℃・湿度 50%の暑熱環境または気温 33℃・湿度 70%の高温多湿環境を設定し、下肢切断者がアームクランク運動を 60 分間行い、生理機能指標と主観的指標の変化を健常者と比較検討した。直腸温やその他の測定項目は運動中経時的に記録した。	
	被験者：健常者 9 名、下肢切断者 9 名 研究デザイン：非ランダム化比較試験 運動条件：アームクランク運動を 60 分（運動負荷：最大運動負荷の 60%） 測定項目：生理的指標...直腸温、皮膚温（前額部、胸部、上腕部、大腿部、下腿部）、心拍数、体重、尿比重 主観的指標...主観的運動強度、温熱感覚、熱快適性	

実践的研究 (フィールド調査)

	研究 3
目的	下肢切断アスリートの障害者スポーツ競技中の体温変化
方法	6 月に 14 名の下肢切断アスリートがゲーム形式のアンプティサッカーを 15 分間 4 セット行い、各ゲーム間の体温を経時的に記録した。また、活動現場の暑さ指数や気温、湿度、飲水量と体重の変化、尿比重から脱水指標の評価を行った。
	被験者：下肢切断者 14 名 運動条件：アンプティサッカーのゲーム形式（15 分×4 セット） 測定項目：屋外環境...暑さ指数、乾球温度、湿度 生理的指標...体温、体重、尿比重、飲水量 主観的指標...主観的運動強度、温熱感覚、熱快適性

	研究 4
目的	トリアスロンにおけるプレクーリングが水泳のパフォーマンスに及ぼす影響
方法	障害者が使用する屋内プールで、健常者スイマーのスイム中の体温変化を調査し、プレクーリングにはアイススララーを用いた。運動パフォーマンスの指標には 1500m タイムトライアルを実施した。
	被験者：健常者 9 名 研究デザイン：クロスオーバー試験（アイススララー-1 vs 31℃ スポーツ飲料） 環境条件：屋内プール（水温 31℃） 運動条件：自由形スイムの 1500m タイムトライアル 測定項目：生理的指標...体温、心拍数、体重、尿比重、運動時間 主観的指標...主観的運動強度、温熱感覚、熱快適性

4. 研究成果

研究1及び研究2の成果

研究開始当初の背景や研究の目的で述べたように、研究1の仮説として、下肢切断者は熱放散に必要な体表面積が小さいため、体温は上昇しやすい、とし健常者と比較検討した。

まず初めに研究1の予備実験として、気温22・湿度50%の常温環境下で、持久性上肢運動中の下肢切断者の深部体温変化を健常者と比較検討した。次に、研究1として、気温32・湿度50%の暑熱環境下で、同様の比較検討を行った。主な結果は、どちらの環境条件であっても、深部体温の変化は、下肢切断者と健常者では差がないことをわかった。このように、研究1の仮説は支持されなかった。

研究計画調書作成時は仮説が肯定されることを想定し、研究2として、身体冷却の有効性を検討する計画を立案していたが、研究1の内容を膨らます形で次のような追加検証に変更した。追加検証(研究2)として、パラスポーツ競技現場で経験し得るさらに暑さの厳しい環境設定として、気温33・湿度70%の高温多湿環境下で研究1と同様の比較検討を行った。結果は、高温多湿環境下でさえ、下肢切断者の体温変化は、健常者と差がないことが明らかになった。

しかしながら、下肢切断者の体温調節反応の特徴として、常温環境・暑熱環境・高温多湿環境のいずれの環境条件においても、下肢切断者の発汗量は健常者よりも多いことが示された。下肢切断者は汗をかく体表面積が小さいが、残された皮膚で代償的に発汗量を増やすことで、体温を調節していると考察した。さらに、興味深い結果として、下肢切断者の暑さに対する感覚は健常者より低いことがわかった。これらの結果により、下肢切断者は暑さに鈍感になり、さらには発汗量が多いことによる脱水が進行するため、暑さ対策をとらなければ、熱中症の危険性が高まる可能性がある。下肢切断者は脱水症の進展を防ぐために、健常者よりも多くの飲水が必要であるかもしれません。このように、下肢切断者の体温調節反応の特徴を理解できれば、適切な暑さ対策が実行でき、障害者スポーツを安全に取り組みることが出来れば、臨床的に意義深いものになる。

研究1・2の研究成果を広く情報を公開するために、暑熱環境と高温多湿環境での下肢切断者の体温変化に関する研究成果を、国際誌に論文を投稿し、1つは採択され、もう1つは現在審査中である。また、研究代表者のリサーチマップを作成し、これら論文や学会発表などの情報を適宜更新し、情報発信を行っている。

研究3の成果

研究1及び研究2は実験室レベルでの体温調節反応であったため、フィールド競技中の下肢切断者の体温変化を調査すべき課題が残っていた。そこで、下肢切断アスリートのアンプティサッカー中の体温変化を調査した。主な結果は、60分間の競技時間のうち、競技開始後15分または30分ですべての選手が最高体温に達しており、短時間のうちに38後半の高体温となった。また、尿比重からみた脱水症の指標では、脱水症の進展を示唆する結果となった。十分な飲水でない場合、脱水症が進展してしまう可能性を研究1及び研究2で示唆されたが、実際の競技現場では十分な飲水量を確保できていないかもしれない。

この調査内容は、後日、データの情報提供として、各選手にフィードバックを行った。また、国内学会で演題発表を行うことが決定しており、その後、国際誌への論文投稿の準備を進める。

研究4の成果

トライアスロンは熱中症を発生しやすい競技であり、これまでにトライアスロン競技前後の深部体温についての報告がある。トライアスロンはスイム、バイク、ランの順に運動形態を変え、タイムを競う競技であるが、それぞれのパートに分けた体温測定は行われていない。そこで、予備的にトライアスロン中のスイム、バイク、ランのそれぞれのパートで体温測定を行い、最も体温が上昇したのは、スイム後であることが分かった。そのため、スイム後の体温上昇を抑えることが、その後のバイク、ランのパフォーマンスに影響を及ぼすのではないかと考えた。

そこで、まず初めに、スイム前の身体冷却(プレクーリング)がスイム後の体温やスイムパフォーマンスにどのように影響するか検証した。プレクーリングには、スポーツ飲料をシャーベット状にしたアイススラリー(-1)を使用し、コントロールには水温と同じ31に加熱したスポーツ飲料を用いた。パラトライアスロンはスイム距離が1500mであるため、1500mタイムトライアルを実施し、健常者を対象に、体温やスイムパフォーマンスをアイススラリー摂取を行うプレクーリング群とコントロール群のクロスオーバー試験で検討した。

結果はアイススラリー摂取直後に、最も体温が低下し、低下した体温は、コントロール群と比較して、スイム750mまで有意に低い体温を示したが、1500mタイムトライアル終了時には体温の差はなかった。しかし、プレクーリング群のスイムタイムは、コントロール群に比べて、平均13秒速かった。このタイム差の臨床的意義として、例えば、2016年リオ五輪トライアスロン男子では、スイム1位の選手から13秒遅れると、16位まで順位を落とすタイム差であった。さらに、スイムの順位がその後のバイクのレース展開に大きな影響を与えるため、スイムパフォーマンスを向上させるアイススラリー摂取によるプレクーリングはトライアスロン競技に効果的であることが示唆された。

研究4の一部成果報告として、国際学会で演題発表を終え、現在国際誌投稿用の原稿を作成中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hasegawa Hiroshi, Makino Hitoshi, Fukuhara Koki, Mikami Yukio, Kimura Hiroaki, Adachi Nobuo	4. 巻 91
2. 論文標題 Thermoregulatory responses of lower limb amputees during exercise in a hot environment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Biology	6. 最初と最後の頁 102609 ~ 102609
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jtherbio.2020.102609	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 3件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 福原幸樹、三上幸夫、牛尾会、坂光徹彦、藤下裕文、木村浩彰
2. 発表標題 下肢切断選手における熱中症リスク ~ 脊髄損傷者との違い~
3. 学会等名 第58回日本リハビリテーション医学会学術集会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福原幸樹、坂光徹彦、藤下裕文、牛尾会、木村浩彰
2. 発表標題 アンフティサッカー競技中の下肢切断者の深部体温
3. 学会等名 第58回日本リハビリテーション医学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fukuhara K, Hasegawa H, Nakashima D, Mikami Y, Kimura H
2. 発表標題 Thermoregulatory responses during prolonged upper-body exercise in lower limb amputees in hot and humid environment
3. 学会等名 The 24th Annual Congress of the European College of Sport Science（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakashima D., Hasegawa H., Fujishita H., Fukuhara K., Hirata K., Mikami Y., Kimura H., Adachi N
2. 発表標題 Effect of body cooling on performance in triathlon competitions ~Does swimming precooling improve performance? ~
3. 学会等名 The 24th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakashima D., Hasegawa H., Fujishita H., Fukuhara K., Mikami Y., Kimura H., Adachi N
2. 発表標題 Core body temperature of an amputee triathlete during swimming wearing a wetsuit: a case report.
3. 学会等名 The 13th World Congress of the International Society of Physical and Rehabilitation Medicine (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福原幸樹、長谷川博、中島大悟、三上幸夫、木村浩彰
2. 発表標題 「障がい者スポーツにおける運動生理学的知見と応用」 下肢切断者における体温調節反応
3. 学会等名 第27回日本運動生理学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福原幸樹、長谷川博、中島大悟、三上幸夫、木村浩彰
2. 発表標題 高温多湿環境下での運動が下肢切断者の体温に与える影響 ~ 健常者との比較検討 ~
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福原幸樹、三上幸夫、長谷川博、中島大悟、木村浩彰、安達伸生
2. 発表標題 下肢切断者における高温多湿環境下でのアームクランク運動時の体温調節反応
3. 学会等名 第34回日本整形外科学会基礎学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fukuhara K, Nakashima D, Mikami Y, Kimura H, Adachi N
2. 発表標題 Core body temperature of able-bodied individual versus amputee during wheelchair field running: Case report.
3. 学会等名 The 12th International Society of Physical and Rehabilitation Medicine World Congress
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fukuhara K, Mikami Y, Kimura H, Nakashima D, Shimada M, Asaeda M, Yamamoto M, Hasegawa H, Kamiyo Y
2. 発表標題 Thermoregulatory responses during wheelchair running in two amputees and two able-bodied persons in warm environment.
3. 学会等名 International Symposium of Sports Medical Science for Persons with Impairments in Wakayama 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mikami Y, Fukuhara K, Makino H, Hasegawa H, Kimura H
2. 発表標題 Thermoregulatory responses in lower limb amputees during exercise in different temperature environments -compared to able-bodied persons-
3. 学会等名 International Symposium of Sports Medical Science for Persons with Impairments in Wakayama 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中島大悟、長谷川博、藤下裕文、福原幸樹、三上幸夫、木村浩彰、安達伸生
2. 発表標題 トライアスロン競技における身体冷却効果 ～スイム時ブレクーリングはパフォーマンスを向上させるのか～
3. 学会等名 第8回JTUトライアスロン・パラトライアスロン研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福原幸樹、三上幸夫、牛尾会、木村浩彰、平田和彦、坂光徹彦、雁瀬明、浅枝諒、中島大悟、島田雅史、山本光希、牧野舜、長谷川博、安達伸生
2. 発表標題 2020東京オリンピック・パラリンピックへの支援状況 広島大学病院スポーツ医科学センターの取り組み
3. 学会等名 第31回運動と体温の研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 牧野舜、福原幸樹、三上幸夫、木村浩彰、長谷川博
2. 発表標題 異なる温度環境下における下肢切断者の運動時体温調節反応 健常者との比較から
3. 学会等名 第72回日本体力医学会大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

researchmap https://researchmap.jp/koufuku
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	長谷川 博 (Hasegawa Hiroshi) (70314713)	広島大学・人間社会科学研究科(総)・教授 (15401)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携 研究者	木村 浩彰 (Kimura Hiroaki) (60363074)	広島大学・病院(医)・教授 (15401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関