

〔資 料〕

屋根による日射遮蔽効果が WBGT に及ぼす影響
— 屋内外テニスコートを比較して —

刑部 純平 (中京大学大学院体育学研究科)

加治木 政伸 (中京大学大学院体育学研究科)

松岡 大介 (中京大学スポーツ科学部)

松本 孝朗 (中京大学大学院体育学研究科・中京大学スポーツ科学部)

**The effects of solar radiation screen by a roof on WBGT:
Compare the indoor and outdoor tennis courts**

Jumpei OSAKABE¹⁾, Masanobu KAJIKI¹⁾, Daisuke MATSUOKA²⁾
and Takaaki MATSUMOTO^{1,2)}

[Abstract]

Heat-related illnesses such as exertional heat stroke occur in both summer and fall seasons. The purpose of this study was to investigate the effects of solar radiation screening by a roof, on the wet-bulb globe temperature (WBGT) between late August and late October at the Higashiyama Park Tennis Center, Nagoya city. To measure and record WBGT, portable WBGT meters were installed in the indoor and outdoor tennis courts of the tennis center. The number of days where the WBGT exceeded 28 °C (strict precautions) and 31 °C (No exercise allowed as a rule) were fewer in the indoor tennis courts than in the outdoor court. The highest and mean WBGT were significantly lower indoor than outdoor. Additionally, the difference in the WBGT between the indoor and outdoor court (the effects of solar radiation screening by the roof) varied between 6 and 7 °C on sunny days. The highest WBGT at outdoor court reached approximately 28 °C in mid-October, on the other hands, the highest WBGT at indoor court were approximately 20 °C (Almost safe). The present study shows that effective solar radiation screening by a roof is observed between August and October. Therefore, a roof may contribute in reducing the risk of heat-related illnesses both in the summer and fall seasons. Heat-related illness such as exertional heat stroke occurs not only summer but also fall season.

1) Graduate School of Health and Sport Sciences, Chukyo University

2) School of Health and Sport Sciences, Chukyo University

Keyword : Heat-related illness, Exertional heat stroke, Radiant heat

キーワード : 熱中症, 労作性熱射病, 輻射熱

緒言

地球温暖化や都市のヒートアイランド現象などの影響によって、日本の夏季の気温は上昇し、熱中症などの暑さによる障害が増加傾向にあり、大きな社会問題となっている。近年、熱中症による死亡者数は増加傾向にあり、2010年には年間の死亡者数が過去最高の1745件に達し(川原ら, 2019)、これは過去最高であった2007年の923件の約2倍に相当する。また、学童・生徒の学校管理下での熱中症死亡事故は、1960~2017年にかけて195件発生した(日本スポーツ振興センター, 2019)。さらに、学校管理下での熱中症の医療費の請求は、2000年ごろから増加し、近年では年間4000~5000件に達し、熱中症の発生件数が増加傾向にある(川原ら, 2019)。学校管理下における熱中症死亡事故(1975~2017年)は、運動部活動によるものがほとんどであり(195件中145件)、野球やサッカー、ラグビーなどの屋外種目の競技において多い(川原ら, 2019; 日本スポーツ振興センター, 2019)。また、熱中症死亡事故(1975~2017年)のほとんど(195件中150件)が7、8月に発生している(川原ら, 2019; 日本スポーツ振興センター, 2019)。しかし、9月(8件)や10月(2件)においても熱中症死亡事故が発生している。スポーツ活動時の熱中症死亡事故は1例であっても起きてはならず、熱中症防止対策は重要な課題である。

テニス4大会(グランドスラム)のうち、全豪オープンおよび全米オープンは、湿球黒球温度(WBGT: Wet-bulb Globe Temperature)が30℃を越える酷暑の中で開催されることが多い(Mountjoy et al, 2012)。2014年の全米オープンでは、12名の男性テニスプレーヤーが棄権し、少なくとも4名は熱中症によって棄権したことが報告されている(Schranner et al, 2017)。また、2014~2016年の全豪オープンでは、WBGTが高くなるにつれて、医師やトレーナーといったメ

ディカルスタッフの要請件数が増加し、試合を棄権する選手が増加したことが報告されている(Smith et al, 2017)。日本においても全日本学生テニス選手権大会をはじめ、多くの大会が夏の暑い時期に開催され、暑さによる選手の健康状態やパフォーマンスへの悪影響が懸念される。このような背景から、近年、公益財団法人日本テニス協会は新たに「ヒートルール」を導入し、WBGTが31℃を上回った場合、最終セット前に休息を設けるといった特別な対応を取り、熱中症防止対策を行っている(公益財団法人日本テニス協会, 2019)。

熱中症の発症リスクに影響を及ぼす環境因子は、気温、湿度、気流、輻射熱であり(Casa et al, 2015)、熱中症のリスク評価には、それら全ての環境因子を反映した指標であるWBGTが用いられる(川原ら, 2019; 日本スポーツ振興センター, 2019)。 $WBGT = (湿球温度 \times 0.7) + (黒球温度 \times 0.2) + (乾球温度 \times 0.1)$ 。なお、湿球温度は湿度、黒球温度は輻射熱、乾球温度は気温を反映し、湿球温度と黒球温度には気流の影響も反映する。日本スポーツ協会はWBGTを温度基準とした「WBGT21℃以下: ほぼ安全, 21~25℃: 注意, 25~28℃: 警戒, 28~31℃: 嚴重警戒, 31℃以上: 運動は原則中止」という熱中症予防運動指針を示しており、日本国内のスポーツ競技現場において広く活用されている。WBGTが25℃前後から熱中症発生件数が増加し始め、28℃を越えると急激に増加することが報告されている(中井ら, 2007; Dennis and Noakes, 1999)。

屋内テニスコートには、屋根はついているものの、側壁の一部あるいは大部分が解放された種類が存在する。このような施設は、屋根によって日射が遮蔽され、なおかつ気流が十分に確保される。このような背景から、加治木ら(2020)は屋外テニスコートと屋内テニスコートのWBGTを実測し、日射遮蔽がWBGTへ及ぼす影響を調査した。

その結果、日射を遮蔽することが可能な屋内テニスコートは屋外テニスコートと比較して、日最高および日平均 WBGT が低い値を示した。しかし、WBGT 実測期間が8月14～19日の6日間のみと短期間であった。国民体育大会をはじめ、多くの競技会は熱中症発症リスクが依然として高い9月から10月においても開催される。そのため、8月だけでなく10月末まで WBGT を測定し、屋根による日射遮蔽が WBGT の低減にどの程度の期間まで有効かどうかを検証することで、熱中症を予防し、安全に運動を行うための基礎資料を得る一助となることが期待できる。そこで本研究では、屋外テニスコートおよび屋内テニスコートの WBGT を長期間(8月24日～10月28日)実測し、日射遮蔽効果が8月のみならず10月においても有効であるのかを実証することを目的とした。本研究では、屋根による日射遮蔽によって、1日の WBGT が低く保たれると仮説を立てた。

方法

測定方法

名古屋市東山公園テニスセンター(名古屋市天白区)の屋外および屋内テニスコートに携帯型 WBGT 計(無線黒球式熱中症指数計, TC-310, タニタ)をそれぞれ2箇所ずつ(計4台)設置した。なお、WBGT 計は隣り合わせのテニスコート(屋外および屋内テニスコートに2箇所ずつ)に設置した。WBGT 測定期間は、2019年8月24日～10月28日であり、8月24日午前10時ごろに設置し、10月28日17時ごろに回収した。屋外テニスコートでは、コート南側のフェンス(高さ1.5メートル)に、屋内テニスコートでは、コート北側後方のネット(高さ2.0メートル)にそれぞれ WBGT 計を設置した。測定期間中、5分毎に環境温度、相対湿度、黒球温度、WBGT を記録した。屋外および屋内テニスコートはどちらもオムニコート(砂入り人工芝)であった。屋内テニスコートはコートの長辺をほぼ南北に配し、4面が東西方向に並列配置され(4,320 m², RC 造2階建, 観客席500), その上を立体トラス構造の屋根が覆う構造となっておりすべての日射が遮蔽される。また、東側の搬入口(コート面から高さ

約2m, 幅約5m)と西側2階部分の出入口(通路から高さ約3m, 幅2mのドア4枚)が開閉可となっており、測定期間中は通風のため解放された状態(午後9時頃から午前7時頃まで閉扉)であった。測定期間中、屋外テニスコートの WBGT 計は、周囲の建物の影の影響を受けることはなかった。なお、測定期間中、名古屋市東山公園テニスセンターは通常通り営業されており、屋外および屋内テニスコートにおいてテニスが行われていた。

データ解析

屋外および屋内テニスコートで測定した、2019年8月24日11時00分～10月27日23時59分までのデータを使用した。屋外および屋内テニスコートにおいて2か所ずつ5分毎に測定されたデータをそれぞれ平均した。屋内テニスコートに設置した WBGT 計の1つにデータの欠落(9月8日11時～9月25日18時)が発生したため、その期間は1か所のデータをそのまま使用した。日毎の WBGT の最高値、最低値、日平均値を算出した。日差しの有無が屋根の効果に及ぼす影響を検討するために、各項目の昼(12時:11時50分～12時00分)と夜(24時:23時50分～24時00分)の値を算出した。なお、これらの値を算出する際、名古屋市の天候データ(気象庁)を基に、雨天時のデータは除外した。本研究では屋外テニスコートの WBGT 値から屋内テニスコートの WBGT 値を減算し、WBGT の屋内外差(屋根による日射遮蔽効果)を求めた。また、日最高 WBGT が28℃(厳重警戒)および31℃以上(運動は原則中止)を記録した日数を算出した。

統計解析

データおよび統計解析には、SPSS ver. 23.0 software (IBM Corp., Armonk, NY)を使用した。すべての結果は、平均値±標準偏差(SD)で示した。同一日における WBGT および黒球温度の最高値、最低値、平均値の比較をするため、対応のある t 検定を用いた。WBGT の屋内外差(日射遮蔽効果)の比較には、1要因分散分析を用いた。有意水準は P<0.05 とした。

結果

名古屋市内の気象データ

表1に期間中の名古屋市の天候（気象庁）と日最高WBGT（環境省）を示した。なお、環境省から公表されている2019年10月14日までのWBGTデータを示した。表2に8月24日から10月27日までの屋外および屋内テニスコートにおけるWBGTの日最高値、日最低値、日平均値を示した。名古屋市の日最高WBGTは、屋外テニスコートの日最高WBGTと比較して有意に低い値を示した（ $P<0.05$ ）。2019年8月24日～10月27日の名古屋市の日の出、日の入り時刻は5時18分～6時8分、17時4分～18時31分であった（気象庁）。

WBGTデータ

8～10月の代表例として、8月29日、9月29日、10月27日におけるWBGTの経時的変化を図1に示した。8月および9月における屋外テニスコートでは、午前から正午にかけてWBGTが28℃を超える傾向にあるが、屋内テニスコートではWBGTが28℃以下の傾向にある。表2、3に8月24日から10月27日までの屋外および屋内テニスコートにおけるWBGT（表2）、黒球温度（表3）の日最高値、日最低値、日平均値を示した。WBGT、黒球温度の日最高値は、屋外と比較して屋内テニスコートで有意に低い値を示した（ $P<0.05$ ）。WBGT、黒球温度の日平均値は、屋外と比較して屋内テニスコートで有意に低い値を示した（ $P<0.05$ ）。表4に月別の屋外および屋内テニスコートにおける日最高WBGTが28℃、31℃以上の日数を示した。WBGT 28℃以上の日数は、屋外および屋内テニスコートでそれぞれ31日、2日であった。WBGT 31℃以上の日数は、屋外および屋内テニスコートでそれぞれ18日、0日であった（表4）。

WBGTの屋内外差

代表例として、8月29日（曇り、日最高WBGT 30.5℃）におけるWBGTの屋内外差（屋根による日射遮蔽効果）の日内変動を図2に示した。WBGTの屋内外差は、6～16時ごろに生じ、最大で6～7℃に達した（図2）。月別（8月：24～31日、9月：1～30日、10月：1～27日）の昼夜

における月平均WBGTの屋内外差を図3に示した。WBGTの屋内外差は、いずれの月も昼（12時）において夜（24時）と比較して有意に大きかった（ $P<0.05$ ）。月間のWBGTの屋内外差に有意差はなかった（ $P>0.05$ ）。

考察

本研究の目的は、名古屋市東山公園テニスセンターの屋外および屋内テニスコートのWBGTを8月下旬から10月下旬まで実測し、屋根による日射遮蔽効果が8月のみならず10月においても有効であるのかを実証することであった。9月1～30日のWBGT 28℃以上およびWBGT 31℃以上の日数は、屋外テニスコート（28℃以上：21日、31℃以上：15日）と比べて屋内テニスコート（28℃以上：2日、31℃以上：0日）が少なかった。その一方で、10月1～27日のWBGT 28℃以上およびWBGT 31℃以上の日数は、屋外テニスコート（28℃以上：2日、31℃以上：1日）および屋内テニスコート（28℃以上：0日、31℃以上：0日）であった。8月24日～10月27日までの日最高WBGTおよび日平均WBGTは、屋外テニスコートと比較して屋内テニスコートで有意に低かった。8月～10月のWBGTの屋内外差（屋根による日射遮蔽効果）は、日差しのある昼（12時）の方が夜（24時）よりも有意に大きかった。これらのことから、夏季の体育や部活動、スポーツ活動中の暑さ対策として、盛夏の8月だけでなく、9、10月においても屋根付きの運動施設（屋内テニスコート）の有効性を示すことができた。

8月24日～10月27日までの日最高WBGTは、いずれの月も屋内テニスコートにおいて屋外テニスコートよりも有意に低い値を示し、WBGT 28℃以上およびWBGT 31℃以上の日数も、屋内テニスコートは屋外テニスコートよりも少なかった（表4）。これらの結果は、8月中旬の屋外および屋内テニスコートのWBGTを実測した加治木ら（2020）の研究と同様の結果であった。一方、本研究では9月および10月においても屋根による有効な日射遮蔽効果を示した。屋内テニスコートにおいて屋外テニスコートと比較して日中（日の出から日没）のWBGTの値が低く保たれた主

表 1 8月24日～10月14日の名古屋市の天候（気象庁），日最高WBGT（環境省）

	天候		WBGT		天候		WBGT		天候		WBGT		天候		WBGT	
	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低
8月24日	晴後薄曇	27.3	晴時々薄曇	31.6	曇	23.6	曇時々雨	29.7	曇時々雨	25.4	曇時々雨	25.4	曇時々雨	25.4	快晴	22.9
25日	晴	27.5	曇時々雨、雷を伴う	29.4	曇時々晴	26.9	曇一時期	24.9	曇一時期	25.0	晴	25.0	晴	25.0	13日 快晴	18.9
26日	晴	27.0	曇時々雨	28.5	快晴	28.6	晴	24.9	晴	25.0	晴	25.0	5日 晴	25.0	14日 雨時々曇	18.9
27日	曇後雨	27.1	晴時々薄曇	30.1	曇時々曇	28.8	曇	27.2	晴	24.3	晴	24.3	6日 晴	24.3		
28日	雨	27.6	晴時々薄曇	29.6	曇時々曇	28.8	曇	26.7	曇	22.1	曇	22.1	6日 晴後一時薄曇	24.3		
29日	曇	30.5	晴一時曇	30.9	曇一時期	25.4	曇	25.0	曇	22.1	曇	22.1	7日 曇時々雨	22.1		
30日	雨時々曇、雷を伴う	27.7	薄曇	31.2	晴一時期	24.0	薄曇	27.9	薄曇	18.5	曇	18.5	8日 曇後一時雨	22.1		
31日	曇後時々雨	28.2	晴	31.6	曇時々晴	25.2	曇時々晴	28.7	曇時々晴	24.7	曇	24.7	9日 快晴	18.5		
9月1日	曇時々晴	28.3	11日 曇時々晴後一時雨、雷を伴う	31.5	曇	21.6	曇	29.2	曇	24.6	曇	24.6	10日 晴	24.7		
2日	晴時々曇	30.5	12日 曇後一時雨	25.8	曇	25.0	曇	26.7	曇	21.0	曇	21.0	11日 曇	24.6		
			22日 曇後一時雨	25.0	曇	25.0	曇	26.7	曇	21.0	曇	21.0	12日 大雨	21.0		

表 2 屋外および屋内テニスコートにおける日最高、日最低、日平均WBGT（8月24日～10月27日）

	最高		最低		平均		最高		最低		平均		最高		最低		平均			
	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低		
屋外	8月24日	31.1	22.1	25.8	13日	24.9	19.2	21.7	23日	32.0	19.8	25.0	3日	28.4	19.3	22.2	13日	24.7	15.8	19.4
	25日	30.0	21.2	24.2	14日	29.4	18.6	23.0	24日	26.8	18.7	21.3	4日	27.7	18.5	22.0	14日	18.9	15.5	17.3
	26日	29.2	18.5	23.1	15日	31.3	20.7	25.3	25日	27.5	17.3	21.7	5日	27.0	17.2	20.9	15日	22.7	11.6	16.1
	27日	29.4	19.8	23.0	16日	31.2	22.0	25.0	26日	29.4	18.5	23.1	6日	26.7	16.0	20.1	16日	21.1	11.0	14.4
	28日	28.1	22.6	24.0	17日	32.7	21.5	25.2	27日	28.9	20.5	23.1	7日	25.1	14.9	18.4	17日	21.7	12.6	16.7
	29日	33.3	22.5	26.9	18日	25.9	18.8	22.6	28日	27.8	19.6	22.3	8日	22.8	15.2	19.3	18日	20.0	16.5	17.9
	30日	29.9	23.5	24.8	19日	26.2	18.2	20.5	29日	30.2	19.3	23.7	9日	20.6	12.9	15.9	19日	21.0	16.8	18.8
	31日	30.8	21.8	24.9	20日	27.3	15.0	20.4	30日	31.7	21.4	24.8	10日	27.0	13.2	19.4	20日	24.7	15.7	18.6
	9月1日	30.4	21.7	24.6	21日	23.0	19.1	20.4	10月1日	31.5	20.1	24.5	11日	27.5	19.1	22.3	21日	20.3	15.8	17.8
	2日	33.1	21.1	26.1	22日	27.4	19.3	22.5	2日	27.2	19.7	22.3	12日	21.7	19.4	20.5	22日	25.0	14.9	18.3
屋内*	8月24日	25.1	23.7	24.5	13日	23.7	21.2	22.7	23日	26.7	21.4	24.3	3日	23.3	21.3	22.4	13日	20.6	17.8	19.2
	25日	25.0	22.3	23.5	14日	24.2	21.1	22.6	24日	22.8	20.6	21.6	4日	23.0	20.2	21.9	14日	19.6	17.8	18.8
	26日	24.5	21.3	23.0	15日	25.2	22.5	23.9	25日	22.5	19.5	21.1	5日	22.3	19.3	20.6	15日	18.3	14.6	16.6
	27日	24.7	22.2	23.6	16日	25.8	24.0	25.4	26日	23.8	20.6	22.2	6日	21.9	18.3	19.9	16日	16.8	13.8	15.1
	28日	25.8	23.5	24.3	17日	25.8	22.7	24.2	27日	23.7	21.7	22.6	7日	20.6	17.9	19.4	17日	18.9	15.2	17.1
	29日	26.8	23.6	25.3	18日	24.4	20.6	23.5	28日	23.3	21.5	22.3	8日	21.3	17.5	20.2	18日	19.6	18.2	18.9
	30日	26.1	24.7	25.2	19日	21.7	19.0	20.3	29日	24.4	20.7	22.6	9日	17.5	15.3	16.2	19日	20.4	18.3	19.4
	31日	25.9	23.7	24.7	20日	22.6	17.9	20.4	30日	25.1	22.5	23.8	10日	21.1	15.9	18.5	20日	19.7	17.3	18.5
	9月1日	25.3	23.1	24.0	21日	22.1	20.9	21.5	10月1日	25.6	22.4	23.9	11日	22.8	19.7	21.3	21日	19.4	17.3	18.4
	2日	26.7	22.8	24.9	22日	24.0	20.7	22.3	2日	23.7	21.5	22.5	12日	22.4	20.1	21.3	22日	19.9	16.9	18.2

*P<0.05 (vs.屋外)

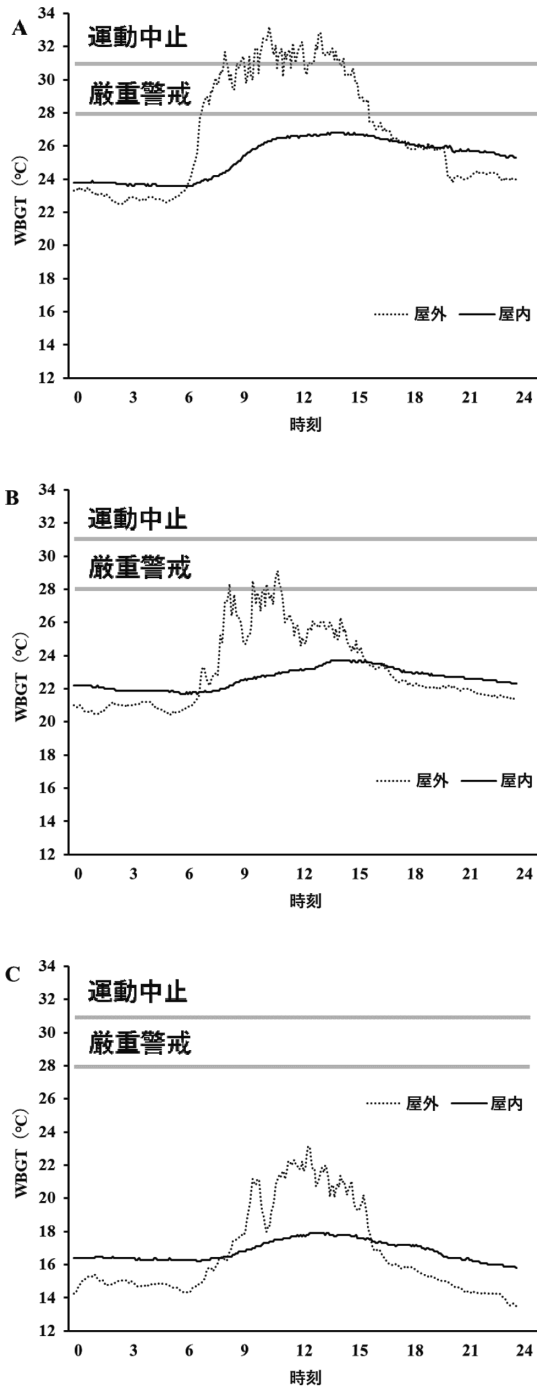


図1 屋外および屋内テニスコートにおける8月29日(A)、9月29日(B)、10月27日(C)のWBGTの経時変化。運動中止；運動は原則中止

な要因として、黒球温度の差が考えられる。黒球温度は輻射熱を反映した値であり、本研究においても黒球温度は屋内テニスコートにおいて屋外テニスコートと比較して日最高、日平均が有意に低い値を示した(表3)。そのため、屋根による日射遮断によって、屋内テニスコートの黒球温度の上昇が抑制されたと考えられる。しかしながら、日没後から日の出までのWBGTの値は、屋内テニスコートにおいて屋外テニスコートと比較して高い値を示した(図1)。名古屋市東山公園テニスセンターの屋内テニスコートは、午前7時頃から午後9時頃までは側壁の一部が解放されているが、午後9時頃から午前7時頃にかけて閉扉されており、通風は遮断される。このように、屋根や側壁などによって屋内テニスコートが密室状態になることによる温室効果が影響している可能性がある。

環境温度が上昇するにしたがって熱中症の発症リスクが上昇し(Demartini et al, 2014)、WBGTが25~26°Cの場合と比べて28~29°Cの場合、熱中症の発症リスクが約6倍になるとことが報告されており(Cooper et al, 2016)、熱中症死亡者数はWBGTが28°Cを越えると急激に増加する(中井ら, 2007)。また、大学体育テニス授業においてWBGTが高い日(>25°C)は、低い日(<25°C)と比べて発汗量が多くなることが示されている(長尾ら, 2020)。発汗によって体水分量が1%減少すると、運動中の心拍数が4~7拍/分、深部体温が0.15~0.25°C上昇するとされている(Pryor et al, 2013)。したがって、WBGTが高い環境下での運動は、WBGTが低い環境下での運動と比べて発汗量が多くなり(中井ら, 1994; 長尾ら, 2020)、脱水を引き起こし、体温調節機構および心臓血管系への負担を増大させ(寄本ら, 1992)、運動パフォーマンスの低下や熱中症のリスクを高くする。テニスの試合中における平均心拍数は140~160拍/分(Fernandez and Pluim, 2005; Osakabe et al, 2020)であり、運動強度は中程度ではあるものの、繰り返しスプリントやポイント間の短い休息といった競技特性から、深部体温が上昇しやすいスポーツの一つである。実際に、暑熱環境下(WBGT~34°C)および冷涼環境下

表 3 屋外および屋内テニスコートにおける日最高、日最低、日平均黒球温度 (8月24日～10月27日)

	最高			最低			平均			最高			最低			平均								
	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均						
屋外	8月24日	43.6	22.7	32.0	13日	30.9	21.5	24.7	23日	39.5	21.7	27.5	3日	36.3	19.4	24.5	13日	35.6	18.2	24.3	23日	36.6	14.2	22.2
	25日	41.8	22.5	30.0	14日	42.1	19.5	27.7	24日	36.4	19.5	24.6	4日	37.5	19.9	25.4	14日	21.9	15.7	18.3	24日	25.6	16.0	19.0
	26日	42.3	19.8	30.1	15日	44.3	21.1	31.0	25日	40.9	18.5	27.2	5日	38.5	17.8	25.7	15日	34.1	13.6	21.0	25日	17.2	14.3	15.8
	27日	37.2	20.6	24.9	16日	43.2	24.6	31.3	26日	42.0	19.2	27.3	6日	39.1	18.3	25.5	16日	34.9	12.7	19.5	26日	31.2	13.4	19.3
	28日	29.7	22.5	24.2	17日	44.3	21.8	31.0	27日	40.3	21.4	26.8	7日	35.6	16.4	21.0	17日	28.9	13.4	19.7	27日	34.4	14.6	20.4
	29日	43.8	22.4	30.9	18日	45.6	23.8	30.1	28日	37.5	20.1	25.5	8日	27.1	18.0	21.0	18日	22.1	16.5	18.1				
	30日	34.3	23.4	25.0	19日	31.4	21.4	24.8	29日	42.5	21.1	28.9	9日	36.6	14.6	22.8	19日	22.1	16.7	19.0				
	31日	40.9	21.8	27.6	20日	41.7	16.7	25.4	30日	45.5	22.4	28.8	10日	40.8	14.6	24.6	20日	37.4	17.2	22.4				
	9月1日	41.6	21.7	28.5	21日	27.7	19.1	21.9	10月1日	42.7	21.2	27.6	11日	38.5	21.1	25.9	21日	24.2	16.3	19.1				
	2日	43.7	21.7	30.0	22日	37.7	20.5	25.2	2日	34.2	20.8	25.0	12日	22.9	19.6	20.9	22日	35.5	14.8	21.3				
	8月24日	30.2	27.0	28.0	13日	27.1	25.2	26.4	23日	28.8	24.9	26.5	3日	26.6	23.9	25.1	13日	26.6	21.5	23.2	23日	23.5	18.6	20.9
	25日	30.7	25.9	28.1	14日	29.2	24.2	26.6	24日	26.7	23.4	25.0	4日	26.9	23.4	24.9	14日	21.9	20.2	21.2	24日	21.9	19.3	20.6
26日	31.1	25.1	28.0	15日	31.1	25.3	28.0	25日	28.6	22.5	25.2	5日	27.4	22.0	24.4	15日	23.7	18.9	20.8	25日	19.7	18.3	19.1	
27日	28.3	24.9	26.3	16日	31.8	26.5	28.7	26日	28.2	23.3	25.7	6日	27.3	22.6	24.5	16日	22.6	17.8	19.7	26日	21.7	17.7	19.5	
28日	26.8	25.1	25.6	17日	30.8	26.4	28.4	27日	27.7	24.4	25.9	7日	24.6	21.9	22.9	17日	22.3	18.5	20.4	27日	22.4	18.3	19.9	
29日	31.0	24.9	27.8	18日	27.8	24.9	26.5	28日	27.4	23.9	25.6	8日	23.7	21.5	22.7	18日	21.0	19.7	20.4					
30日	27.6	25.9	26.5	19日	28.9	24.1	26.0	29日	29.2	24.1	26.5	9日	24.8	19.7	22.0	19日	21.3	19.6	20.4					
31日	29.0	25.0	26.8	20日	28.1	22.3	25.0	30日	29.9	24.9	26.9	10日	26.0	19.6	22.8	20日	24.1	19.6	21.4					
9月1日	29.9	24.9	27.1	11日	32.4	28.4	29.8	10月1日	29.1	25.0	26.7	11日	26.5	22.8	24.5	21日	21.6	19.9	20.6					
2日	30.4	25.2	27.8	12日	30.8	26.9	28.4	2日	27.1	24.5	25.7	12日	24.2	22.1	22.9	22日	23.4	18.3	20.5					

*P < 0.05 (vs. 屋外)

表4 月別の屋外および屋内テニスコートにおける日最高WBGT28℃, 31℃以上の日数

	8月 (24~31日, n=8)		9月 (1~30日, n=30)		10月 (1~27日, n=27)		合計 (n=65)	
	28℃以上 (日)	31℃以上 (日)	28℃以上 (日)	31℃以上 (日)	28℃以上 (日)	31℃以上 (日)	28℃以上 (日)	31℃以上 (日)
屋外	8	2	21	15	2	1	31	18
屋内	0	0	2	0	0	0	2	0

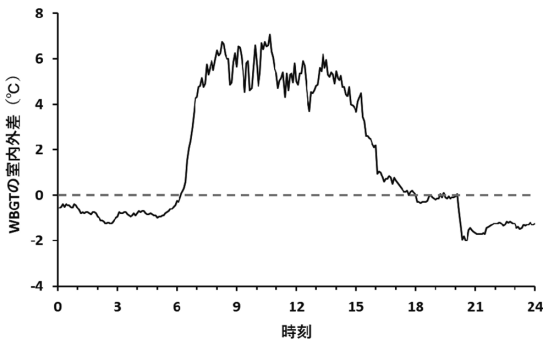
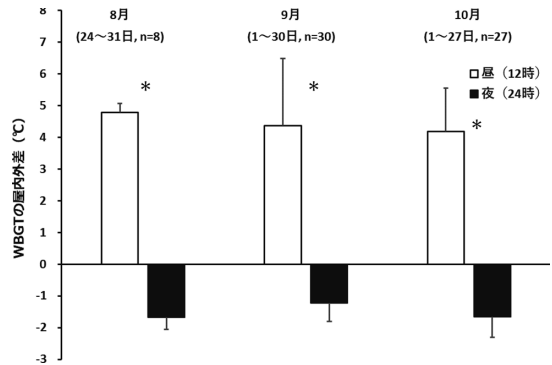


図2 屋外および屋内テニスコートにおけるWBGT 室内外差の経時的変化 (8月29日, 曇り, 日最高WBGT30.5℃).

図3 屋外および屋内テニスコートにおける月平均WBGT 室内外差. *($p < 0.05$) = 昼 (12時) vs. 夜 (21時).

(WBGT \sim 19℃)においてテニスの試合を行った研究 (Periard et al, 2014) では, 暑熱環境下において有意に高い直腸温 (\sim 39.4℃ vs. \sim 38.7℃) および発汗率 (1.6L/h vs. 0.9L/h) を記録した. これらのことから, 屋根による日射遮蔽は, WBGT を低く保つことで熱による生体負担度を軽減し, 運動パフォーマンスの維持や熱中症対策として有効である可能性が示唆された.

本研究において, 9月は屋内テニスコートのWBGTが31℃に達することはなかった一方で, 屋外テニスコートではWBGTが31℃に達した日数は15日であった. また, WBGTが28℃に達した日数は, 屋内および屋外テニスコートそれぞれ2日, 21日であった. そのため, 屋根による日射遮蔽効果によって9月における熱中症発生リスクを低減する可能性が示唆された. 他方, 10月は屋外テニスコートにおいても日最高WBGTが31℃または28℃に達した日数はそれぞれ1日, 2日のみであった. しかし, 10月11日における屋外テニスコートの日最高WBGTは27.5℃に達しており (表2), 日本スポーツ協会の熱中症予防運動指針における「警戒」に値し (屋内:

22.8℃, 「ほぼ安全」), 依然として熱中症の発生リスクがある. 10月の屋内テニスコートは屋外テニスコートと比較して有意に低い日最高WBGTの値を示しており, WBGTの値が低くなるほど熱中症の発生件数は減少するため (川原ら, 2019; 中井ら, 1992), 8月だけでなく10月中旬においても, 屋内テニスコートは屋外テニスコートと比較してWBGTを低く保ち, 選手や観客, 審判といった多くの人々の熱中症対策に有効であると考えられる. また, WBGTが高い環境下で運動を実施することで, 運動を実施した翌日 (Wallace et al, 2005) や急激に気温が上昇した日 (中井ら, 1992) の熱中症発生リスクが高くなることが示唆されており, 連日開催される競技会や練習においても, 屋根付きの運動施設は熱中症の発生リスクを低下させる可能性がある. そのため, 屋外運動施設における屋根の設置は, 体育や部活動, 競技会などにおける熱中症の発生リスクを長期間低減することができる有効な暑さ対策となり得る.

本研究は8月下旬から10月下旬までの間, 小

型の WBGT 計を用いて名古屋市東山公園テニスセンターの屋外および屋内テニスコートの WBGT を実測し、屋根による日射遮蔽効果を検討した。その結果、屋内テニスコートは屋外テニスコートと比較して低い WBGT の値を示し、8 月だけでなく 9 月、10 月においても屋根による日射遮蔽効果を実証した。しかし、本研究はいくつかの限界を有している。本研究では、日本のほぼ真ん中に位置する愛知県名古屋市の東山公園テニスセンターのみの WBGT データを取集したが、同じ時期であっても地域によって気象環境が異なるため、WBGT の実測値としての普遍性が不十分である。また、屋内テニスコートの屋根や側壁の素材や構造、建物の大きさなどを考慮していないため、すべての屋内テニスコートにおいて同様の結果が得られるのかどうか不明である。今後、幅広い地域において、異なる構造の建物による日射遮蔽効果を検証していく必要がある。

結論

本研究では、2019 年 8 月 24 日～10 月 28 日における名古屋市東山公園テニスセンターの屋外および屋内テニスコートの WBGT を実測した。その結果、日最高および日平均 WBGT は、屋内テニスコートにおいて屋外テニスコートと比較して有意に低かった。また、屋根による日射遮蔽効果が 8 月だけでなく 10 月中旬においても保たれることを示した。本研究の結果は、体育・スポーツ活動時の熱中症対策として屋根付き運動施設の長期的な有効性を示した。

注

本研究は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究 C (NO.17K08579, 代表者 松本孝朗) を受けて実施した。

引用文献

Casa, D. J., DeMartini, J. K., Bergeron, M. F., Csillan, D., Eichner, E. R., Lopez, R. M., Ferrara, M. S., Miller, K. C., O'Connor, F., Sawka, M. N. and Yeargin, S. W. (2015) National Athletic Trainers' Association

Position Statement: Exertional Heat Illnesses. *J. Athl. Train.*, 50 (9): 986-1000.

Cooper, E. R., Ferrara, M. S., Casa, D. J., Powell, J. W., Broglio, S. P., Resch, J. E. and Courson, R. W. (2016) Exertional Heat Illness in American Football Players: When Is the Risk Greatest?. *J. Athl. Train.*, 51 (8): 593-600.

DeMartini, J. K., Casa, D. J., Belval, L. N., Crago, A., Davis, R. J., Jardine, J. J. and Stearns, R. L. (2014) Environmental Conditions and the Occurrence of Exertional Heat Illnesses and Exertional Heat Stroke at the Falmouth Road Race. *J. Athl. Train.*, 49 (4): 478-485.

Dennis, S. C. and Noakes, T. D. (1999) Advantages of a smaller bodymass in humans when distance-running in warm, humid conditions. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 79 (3): 280-284.

独立行政法人日本スポーツ振興センター (2020) 「熱中症を予防しよう—知って防ごう熱中症」. https://www.jpnsport.go.jp/anzen/Portals/0/anzen/anzen_school/H30nettyuusyoutPamphlet/h30nettyuusyout_all.pdf, (参照日 2020 年 9 月 1 日).

Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A. and Pluim, B. M. (2006) Intensity of tennis match play. *Br. J. Sports. Med.*, 40 (5): 387-91.

加治木政伸, 山下直之, 稲葉泰嗣, 中野匡隆, 渡辺新大, 刑部純平, 松岡大介, 松本孝朗 (2020) 屋根付きテニスコートの WBGT 測定—日射遮蔽効果の検証—. *日本生気象学会雑誌*, 57 (1): 17-23.

環境省 熱中症予防情報サイト. <https://www.wbgt.env.go.jp/>, (参照日 2020 年 9 月 1 日).

川原貴, 伊藤静夫, 井上芳光, 田中英登, 中井誠一, 長谷川博, 松本孝朗, 安松幹展 (2019) スポーツ活動中の熱中症 予防ガイドブック. 公益財団法人日本スポーツ協会: 東京.

気象庁. <https://www.jma.go.jp/jma/menu/measurereport.html>, (参照日 2020 年 9 月 1 日). 公益財団法人テニス協会 (2019) 暑熱下で開催さ

- れるテニス競技会でのヒートルールとメディカルルールの運用について. https://www.jtia-tennis.com/dl/jta/190708_JTA_Heatstroke_measures.pdf, (参照日 2020年9月1日).
- Mountjoy, M., Alonso, J. M., Bergeron, M. F., Dvorak, J., Miller, S., Migliorini, S. and Singh D. (2012) Hyperthermic-related challenges in aquatics, athletics, football, tennis and triathlon. *Br. J Sports. Med.*, 46 (11): 800-804.
- 長尾茉珠, 田村達也, 片岡悠妃, 岡室憲明, 遠藤俊典, 安井年文, 宮崎純一, 今川正浩, 井上直子 (2020) 暑熱環境下における大学体育授業実施時の生理指標の調査. *日本アスレティックトレーニング学会誌*, 5 (2): 185-189.
- 中井誠一, 寄本明, 森本武利 (1992) 環境温度と運動時熱中症事故発生との関係. *体力科学*, 41 (5): 540-547.
- 中井誠一, 芳田哲也, 寄本明, 岡本直輝, 森本武利 (1994) 運動時の発汗量と水分摂取量に及ぼす環境温 (WBGT) の影響. *体力科学*, 43 (4): 283-289.
- 中井誠一, 新矢博美, 芳田哲也, 寄本明, 井上芳光, 森本武利 (2007) スポーツ活動および日常生活を含めた新しい熱中症予防対策の提案—年齢, 着衣及び暑熱順化を考慮した予防指針—. *体力科学*, 56 (4): 437-444.
- Osakabe, J., Ohya T., Koizumi, J., Inada, R., Matsumoto, T. and Umemura, Y. (2021) Tennis singles match-play induces inspiratory muscle fatigue in female tennis players. *J. Phys. Fitness. Sports. Med.*, 10 (1): 33-37.
- Periard, J. D., Racinais, S., Knez, W. L., Herrera, C. P., Christian, R. J. and Girard, O. (2014) Thermal, physiological and perceptual strain mediate alterations in match-play tennis under heat stress. *Br. J. Sports. Med.*, 48 (1): 32-38.
- Pryor, R. R., Casa, D. J., Adams, W. M., Belval, L. N., DeMartini, J. K., Huggins, R. A., Stearns, R. L. and Vandermark, L. W. (2013) Maximizing Athletic Performance in the Heat. *Strength. Cond. J.*, 35 (6): 24-33.
- Schranner, D., Scherer, L., Lynch, G. P., Korder, S., Brotherhood, J. R., Pluim, B. M., Periard, J. D. and Jay, O. (2017) In-Play Cooling Interventions for Simulated Match-Play Tennis in Hot/Humid Conditions. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 49 (5): 991-998.
- Smith, M. T., Reid, M., Kovalchik, S., Wood, T. and Duffield, R. (2018) Heat stress incidence and matchplay characteristics in Women's Grand Slam Tennis. *J. Sci. Med. Sport.*, 21 (7): 666-670.
- Wallace, R. F., Kriebel, D., Punnett, L., Wegman, D. H., Wenger, C. B., Gardner, J. W. and Gonzalez, R. R. (2005) The effects of continuous hot weather training on risk of exertional heat illness. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 37 (1): 84-90.
- 寄本明 (1992) WBGTを指標とした暑熱下運動時の生体応答と熱ストレスの評価. *体力科学*, 41 (4): 477-484.