

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月19日現在

機関番号：25407

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K21541

研究課題名(和文) 屋外暑熱環境下の運動時における車いす生活者の深部体温の変化

研究課題名(英文) Changes in core temperature of wheelchair users during exercise in heat environment

研究代表者

林 聡太郎 (Hayashi, Sotaro)

福山市立大学・都市経営学部・講師

研究者番号：80760040

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：車いす使用者のうち、脊髄損傷者のように体温調節が困難になっている場合、健常者と比較して暑熱環境における体内の貯熱が著しく、深部体温が上昇しやすい。特に損傷レベルが第10～11胸髄以上では、発汗作用と血管運動が著しく低下または欠如する。視床下部温を反映するとされる鼓膜温は、暑熱環境下の運動時において、健常者と比較して有意に高値を示し、運動終了後の体温の回復時間も延長する。したがって、脊髄損傷や脳性麻痺、進行性疾患など体温調節が困難な者における暑熱障害予防のため、健常者に使用される熱中症予防指針を深部体温の変動と損傷レベルから下方修正し、提案するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

車いす使用者における暑熱障害は、健常者と比較して発症しやすい状況にある。東京パラリンピック期間中には、競技中の気温が非常に高いことが予測され、暑熱障害の予防のための指針の作成は喫緊の課題であった。本研究では、国内外の脊髄損傷者の体温に関する科学的根拠に基づき、現在の熱中症予防指針を体温調節弱者と脊髄損傷レベルを鑑み下方修正したものを提案するものである。これらは将来的に、体温調節が困難な者を対象とした熱中症予防指針の作成に寄与するものである。本研究の限界は、脊髄損傷を主眼におき修正したため、進行性疾患や切断などの各種障害に対応できない部分も存在することである。

研究成果の概要(英文)：In people with SCI, skin blood flow and perspiration are reduced because of the lack of vasomotor control and a decline in the ability to perspire. People with SCI experience paralysis of a large number of bodily functions and therefore cannot dissipate heat as easily as their healthy counterparts, resulting in heat storage and significant body temperature increases. The damage higher than T11 or T12 level results in lack of skin vasomotor function in the sympathetic nervous system, invariable skin blood flow in the femoral area, and an increase in core body temperature. The aural temperature is significantly higher during exercise in a hot environment than in healthy people, and it also prolongs the recovery time of the after exercise. Therefore, it is proposed that the heat stroke prevention guidelines used for healthy people be revised downward during exercise in a hot environment in persons with thermoregulation disorder such as SCI, cerebral palsy and progressive disease.

研究分野：運動生理学

キーワード：運動生理学 脊髄損傷 体温 アダプテッドスポーツ 熱中症

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

内閣府による平成 25 年版障害者白書によれば、本邦の身体障害児・者数は約 366 万 3 千人と推計され、そのうち肢体不自由者は、身体障害者全体の 50.5% の 181 万人と高い割合を占めており (厚生労働省平成 18 年障害児者実態調査)、その数は年々増加している。

車いす使用者の身体活動・運動を考える場合、健常者を対象とした運動指針がそのまま適応できないという指摘がある。健常者は下肢運動もしくは全身運動が運動指針になるが、車いす使用者は主な筋活動群が上肢であること、障害が運動時の生理的応答に影響を及ぼすことが要因となり、車いす使用者の運動指針は未だ作られていない。同様に、麻痺部が存在する場合、麻痺部の発汗作用が失われ、熱放散が機能しない。このことは、損傷部位の違いによって体温調節機構が異なることを示唆し、環境省や厚生労働省および日本体育協会が提言している熱中症予防指針に必ずしも当てはまらないことを示している。これらの指針の立案・提言することによって、各々の障害の特性や個人の背景を考慮した、よりよいスポーツの実践の提唱ができると考えられる。2020 年夏期に東京オリンピックパラリンピックが開催されることから、熱中症対策の指針の作成は身体的および社会的な課題であると考えられる。

運動時に体温が上昇することは、その機序や生理的意義については、多くの先行研究が存在する。脊髄損傷者 (SCI; spinal cord injury) のように、自律神経系に障害が生じている場合、熱産生と熱放散バランスを保つことが困難となる。21-23 に設定した屋内の運動時においても、麻痺部の大きさに依存し、核心温が高値を示すことが報告されている。安静時においては、健常者と比較して核心温が低値を示すことが多く、その理由として麻痺による代謝量の低下が認められている。皮膚温が低いために皮膚からの伝導、対流および放射による熱放散が抑制され、その結果、暑熱環境下または長時間の運動時には貯熱量の増大が懸念される。ひいては暑熱障害の危険性が高まることが予想される。

このように、SCI の体温に関する先行研究はされているものの、その多くは皮膚温と鼓膜温であるものが多く、運動中の深部体温の変化を明らかにしたものは少ない。また、SCI を対象とした研究は、人工気象室での実験が主流であり、暑熱環境に曝露されたフィールド研究は散見されない。実際のスポーツ現場は、季節を問わず屋外で行われることが多いことから、SCI を対象とすることは肝要である。これらのことから、夏季の運動時における車いす生活者の貯熱は健常者と比較して著しく、運動終了後においても、暑熱障害のリスクは高いと仮説を立てた。

2. 研究の目的

本研究の目的は仮説の検証であり、運動中および運動後のリスクを深部体温変化から明らかにすることであった。また、先行研究のシステマティックレビューから、車いす生活者のための日常生活と運動・スポーツ時の熱中症予防指針の立案を行うこととした。

3. 研究の方法

1) 対象者

対象者は、健常な成人男性 7 名と、外傷性による脊髄損傷 (T10~12) などの下肢機能障害を有する男性 3 名 (SCI) とした。対象者には、予め本研究の目的、方法および実験に伴う危険性について説明し、実験参加の同意を得た。なお、本研究は福山市立大学の研究倫理審査委員会の承認を得て実施した。

2) 測定項目

測定項目は、対象者の身体的プロフィールとして、年齢、身長、体重および形態的特徴を測定した。生理的指標として、心拍数 (HR; Heart Rate)、最高酸素摂取量 (VO_{2peak})、血圧 (BP; Blood Pressure)、主観的運動強度 (RPE; Rating of perceived exertion) および直腸温 (RT; Rectal temperature) とした。HR は胸部双極誘導によって経時的に導出し、実験開始から 1 分毎に終了まで記録した。 VO_{2peak} はブレスバイブレス法、BP はアネロイド血圧計、RPE は Borg's scale を採用する。直腸温 (RT; Rectal Temperature) は、YSI サーミスタ温度プローブ (YSI4000 サーモメータ日機装ワイエスアイ) を用いて導出した。また SCI の対象者は、自身での直腸温計の挿入が困難であったことから、鼓膜温計 (耳栓型サーモメータ日機装ワイエスアイ) を用いた。運動課題は、ハンドエルゴメーター (881E 型: MONARK) を用いた。各被験者を 20 分間の座位安静を保たせた後、5 分間の座位安静時の酸素摂取量、HR 及び RPE を測定する。ハンドエルゴメーター運動は、多段階漸増負荷試験を採用し、ウォームアップとして、0~3 分; 3.5kcal/min、3~6 分; 4.0kcal/min、6~9 分; 4.5kcal/min を設けた。その後、1 分経過につき 0.25kcal/min ずつ負荷を上昇させ、60rpm で疲労困憊まで継続させた。最高酸素摂取量を測定した後、60% 強度で 30 分間のクランキング運動を実施し、回復過程の体温の変動を測定した。

環境条件は、気温、湿度、黒球温度および WBGT (湿球黒球温度; Wet-Bulb Globe Temperature) を、熱中症指標計を用いて測定した。発汗量は 10g 精度の車いす用デジタル体重計を用いて計測し、発汗量、脱水率および水分補給率を次式で算出した。

- ・発汗量 (kg) = (運動前体重 + 飲水量) - 運動後体重
- ・脱水率 (%) = (運動前体重 - 飲水量) / 運動後体重 × 100
- ・水分補給率 (%) = (飲水量 / 発汗量) × 100

4) 統計処理

データは全て平均値 ± 標準偏差で示した。SCI および対照群を、二元配置分散分析を用いて比

較した。主効果が認められた場合は、多重比較を行った。有意水準は 5%未満とし、各形態的特徴と体温の変動を検討した。

4. 研究成果

1) 脊髄損傷者の運動時の体温の変動

Table1 に、損傷レベルと麻痺部位の関係について示した。損傷レベルが高位であるほど、麻痺部位と機能低下が広範囲にわたっている。SCI の体温調節機構図は、麻痺部に依存しており、頸髄 (C) から胸髄 (T) の高位の損傷では、胸髄下部から仙髄 (S) までの下位損傷に比して交感神経系の作用が及ばなくなり、血管運動が麻痺をし、また、T1~4 での損傷では発汗作用が欠損することから、暑熱化における体温上昇が著しい (Hollinshead and Jenkins 1981, Krassioukov 2012)。Yamasaki et al. は、T6~12 の脊髄損傷者を人工気象室

内に滞在させ、T11~12 レベルの損傷では下腿部の皮膚血管運動は維持されたのに対し、T10 以上の損傷レベルでは、皮膚血管運動の機能が欠落し、皮膚血流が不変となったことを報告している。これらのことから、自律神経系の作用による血管運動の損傷レベルの閾値は T10~11 にあることが明らかになった Fig.1 に示したように、本研究における T11 レベルの損傷者においては、鼓膜温の変動は健常者と比較して高値を示しているものの、運動後においても緩やかに体温が低下している。また、Table 2 に示したように、発汗量は麻痺部である下肢の発汗が少ないことから、健常者が高値を示したが、回復過程における体温の低下は、健常部における発汗と血管運動による熱放散が促進されていることに起因する。

一方で、三上らは SCI の運動習慣によって残存機能の向上だけでなく、麻痺部の皮膚血管反応を変化させる可能性を示しており、SCI においても運動習慣の獲得は体温調節の改善に寄与することを示唆している。また、内藤と林 (2018) は、SCI の身体冷却の方略として、顔面への水噴霧やアイスベスト、ネックベストなどの体外冷却と、アイススラリーを経口摂取することによる体内冷却を挙げているが、SCI への検討は少なく今後の課題である。

Table 1. Effect of spinal cord injury

Spinal cord	Levels of injury	Extent of paralysis
Cervical (C)	C2 - C5	Paralysis; Some or all muscle used for breathing and all arm and leg muscle
	C5 - C6	Paralysis; Legs, trunk, hand, and wrist
	C6 - C7	Weakness; Muscles that move the shoulder and elbow
	C7 - C8	Paralysis; Legs, trunk, and part of the wrists and hands
	C8 - T1	Paralysis; Legs, trunk, and hands
Thoracic (T)	T2 - T4	Weakness; muscles that move fingers and hands
	T5 - T8	Paralysis; Legs, and trunk
	T9 - T11	Loss; Sensation below the nipples
	T11 - L1	Paralysis; Legs
	L2 - S2	Loss; Sensation below the rib cage
Lumbar (L)	L2 - S2	Paralysis; Legs
Sacral (S)	S3 - S5	Loss; Sensation below the navel
	S3 - S5	Paralysis; Hips, and legs
		Various patterns of legs weakness
		Numbness in perinrnum

内藤と林 (2018) から引用

Table 2 Characteristics of Subjects

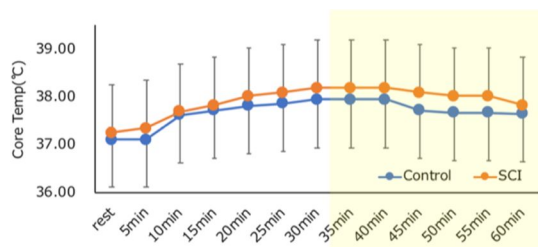


Fig.1 Changes of aural temperature during and post exercise

	Control	SCI
age (yr)	22 ± 1	31
height (cm)	169.8 ± 5.8	173.0
BMI	23.5 ± 2.3	22.0
pre-weight (kg)	67.87 ± 7.99	66.00
post-weight (kg)	67.25 ± 8.09	65.41
amount of sweat (L)	0.62 ± 0.12	0.59
sweating rate (%)	100.95 ± 0.30	100.9
VO ₂ peak (ml/min/kg)	33.2 ± 4.8	47.1

pre-weight, the body weight before exercise.; post-weight, the body weight after exercise

2) 脊髄損傷者における熱中症予防指針の提案

深部体温の測定箇所には従来から、直腸温、食道温、舌下温および鼓膜温が用いられる。近年ではカプセル型のピルを飲み込み、無線で導出する胃腸温計が使用されている。健常者においても SCI においても使用することが可能であるが、麻痺レベルによる使用の困難さや、運動によって活用できない場合がある。最も使用しやすいのは、測定が簡便である鼓膜温であるが、深部体温を過小評価してしまう可能性が考えられる。本研究における健常者 7 名の直腸温が 37.36 ± 0.42 であり、鼓膜温は 37.11 ± 0.38 であった。しかしながら、Trvbovich(2016)は、重度 SCI の鼓膜温が 35.9、軽度 SCI は 36.5 であったと報告している。また、Wilsmore(2007)は、3 名の C4~5 の鼓膜温がそれぞれ 36.5、36.7、36.5 であり、直腸温が 37.2、36.9、36.8 であったと報告している。健常者および SCI のいずれにおいても鼓膜温が直腸温に比して低値を示している。すなわち熱中症予防のために使用する体温の測定には、鼓膜温を使用しやすいが、真の深部体温から概ね 0.5 の誤差が生じていることを認知しておく必要がある。

Fig.2 に一般的に使用されている日本生気象学会の熱中症予防指針を示した。健常者における予防指針においては、WBGT が 25 以下は注意、25°C~28 は発症警戒、28°C~31 が嚴重警戒、31 以上では危険域としている。同様に日本体育協会における熱中症予防指針においても 31 以上では原則運動中止とするなど、暑熱環境が身体に及ぼす影響は大きい。また健常者と SCI で部位毎に皮膚温が異なる。体幹部においては健常者と SCI の間に大きな差は見られないが、大腿部および脛脛は健常者が有意に高値を示し、前顔面および上肢は SCI が有意に高値を示す (Price

and Campbell 1997, Price 1997, Price and Goosey-Tolfrey 2008) .したがって同じ WBGT 値においても,体温調節機能が低下している SCI には反映できない.本研究および先行研究によって報告されている暑熱下における各損傷レベルの深部体温の変動および部位別皮膚温および発汗率から, Fig.3 に修正版熱中症予防指針案を示した .

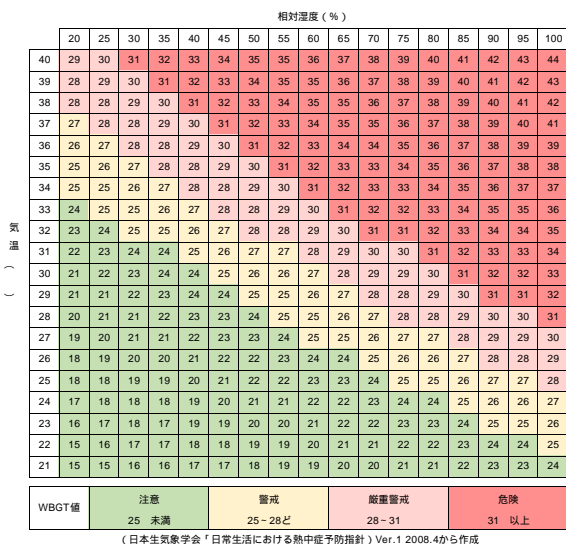


Fig.2 Heat stroke prevention guideline

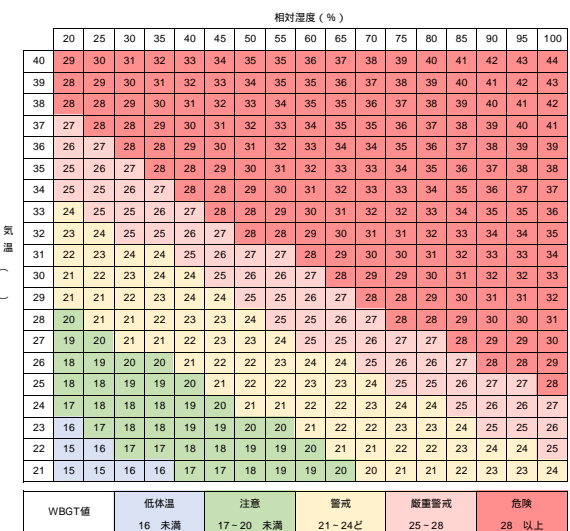


Fig.3 Modified heat stroke prevention guideline

修正版熱中症予防指針については, SCI を対象としている.青色で示した箇所は,四肢の冷感または低体温による活動の困難さを訴えるものが出てくる時点である.重度の損傷者では,麻痺部の筋量が減少しており,産熱が起こりにくくなっているため,中立温においても厚着をしている者が多い.したがって高位の損傷がある場合は,運動するフィールドと控え室のような別室の寒暖差が大きくなるように配慮する必要がある.

3) 今後の展望

本研究の結果は,体温調節機能が概ね残存している SCI から見出せるものであった.したがって進行性疾患や脳性麻痺,高位レベルの損傷者のデータの蓄積をすることで,さらに発展した指針を作成することが可能になる.今後は,各損傷レベルの研究協力者を広く募集することとし,測定が簡便で深部体温を測定することが可能なカプセル式の測定機器を用い,種々の環境にて暑熱環境または寒冷環境での測定が必要である.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

内藤貴司,林聡太郎. 脊髄損傷者の体温上昇抑制に有効な身体冷却法の検討. 体育学研究 63(1), 1-11, 2018. (査読有)

Effective cooling strategies to reduce body temperature in persons with spinal cord injury. Naito Takashi, Hayashi Sotaro. International Journal of Sport and Health Science. 二次出版として投稿中. (査読有)

[学会発表](計2件)

Hayashi Sotaro.Changes of core temperature and sweating rate during exercise in heat environment - Case report in a spinal cord injury man -. The 22th annual congress of Eastasian Sport and Exercise Science Soceirty. 2017.

Hayashi Sotaro.Changes of the body temperature after exercise in spinal cord injury person. The 23th annual congress of the European College of Sport Science.2018.