

暑熱対策の現場の取り組み パラ陸上競技

上條 義一郎

獨協医科大学埼玉医療センター・リハビリテーション科

1. はじめに

パラスポーツは1948年にGuttman医師がStoke Mandeville病院で脊髄損傷対麻痺患者を対象に開催した大会が起源となる。本邦では1964年第2回パラリンピック東京大会開催後、1965年から年全国障害者スポーツ大会、1981年から大分国際車いすマラソン大会が始まり、1998年長野冬季パラリンピックが開催され、さらにコロナウイルス感染拡大の中、無観客ではあったが、2021年東京パラリンピック開催に至る。国民のパラスポーツへの関心は高まった。しかし、スポーツ庁(2023)の報告では、成人障がい者の週1回以上のスポーツ実施率は31%(成人一般56%;2022年)と依然低い。障がい者が安全にスポーツを行うための環境づくりやその支援・指導のための情報提供がさらに必要である。パラスポーツを行う者は、体力向上や社会参加を目的とする者からアスリートまで、障がいは、肢体不自由(脊髄損傷や切断)、脳性麻痺、視覚障がい、知的障がい、精神障がい、聴覚障がいと多岐にわたる。年々競技性が高まり、各アスリートの医学的管理と並行して、パフォーマンス向上のための対策が必須となってきた。東京パラリンピックにおける暑熱対策もその一つである。

健常選手と違い、パラアスリートは障害、病態背景、サポート体制を含む社会背景もそれぞれ異なる。健常選手と同様の対策は必ずしもフィットしない。各アスリートに対して個別対応が必要である。本稿では著者が2018年から東京パラリンピックまで日本パラ陸上競技連盟強化委員会暑熱対策専門員として行ってきた活動を、生理学的知見、障がい者における知見と共に紹介する。

1. ヒト体温調節にかかわる生理学的知見

熱中症は、病態からは熱失神、熱痙攣、熱疲労、

熱射病に分類される。皮膚血管拡張は血圧調節を困難にする(熱失神)。これが続き、多量発汗による脱水が補正されなければ循環不全(熱疲労)や痙攣(熱痙攣)が生じる。さらに、熱産生と損失のバランスが大きく崩れると深部体温が40℃を超え熱射病になる。何故熱中症になるのか。

体温は、環境温変化により著しく変わる外層温とこれによらない核心温に分けられ、体温調節の対象は“核心温”(脳温)である。本稿ではこれを深部体温とする。深部体温は体内における熱産生と体外への熱放散のバランスで決定され、安静時ではほぼ37.0℃に調節される。暑熱暴露や運動により深部体温が上昇すると、視床下部視索前野(体温調節中枢)温ニューロン発火が亢進し、皮膚交感神経活動(コリン作動性)を賦活化させて発汗や皮膚血管拡張を引き起こし、体外への熱放散を促し過剰な深部体温上昇を抑える。体重60kg若年者が150wattで30分間運動を行うと(室温30℃、相対湿度60%)、エネルギー効率20%とすれば、熱放散がなければ深部体温は20分で40℃まで達する計算になる。実際には深部体温上昇のため発汗や皮膚血管拡張が生じ、運動30分間でも38.0℃程度の上昇に止まる。ヒトの熱放散機能は非常に優れている。一方で、皮膚静脈への血液貯留を増加させるため、常に血圧調節を危うくし、多量発汗による脱水が生じやすく、熱産生にバランスが傾けば熱射病になりかねない。

ヒトの体重の約60%は水分で40%は細胞内液、20%は細胞外液である。細胞外液はさらに間質液と血漿に分けられる。1日の水分出納は、OUTは気道や皮膚からの不感蒸泄(約0.9ℓ/日)、尿(約1.5ℓ/日)、トレーニング・運動量に応じた発汗(?ℓ/日)であり、INは喉の渇きにあわせた飲水と食事摂取による。この出納が負に傾けば脱水は日々蓄積される。汗Na⁺濃度は30-90mEq/L程度で低張である。多量発汗後は細胞外液が濃縮され細胞内外で晶質浸透圧格差が生じ、細胞内液が外液側へシ

フトし血漿量減少は多少補完されるが低血液量・高血漿浸透圧となる。低血液量は心肺圧受容器を脱伸展させ延髄の中枢を介して皮膚血管拡張を、高血漿浸透圧は視策前野を介して皮膚血管拡張と発汗反応を抑制する。皮膚交感神経は血圧調節に関わる筋・内臓交感神経とは独立している。熱放散は脱水により抑制される。

ヒトは多量発汗後に喉の渇きに任せて水分補給(真水)を行っても脱水量の50%程度しか補正されない。これを自発性脱水と呼び、コップ1杯の飲水でも口渇感消失し、尿流量が抑えられないことが関係する。食塩水摂取が脱水後の自発性脱水を弱め(Nose et al. 1988)、食塩0.15%程度含まれる糖電解質飲料において、グルコースを含むものは、これが人工甘味料に置き換えたものに比べて脱水後の血漿量回復を早める(Kamijo et al. 2012)。多量発汗後の可及的な補正には糖電解質飲料摂取が有効で、数日間かけて様子を見る必要がある。

上條ら(2012)が総説で述べるように、暑熱暴露や暑熱環境下で持久性運動を繰り返すと、深部体温上昇に対する皮膚血管拡張や発汗反応が亢進し、熱放散能が促進されるため、運動時の深部体温上昇、心拍数上昇が抑制され、運動継続時間が延長する。血液量、発汗速度や皮膚血流量の増加度、皮膚血管拡張・発汗の食道温閾値や食道温上昇に対するそれらの感受性の改善度も暑熱馴化の指標となる。馴化完了までには連続10-14日間が必要で、心拍数減少は5日間、血漿量増加は6日間で完了する。ウォーキングなど緩い運動では馴化完了までさらに長い日数を要し、1週間以上の間隔を開けて実施しても馴化できない。暑熱馴化は一過性である。馴化を獲得・維持するには「暑熱環境下での連続したややきつい運動」を一定期間継続する必要がある。さらに効率よく暑熱馴化を獲得するには、一定期間の持久性トレーニング中、毎回の運動直後の糖蛋白質摂取が血漿量を増加させるため有効である(Okazaki et al. 2009, Goto et al. 2010)。暑熱馴化は熱中症を予防する。

体外冷却に関する知見は利便性を考慮すると、冷水による手・前腕冷却や風を当てる方法が推奨される。気温49°C、相対湿度12%の環境下で20分間のトレッドミル歩行(5 km/h; 傾斜7.5%)実施後、15分間の回復期を置いた。対照条件では回復期終了時に深部体温が38.3°Cまで上昇したが、回復期で手・前腕冷水浴(19°C)を行うと37.9°Cの上昇に止まった(Barr et al. 2011)。若年健常者(平均年齢32歳)が室温35°Cで60分間の自転車運動(56% $V_{O_{2max}}$)

を行うとき、3.0 m/sの風を当てる場合、無風(<0.2m/s)に比べて発汗量が約15%、平均皮膚温が約2.0°C、食道温上昇も約0.5°C低く、無風環境では熱貯留が高いことが示唆された(Adams et al. 1992)。体外冷却には手・前腕冷却や風を当てる方法が有効である。

2. 暑熱環境はパラスポーツ選手のパフォーマンスに影響するか?

暑熱環境下においてパフォーマンス低下が懸念される種目に長距離種目、特にマラソンがある。マラソンにおいて適度な環境温は4~15°Cで(Robert 2007; Maughan 2010)、ボストンマラソン1897~2018年における383,982名のランナーのデータより、気温が8°Cを境に1°C上昇する毎にレースタイムは平均で2分遅くなった(Nikolaidis et al. 2019)。暑熱環境はマラソン選手のパフォーマンスに影響する。

パラ陸上競技にも健常者と同じ距離でマラソン競技が行われるが、障害によるクラス分けがある。東京パラリンピックでは立位の視覚障がい(T12)、上肢切断・上肢機能障がい(T46)、そして車いす(T54)の3クラスが実施された。日本勢はT12女子で金、T46男子で銅メダル、T54女子で4位入賞、男子で7位入賞を納めた。パリでは男女ともに視覚障がい(T12)、車いす(T54)クラスが実施される。車いすクラスでは優勝タイムは1時間30分程度だが、視覚障がいクラスでは3時間以上かかる。しかし、暑熱環境が彼女・彼らのパフォーマンスに影響するかエビデンスは少ない。

The 2015 Para Athletics World Championships(10/21~31、ドーハ)において、WBGTs 24.6-36.0°C、症状発生率2.89/1000athlete-days、熱中症7件、うち3件は入院が必要であった(Grobler et al. 2019)。The IAAF World Athletics Championships in Beijing 2015(8/22-30、北京)ではWBGT ~24°C(8:00); ~27°C(12:00); ~25°C(16:00)で、957選手(全参加選手の49%)中5名に労作性熱中症に関連した悪心、嘔吐、めまい、動悸、失神が発症した(Périard et al. 2017)。毎年秋に開催される大分国際車いすマラソン大会にはT51(頸髄損傷; 神経残存レベルC5、C6と同等の活動制限)、T33/52(頸髄損傷; 神経残存レベルC7、C8と同等の活動制限)、T34/53/T54(胸腰髄損傷と同等の活動制限)の3クラスがあり、ハーフ、フルマラソンが行われる。フルマラソンは国内外のトッ

ブ選手が集結し、ハーフマラソンはトップから参加を楽しむ選手まで含まれる。過去 20 年間のレース完走率とスタート時刻の気象庁発表の気温との関係は、T33/52 では気温 20℃を境に寒くても暑くても完走率は低下した（著者ら未発表データ）。パラ陸上競技においても熱中症は起こりうる。

3. 2018 年アジアパラ競技大会での教訓

暑熱対策を進めていく上で教訓的な大会が、2018 年アジアパラ競技大会（ジャカルタ；平均最高 / 最低気温 33.3℃/27.0℃；平均相対湿度 68%）であった。日本パラ陸上選手 64 名中 8 名が熱中症を発症した。そして、この 8 名は脊髄損傷、切断、上肢欠損選手で、注目すべき点は、中長距離種目ばかりではなく、短距離やフィールド選手にも発症していたことであった。大会後、8 名から大会前～期間中、競技終了までのことを聞き取ると、脱水、睡眠不足など体調不良、長い待ち時間やアップのやり過ぎのために競技前・競技中に熱けいれんが生じ、過剰に深部体温が上昇したと推測された。アップを含めた競技当日の対策とともに、大会前からの入念な体調管理が必要であること、そして、脊髄損傷や切断という熱放散が限定される選手で、かつ種目によらず暑熱環境に暴露される時間が長いほど熱中症のリスクが高まることが示唆された。

4. 障がい者における体温・体液調節、熱中症に関する知見

1) 脊髄損傷における知見

脊髄損傷では運動、感覚、交感神経活動が障害される。運動・感覚障害は上記のように損傷レベル依存する。交感神経下位中枢は脊髄 Th1-L2 にあり、交感神経は脊椎両側にある交感神経幹を介して骨格筋や皮膚を含む各臓器へ分布する。L1-3 より上位での損傷は膀胱直腸機能、Th11-L1 より上位では腎交感神経、Th1-6 より上位では心臓交感神経、頸髄損傷では全身の交感神経機能が障害され、顔面、頸部へは Th1-4、上肢へは Th5-7、下肢へは Th10-L2 から分布する（Chila 2011）。運動・感覚障害のレベルと交感神経活動障害のレベルは必ずしも一致しない。

頸髄損傷者は深部体温上昇に対する皮膚血流 / 発汗調節が全身で障害され、胸腰髄損傷者では損傷レベルに応じて障害される。健常者では 20℃や 35℃の部屋に 2 時間滞在しても深部体温は一定だが、頸

髄損傷者のそれは環境温に依存し 0.5℃ / 時間程度で変化する。胸腰髄損傷者の場合その変化は頸髄損傷者に比べ小さい（Guttmann et al. 1958）。気温 32℃、相対湿度 43% で頸髄損傷者（C5-8 損傷；最大酸素摂取量 $[VO_{2peak}]$ 1.3L/分）、高位胸髄損傷者（Th1-6；1.7L/分）、下位胸腰髄損傷者（Th7 以下；2.2L/分）が 60 分間の車いす駆動運動（60% VO_{2peak} ）を行うと、高位胸髄、下位胸髄または腰髄損傷者では深部体温がそれぞれ 1.1、1.4℃上昇し、頸髄損傷者では運動強度が低いにもかかわらず 2.1℃上昇し、蓄熱量が最大であった（Price & Campbell 2003）。著者らの未発表データでは VO_{2peak} 1.0L/分以下の頸髄損傷者が 30 分間の上肢運動（50% VO_{2peak} ；25℃、50%）を行うと深部体温はむしろ低下した。頸髄損傷者では熱放散が熱産生を上回る状況もある。

著者らの未発表データでは、受傷年数 1-24 年の頸損（6 名）と胸腰損（8 名）、健常者（10 名）は水循環スーツを着用して仰臥位をとり、上下スーツに 33℃の水を流し、その後、上下スーツへそれぞれ 36、50℃の水を流し、これを食道温が 1℃上昇するまで続け、平均血圧、胸部で発汗速度と皮膚血流量を測定した。その結果、暑熱負荷による皮膚血管拡張反応は健常者でベースラインの 4 倍、胸腰損では 3 倍まで増加し、頸損では上昇しなかった。発汗反応も同様であった。胸腰損のうち受傷年数が 1～2 年の者は排尿管理目的で抗コリン薬を内服しており、これにより熱放散反応が抑制されていた。

脊髄損傷者における暑熱馴化の検討は限られている。Gass & Gass (2001) は、対麻痺、健常者らに 60 分間頸下浸水（39℃）を 5 日間連続行くと、健常者では 5 日後に安静時食道温が 0.2℃低下し、頸下浸水中の上昇が 0.5℃抑制されたが、対麻痺では変化しないことを報告した。Trbovich (2016) らは、四肢麻痺、対麻痺らに室温 35℃、相対湿度 40%の環境下で上肢運動（50% VO_{2peak} ；30 分間 / 日）を連続 7 日間行っても、初日の運動終了時の深部体温上昇は四肢麻痺で +1.6℃、対麻痺で +0.9℃で、7 日後もこの上昇は同等であった。脊髄損傷者において暑熱馴化を獲得したとする知見がなく、その理由も不明である。

循環調節障害や膀胱直腸障害がある場合、間接的に体温調節へ影響しうる。循環調節障害が特に問題となるのは頸髄損傷者である。Th6 以上の損傷の場合（特に頸髄損傷）、膀胱充満、摘便などによる自律神経過反射（収縮期血圧上昇 $\geq 20\text{mmHg}$ ）は時として 300mmHg を超え脳出血を引き起こすことがある

ため、寝かせず座位をとらせ、早急にその原因を取り除く。同過反射は麻痺領域の皮膚への刺激(創傷、褥瘡など)によっても引き起こされるため、健常者で体外冷却として行われる全身冷水浴は避ける。

一方で、起立性低血圧、心拍出量制限が生じやすい。この場合は腹帯や下肢への弾性包帯、タンパク質摂取による血液量増加などにより心臓への静脈還流量を維持させる。Th9以上の損傷では、運動時、内臓から活動筋野皮膚への血流分配が機能しない可能性がある。暑熱環境下においては熱失神が生じやすい可能性がある。

膀胱直腸障害では、仙髄より上位損傷では排尿筋過活動/排尿筋括約筋協調不全、下位では排尿筋低活動/無収縮を認め、尿意も障害される。水腎症、尿路感染、尿失禁予防のために清潔間欠導尿を導入し、定期的に下部尿路の状態を管理する。排尿管理の観点で問題は、頸・脊髄損傷選手は取って水分摂取を制限することである。著者らの計測では、2018年4月に実施されたパラ陸上車いす選手5名(T54長距離3名;T43短距離1名;T52短距離1名)の4日間の合宿(平均気温23.3°C;相対湿度36.0%)において、4日間平均で水分摂取量は発汗量に対して30%程度しか摂取しなかった。4日間を通して練習前の体重に大きな減少を認めなかったため、脱水の蓄積はないと判断したが、夏期では脱水が蓄積されていくリスクが想定された。暑熱環境下において脱水はパフォーマンス低下を招くため、選手が気兼ねなく排泄できるような環境作りが必要である。

頸髄損傷者の排便には時間を要する。ストレス緩和や残存機能に合わせた排便環境や自助具の選択を行う。排便直後は低血圧状態となるため、競技日程に合わせた排便コントロールが必須である。

2) その他の障がいにおける知見

脊髄損傷以外に、切断・肢欠損、脳性麻痺、知的障がい、視覚障がいに対する個別の対応が必要である。切断・肢欠損選手においては、まず健常者に比べて仕事効率が低い可能性があるため、同じ仕事率に対してより多くのエネルギーを消費し(Griggs et al. 2019)、熱産生が高くなりがちである。一方で、体表面積減少により伝導(+対流)による熱放散が減弱する。Fukuhara et al. (2021)は、 VO_{2peak} (~ 32 mL/kg/min)、最大到達負荷が差が無い下腿切断選手と健常者において、高温多湿環境下での60分間の上肢運動($60\%VO_{2peak}$)時の食道温上昇は両群で同等であったが、切断者では胸部発汗量、それによる脱水率が有意に高く、Hasegawa et al.

(2020)らは同一運動で温熱感覚や不快さは健常者に比べて低いと報告している。このため切断・肢欠損選手では代償性に発汗反応が亢進している一方で、「暑さ」は健常者に比べて感じにくい可能性がある。深部体温上昇に差がないと言っても適切な水分補給が行われなければ脱水のリスクが高い。

脳性麻痺選手では、運動失調、アテトーゼ、痙性により協調運動、動作効率が障害されている。発汗や皮膚血流による熱放散は健常者と変わらないと想定しても、不随意運動や痙性により安静時代謝は健常者に比べて高い可能性がある。長時間の運動による深部体温上昇が症状を増悪させてしまう危険性を否定できないため、現場では強度が高くかつ長時間のトレーニングは推奨しない。過去の8-18歳の脳性麻痺者を対象にした研究では、暑熱環境下(35°C)でも10分以内の持久性運動であれば深部体温は変化せず、20°Cの環境で運動した時の発汗量と同等であった(Maltais et al. 2004)。夏季にはこまめな水分補給を行いながら、練習は時間を区切りながら行うことが必要である。

視覚障がい選手は、現在のところ、自律性体温調節反応は、健常者と同等と想定している。皮膚の色素が欠損しているタイプの選手では、日焼けにより汗を作る汗腺が障害される。一方で、選手のみならずガイドランナーの体調管理が必要になることも考慮する。

最後に知的障がい選手では自律性体温調節反応は健常者と同等だが、体温調節をするため、熱中症予防のための行動を自分で判断して遂行できない。自ら気温や湿度に応じて着衣を調節し、必要なタイミングで必要量の水分補給をし、環境や自身の体調に合わせて練習量やペースを変えることが困難である。行動性体温調節が障害され、熱中症のリスクが高い。

3) 熱中症に関するアンケート結果

著者ら(2021)はパラ陸上選手の熱中症発生状況やその対策の理解度を2019年度国内障がい者陸上競技大会出場者を対象としたアンケート調査を実施した。有効回答数64名(F/M = 18/46; 29 [15-64]歳, 中央値 [最小-最大])。熱中症経験有は58%、チームメイトのサポートを受けていない選手や強化指定経験者に多かった。ロジスティック回帰分析から寝付きの悪さが熱中症発生に関連していた(オッズ比3.5 [95%CI 1.0, 12.3]; $p=0.05$)。パラ陸上選手における熱中症発生率は障害がない集団(学生20-30%)や室内競技(車椅子バスケット

12%) に比べて高く、睡眠障害はその原因の一つであることが示唆された。

4) 障がい者選手の睡眠の検討

健常者において睡眠不足は好氣的運動能力を減少、ストレス関連ホルモン分泌を増加させ、脊髄高位損傷者は健常者に比べて睡眠障害が多い。しかしパラアスリートでの検討はなかった。そこで著者らは第 35、36 回大分国際車いすマラソン大会ハーフ部門にエントリーした T51/52(頸髄損傷;頸損群)10 名、T34/53/54(胸腰髄損傷 11 名、脊髄炎、骨形成不全、小児麻痺各 1 名;他群)14 名に、予め小型睡眠計 (HSL-001、オムロン、京都) を送付し、大会 2 週間前からレース前日までの睡眠状態を計測、レース当日に回収すると共にレース前に採血を行い血漿アドレナリン ($[Ad]_p$)・コルチゾール濃度 ($[Cor]_p$) を測定した。大会前 2 週間の両群の平均睡眠時間は 6 時間で差が無かったが、頸損群ではレース前日に中途覚醒時間・回数が他群に比べて高かった。他群においてレース前 $[Ad]_p$ はレース前 2 日間の平均睡眠時間と ($r=-0.89$; $P=0.004$)、 $[Cor]_p$ はレース前 1-2 週間前の平均睡眠時間と有意な負の相関関係を認めた ($r=-0.74$; $p=0.012$)。頸損群では移動前後やレース前日に夜間中途覚醒が多くなり、他群ではレース前の睡眠状態がレース当日のストレス状態に影響を及ぼすことが示唆された。車椅子アスリートのレース前の体調管理に睡眠状態の評価も必要である (未発表データ)。

5) 障がい者における体外冷却の知見

気温 30.8°C、相対湿度 60.6% の環境下で、車いす選手 8 名 (C7-Th1 ~ L1)、健常者 7 名が 60 分間の運動後 10 分間の回復期をとり、何もしないかまたは手冷浴 (16°C) を行い、最後に 3km パフォーマンステストを行った。運動による深部体温上昇は両条件で同等であったが、車いす選手では 2.0°C、健常者では 1.3°C 上昇し、冷浴によりそれぞれ 0.4°C、1.2°C 低下し、その結果、パフォーマンステストでもそれぞれタイムを 4.0 秒、20.5 秒短縮させた (Goosey-Tolfrey et al. 2008)。

頸髄損傷選手による車いすバスケットボールの試合中 (15 分ハーフ; ハーフタイム 3 分) に食道温、皮膚温、心拍数を計測したところ (田島ら未発表データ)、開始前食道温は 37.2°C、皮膚温 35.8°C、心拍数 70 拍 / 分前後であったのが、試合開始直後から皮膚温は 0.8°C 低下し、心拍数は 100 拍 / 分前後まで増加し、開始 10 分後から食道温が上昇し始めた。

ハーフタイムで食道温はさらに上昇し 38.0°C まで達した。後半開始とともに食道温上昇は抑えられ 38.0°C に維持され、試合終了直後に霧吹きにより体外冷却を行うと皮膚温は約 2.0°C 急激に低下する一方、食道温は 38.2°C まで上昇した。1 例ではあるが、頸髄損傷者への冷水による体外冷却はかえってうつ熱を引き起こすため、送風の方が安全で効果的であることが示唆された。

5. 東京パラリンピックに至るまでの暑熱対策について

まず、何が深部体温上昇に影響するのか指導をした。高温に加え、太陽からの輻射熱、照り返し、ターゲット表面が気温より 5°C 高いため地面からの輻射熱もある。中長距離選手では、さらに筋肉での熱産生が加わる。ウェザーニューズによる開催時期における東京の過去 10 年間の気象条件を検討し、想定環境を最高気温 30°C、相対湿度 80% とした。

次に対象選手については、座位・立位投擲、跳躍などでは待ち時間が長くそれが負担になること、短距離選手でもアップのやり過ぎは競技前に深部体温が上昇しすぎてしまう点等を考慮し、対象は全選手とした。各障害、種目により対応を変える必要があった。

暑熱対策は、“大会前から必要な対策” と “当日に行う対策” に区別し、選手やコーチに対して座学や現場での指導を重ねた。大会前から必要な対策には、体調管理、脱水予防、暑熱馴化のための指導が含まれた。体調管理にはスマホや PC にダウンロードできる Atleta を使用した。選手自身やコーチ・指導者が情報を共有できる。起床時の脈拍数、体重、採尿による尿比重の計測、睡眠時間を評価項目とし、選手の障害 (上肢機能障害、視覚障がい、車いす生活者など) に合わせ、各選手のサポート体制も考慮し、各選手が測定可能な項目を選択し、そのアプリに入力するよう指示した。データより脱水が疑われる場合には栄養士を通じて飲水指導を行い、経過を観察した。筋力アップ、暑さに慣れる手法として、著者らの高齢者に対する研究成果を元に、各トレーニング直後にタンパク質摂取を推奨した。

個別対応した例では、T46 男子マラソンに出場する選手は、夏季大会への出場が初めてであることから、レース中の糖質、水分の摂取方法を指導した。また、同選手は練習前の尿比重が高く、慢性的な脱水が疑われたため、普段の練習でも積極的に水分補給をするように指導した。レース前にはこれが改善

されたと推測され、結果は銅メダル獲得であった。T54 長距離選手の一人は、毎回の練習直後のタンパク質摂取を数年間継続し、練習を積み、長距離種目で入賞を果たしている。

競技当日の対策としては、輻射熱の遮断、送風、手・前腕部の冷水浴を推奨した。特に送風では、全身に大流量の扇風機やファンなどで風を当てる方法をとった。

東京パラリンピック陸上競技におけるFOP (Field of Play) メディカスタッフを対象とした研修会で、熱中症が発症した場合の救急対応についての手順の周知も行った。オリンピック委員会では重症熱中症の選手には直腸温測定を行い、40.5°C以上あった場合には、競技現場でアイスバスを用いて体幹部を冷水 (8-15°C) に漬け、直腸温が 38.5°Cになるまで実施、その後、医療機関に搬送する、という手順にしていた。しかし、前述の通り、パラ陸上選手には頸髄損傷者もいるため、冷水による皮膚や直腸温を計測する際の刺激により自律神経過反射を引き起こす恐れがあった。そこで、パラ陸上競技に関しては、重症熱中症が疑われる選手には、直腸温の代わりに食道温をモニターしながら、シャワーで全身を濡らし、扇風機で風を当て深部体温降下を図るということで落ち着いた。食道温は医療用プローブ、機器 (食道モニタリングシステム; EM1; 日本ライフライン (株); 東京) を設置し、プローブ挿入方法も FOP 研修で指導した。

日本パラ陸上連盟のホームページに「暑熱対策コラム」として、体温調節のしくみや熱中症予防対策についての知見を情報発信した。日本障がい者スポーツ協会医事委員会の監修の元、日本リハビリテーション医学会パラスポーツ委員会のご指導を受け、パラスポーツ選手に向けて熱中症 Q & A というパンフレットの作成にも参加した。

6. 最後に

熱中症予防のための方策は、競技当日の対策はもとより、日常生活における体調管理 (栄養摂取、睡眠状態など) も関連するため、主治医、各団体の医師、管理栄養士、トレーナーやコーチ・指導者と連携を図り、体調管理が確実にできているかフィードバックをしていくことがとても重要である。そのためにも、障がい者における基礎研究さらに推進され、そこで得られた知見が現場に活かされていくことを望む。そして、一人ひとりのパラアスリートにかかわる多くの人々とのつながりが形成されていくこと

(まさに“レガシー”であるが) を望む。

7. 引用文献

- Adams WC, Mack GW, Langhans GW, Nadel ER (1992), Effects of varied air velocity on sweating and evaporative rates during exercise, *J Appl Physiol*, 73(6), 2668-2674.
- Barr D, Reilly T, Gregson W (2011), The impact of different cooling modalities on the physiological responses in firefighters during strenuous work performed in high environmental temperatures, *Eur J Appl Physiol*, 111(6), 959-967.
- Chila AG (2011), *Foundations of Osteopathic Medicine*. 3rd ed. Philadelphia, PA, Lippincott William & Wilkins.
- Fukuhara K, Mikami Y, Hasegawa H, Nakashima D, Ikuta Y, Tajima F, Kimura H, Adachi N (2021), Thermoregulatory responses in persons with lower-limb amputation during upper-limb endurance exercise in a hot and humid environment, *Prosthet Orthot Int.*, 45(5), 401-409.
- Gass EM, Gass GC (2001), Thermoregulatory responses to repeated warm water immersion in subjects who are paraplegic, *Spinal Cord* 39, 149-155.
- Goosey-Tolfrey V, Swainson M, Boyd C, Atkinson G, Tolfrey K (2008), 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(1), 37-43.
- Goto M, Okazaki K, Kamijo Y, Ikegawa S, Masuki S, Miyagawa K, Nose H (2010), Protein and carbohydrate supplementation during 5-day aerobic training enhanced plasma volume expansion and thermoregulatory adaptation in young men, *J Appl Physiol*, 109(4), 1247-1255.
- Griggs KE, Stephenson BT, Price MJ, Goosey-Tolfrey VL (2019), Heat-related issues and practical applications for Paralympic athletes at Tokyo 2020, *Temperature (Austin)*, 7(1), 37-57.
- Grobler L, Derman W, Racinais S, Ngai Aston,

- Vliet P (2019), Illness at a Para Athletics Track and Field World Championships under Hot and Humid Ambient Conditions, *PM&R*, 11(9), 919-925.
- Guttman L, Silver J, Wyndham CH (1958), Thermoregulation in Spinal Man, *J. Physiol.* 142, 406-419.
- Hasegawa H, Makino H, Fukuhara K, Mikami Y, Kimura H, Adachi N (2020), Thermoregulatory responses of lower limb amputees during exercise in a hot environment, *J Therm Biol.*, 91, 102609.
- Kamijo Y, Ikegawa S, Okada Y, Masuki S, Okazaki K, Uchida K, Sakurai M, Nose H (2012), Enhanced renal Na⁺ reabsorption by carbohydrate in beverages during restitution from thermal and exercise-induced dehydration in men, *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 303(8), R824-R833.
- 上條 義一郎, 池川 茂樹, 能勢 博 (2012), 運動トレーニングによる暑熱馴化メカニズム: 能動性皮膚血管拡張神経の役割, *体力科学*, 61(3), 279-288.
- 上條義一郎、指宿 立、桜井政夫、只野健太郎、伊藤倫之、川端浩一、高士真奈、中山亜未、吉松大樹、田島文博 (2021), 障がい者陸上選手における熱中症発生状況や関連要因とその予防対策の理解度について, *日本障がい者スポーツ学会誌*, 29, 68-77.
- Maltais D, Unnithan V, Wilk B, BAR-OR O (2004), Responses of Children with Cerebral Palsy to Arm-Crank Exercise in the Heat. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36(2), 191-197.
- Maughan RJ (2010), Distance running in hot environments: a thermal challenge to the elite runner, *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 20, 95-102.
- Nikolaidis PT, Di Gangi S, Chtourou H, Rüst CA, Rosemann T, Knechtle B. The Role of Environmental Conditions on Marathon Running Performance in Men Competing in Boston Marathon from 1897 to 2018 Pantelis (2019), *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 614.
- Nose H, Mack GW, Shi XR, Nadel ER (1988), Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans, *J Appl Physiol*, 65(1), 325-331.
- Okazaki K, Ichinose T, Mitono H, Chen M, Masuki S, Endoh H, Hayase H, Doi T, Nose H (2009), Impact of protein and carbohydrate supplementation on plasma volume expansion and thermoregulatory adaptation by aerobic training in older men, *J Appl Physiol*, 107(3), 725-733.
- Périard JD, Racinais S, Timpka T, Dahlström Ö, Spreco A, Jacobsson J, Bargoria V, Halje K, Alonso J-M (2017), Strategies and factors associated with preparing for competing in the heat: a cohort study at the 2015 IAAF World Athletics Championships, *Br J Sports Med*, 51, 264-271.
- Price MJ, Campbell IG (2003), Effects of Spinal Cord Lesion Level upon Thermoregulation during Exercise in the Heat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35; 1100-1107, 2003.
- Roberts WO (2007), Heat and cold: what does the environment do to marathon injury? *Sports Med.*, 37, 400-403.
- Sawka MN, Montain SJ, Latzka WA (2001), Hydration effects on thermoregulation and performance in the heat, *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 128(4), 679-690.
- Trbovich MB, Kiratli JB, Price MJ (2016), The effects of a heat acclimation protocol in persons with spinal cord injury, *Journal of Thermal Biology* 62, 56-62.