

体温変化と主観的感覚から見た暑熱環境下における 不織布マスクの着用

Wearing a non-woven mask in a hot environment based on body temperature change
and subjective perception

松波 勝・田井村 明博

要旨

本研究は夏季の屋外における着用時の体温変化と主観的感覚から、暑熱環境下における不織布マスク着用の在り方について検討することを目的とした。健康な成人男子7名（年齢：20.7 ± 0.9 歳）を対象に安静時の皮膚温（前額部：Tfh、頬部：Tch、前腕部：Tfa）、鼓膜温（Tty）、心拍数および温度感覚（体幹、頭部）、温度快適性をマスク非着用（NM）、マスク着用（WM）において測定した。Tfh、Tfa については条件間に有意な差が認められなかったが、Tch について条件間に有意な差が認められた（ $P < 0.05$ ）。Tty については、条件間に有意な差が認められなかった。体幹、頭部の温度感覚はともに WM 条件の方が有意に高い値が認められた（ $P < 0.05$ ）。温度快適性は、WM 条件の方が有意に低かった（ $P < 0.05$ ）。結論として、マスク着用部の皮膚温上昇が温度感覚や温度快適性に影響を与え、その影響は温度上昇に遅れて生じた。従って、温熱感を認知した時がマスク脱着のタイミングであると示唆された。

キーワード：不織布マスク、皮膚温、鼓膜温、温度感覚、熱中症

1. 緒言

2019年12月末に確認された新型コロナウイルス感染症（coronavirus disease 2019：COVID-19）の世界的拡大は我々の生活様式を大きく変化させた。その一つがマスクの着用である。これまでマスクは冬に流行するインフルエンザウイルスなどに対する感染対策として、主に冬季に着用されてきた。しかしながら、厚生労働省や環境省は新型コロナウイルス感染対策として年間を通したマスクの着用を求めている¹⁾。

一般的に家庭用マスクとして使用される不織布マスクには、(1) 各種ウイルス、粒子の侵入抑制、(2) 保湿・保温機能、(3) 防寒機能があるとされ²⁾、また、着用により口元の温度を上昇させることが明らかにされている³⁾。TANITA の報告⁴⁾によると新しい生活様式が示される中で、2020年夏のマスク着用に関する意識について、75%の人がマスクを着用しようと考えており、また猛暑日でも60%の人がマスクを着用しようと考えていることが示されている。総務省消防庁の報告⁵⁾によると2020年6月から9月までの3ヶ月間で熱中症による救急搬送者数は66,869人であり、COVID-19の感染拡大前の2019年6月から9月までと比較して2,000人減少したが、8月の1ヶ月間で比較すると外出が制限される中、6,305人の増加が報告されている。このように感染対策の中、温湿度が高まる夏季にマスクを着用することは、「マスク熱中症」⁶⁾という言葉にも見られるように、マスク周辺や頭部の温度を高め、熱中症リスクをより高める可能性があると考えられる。また、暑熱環境下における作業中でのマスクの着用は不快感を誘発する⁷⁾ことも報告され、夏季の屋外におけるマスクの着用は不快感を増大させると考えられる。

坪倉⁸⁾は不織布マスクについて、布マスクやウレタンマスクに比べて透過性が悪いことを示している。このことから、不織布マスクの着用は呼吸による熱放散を抑制し、着用するマスク内に熱が滞留する可能性が考えられる。従って、市販されている家庭用不織布マスクの暑熱環境における着用の影響を明らかにすることは必要であると考えられる。また、環境省は夏季におけるマスク着用のガイドライン⁹⁾において、屋外において人と十分な距離が確保できていれば適宜マスクを外すことを示しているが、具体的な脱着のタイミングについては明らかにしていない。

そこで本研究では、夏季の屋外における市販されている家庭用不織布マスク着用による体温変化及び主観的感覚について測定し、暑熱環境下での不織布マスクの着用の在り方について検討することを目的とした。

2. 方法

2.1. 被験者

被験者は健康な成人男子7名を対象とした(年齢: 20.7 ± 0.9 歳、身長: 169.3 ± 4.4 cm、体重: 64.6 ± 5.4 kg)。被験者には事前に実験の詳細について書面と口頭で十分に説明した後、書面による同意を得た。なお、本研究は聖カタリナ大学研究倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号 学倫 20-04、承認日 2020年7月7日)。

2.2. 実験手順

実験は2020年7月末～8月末の屋外環境で実施した。測定期間中の平均暑さ指数(WBGT: Wet

Bulb Globe Temperature、湿球黒球温度)は30.0～31.2℃(松山气象台)であり、「嚴重警戒」～「危険」レベルであった。実際の実験は、「日常生活に関する指針」(環境省)の嚴重警戒レベルの注意事項である「外出時は炎天下を避ける」に基づき、炎天下を避けた屋外の日陰の場所において、13時から16時15分の時間帯で実施した。測定場所の環境測定は、黒球形熱中症指数計(AD-5695DL、AND社製)により行った。測定時の平均気温は 31.1 ± 1.2 ℃、湿度は 64.5 ± 4.1 %、WBGTは 27.8 ± 0.5 ℃であった。また、各測定時間中の気温とWBGTの変化はそれぞれ0.5～0.7℃、-0.4～0.7℃であった。被験者の服装は半袖Tシャツ、半ズボンとした。被験者は測定場所に到着後、更衣を行い、座位安静で測定場所において皮膚温センサー、耳温プローブを装着した後、皮膚温、鼓膜温の安定を確認し測定を開始した。測定は座位安静において、マスクなし(NM条件:non mask)で15分間、マスク着用(WM条件:with mask)で15分間の計30分間実施した。本研究においては、全国マスク工業会の認定マークがついた市販されているプリーツタイプの不織布マスク(超快適[®]:ふつうサイズ、ユニチャーム社製)を用い、頬部を覆うように付けた。実験は暑熱環境下における測定のため、被験者の温度快適性が「0:不快」あるいは鼓膜温が38.5℃以上を超えた場合は測定を中止にした。

2.3. 測定項目

測定項目は、鼓膜温(tympanic temperature:Tty)、皮膚温(前額部中央 forehead temperature:Tfh)、頬部(cheek temperature:Tch)、前腕部(forearm temperature:Tfa)、心拍数、主観的温熱感覚(体幹 thermal sensation body:TSB)、頭部(thermal sensation head:TSH)、温度快適性(thermal comfort:TC)とした。鼓膜温は耳温プローブ(CEサーモ2用プローブ、ニプロ社製)を装着し、連続測定型耳式体温計(CEサーモ2、ニプロ社製)により測定した。皮膚温はサーモセンサー(LT-2N-12、Gram社製)を前額部中央は、はえぎわ点と眉間点の中央に、頬部は右鼻翼点と右顎角点の中央に、前腕部は橈骨点と橈骨茎突点の間において橈骨点から1/3の位置に、水蒸気や酸素を透過することのできる医療用テープ(テガタームTMトランスペアレントドレッシング、3M社製)貼り付け測定した。鼓膜温、皮膚温ともにデータ収集型温度計(LT-200SA、Gram社製)を用いて5秒間隔で連続的に計測した。心拍数はハートレートモニター(OH-1、Polar社製)により測定中1分間隔で測定した。また、TSB、TSHは、0.0「耐えられないほど冷たい」から、4.0「普通」、8.0「耐えられないほど暑い」の17段階で評価し、3分間隔で聞き取りによって測定した。測定の順序については、Sheffield-Mooreら¹⁰⁾の方法に従い、最初にTSBを、続いてTSHを申告させた。TCは、0.0「非常に不快」から、3.0「なんともない」、6.0「非常に快適」の13段階で評価し、それぞれ3分間隔で聞き取りによって測定した。

2.4. 統計処理

皮膚温、鼓膜温、主観的感覚（温熱感覚、快適性感覚）、心拍数については各条件での測定中（15分間）に得られたデータを平均値±標準誤差で示した。各皮膚温と鼓膜温および温熱感覚と快適性感覚の経時的変化については重複測定の一元配置分散分析を行った。下位検定には対応のあるt検定を用いた。また、条件間の差の検定については対応のあるt検定を用いた。統計解析には、Statcel 4（OMS社製）を用い、統計学的有意水準は5%未満とした。

3. 結果

3.1. 鼓膜温

NMとWM条件における鼓膜温（Tty）の経時的変化はFig1に示した。測定開始後、徐々に温度が上昇したが、マスク着用後から低下する傾向が見られた。測定中の平均温度は、NM条件で 37.65 ± 0.03 ℃、WM条件で 37.65 ± 0.02 ℃であり、両条件において有意差は認められなかった（Table1）。

3.2. 皮膚温

測定中の前額部、頬部、前腕部における平均皮膚温の経時的変化はFig2、3、4に示した。Tfh、Tfaについては、マスク着用の16分以降も顕著な温度変化は観察されず、経時的に有意な温度変化は認められなかった。一方、Tchにおいては、マスク着用の16分以降、測定終了まで温度の上昇が観察され、経時的に有意な温度変化が認められた（ $P<0.05$ ）。下位検定の結果、NM条件における測定13-15分の平均値とマスク着用3分後から6分後および11分後から15分後までの間に有意な差が認められた。また、NMとWM条件における測定15分間の各平均皮膚温はTable1に示した。NM条件ではTfhが 36.01 ± 0.06 ℃、Tchが 35.53 ± 0.09 ℃、Tfaが 34.35 ± 0.08 ℃であった。また、WM条件ではTfhが 35.94 ± 0.07 ℃、Tchが 35.90 ± 0.07 ℃、Tfaが 34.40 ± 0.09 ℃であった。Tfh、Tfaについては条件間に有意な差が認められなかったが、Tchにおいて条件間に有意な差が認められた（ $P<0.05$ ）。

3.3. 主観的温熱感覚

各条件における体幹と頭部の温熱感覚（体幹：TSB、頭部：TSH）および温度快適性（TC）はTable2に示した。TSBはNM条件で 4.8 ± 0.7 、WM条件で 5.4 ± 0.8 であった。また、TSHはNM条件で 4.7 ± 0.7 、WM条件で 5.3 ± 0.7 であった。いずれの温熱感覚においてもWM条件の方が高く、条件間に有意な差が認められた（ $P<0.05$ ）。TCについてはNM条件が 3.7 ± 0.9 、WM条件が 3.1 ± 1.1 であり、WM条件の方が低く条件間に有意な差が認められた（ $P<0.05$ ）。Fig5にはNM条件15分（NM15）からWM条件における3分毎のTSBとTSHの変化を示した。マスク着用中のTSB、TSH

はNM15 から経時的に有意な上昇が観察された ($P<0.05$)。TSB については、NM15 と WM6 以降、WM3 と WM9 以降に有意な差が認められた ($P<0.05$)。TSH については、NM15 と WM6 以降の値に有意な差が認められた ($P<0.05$)。TC についてはマスク着用中、経時的に有意な低下が観察され、NM15 と WM9 以降に有意な差が認められた ($P<0.05$)。

3.4. 心拍数

測定中の心拍数は、NM 条件で 73.6 ± 0.7 bpm、WM 条件 74.8 ± 0.9 bpm であった。条件間に有意な差は認められなかった。

Table 1 Mean temperature of each skin and tympanic at rest in each condition.

	NM (°C)	WM (°C)
Tfh	36.01 ± 0.11	35.94 ± 0.17
Tch	35.53 ± 0.24	$35.90 \pm 0.16^*$
Tfa	34.35 ± 0.39	34.40 ± 0.48
Tty	37.65 ± 0.23	37.65 ± 0.24

NM : no mask condition, WM : with mask condition, Tfh : forehead, Tch : cheek, Tfa : forearm, Tty : tympanic. The values are expressed as mean \pm SE. * $P<0.05$ between NM and WM.

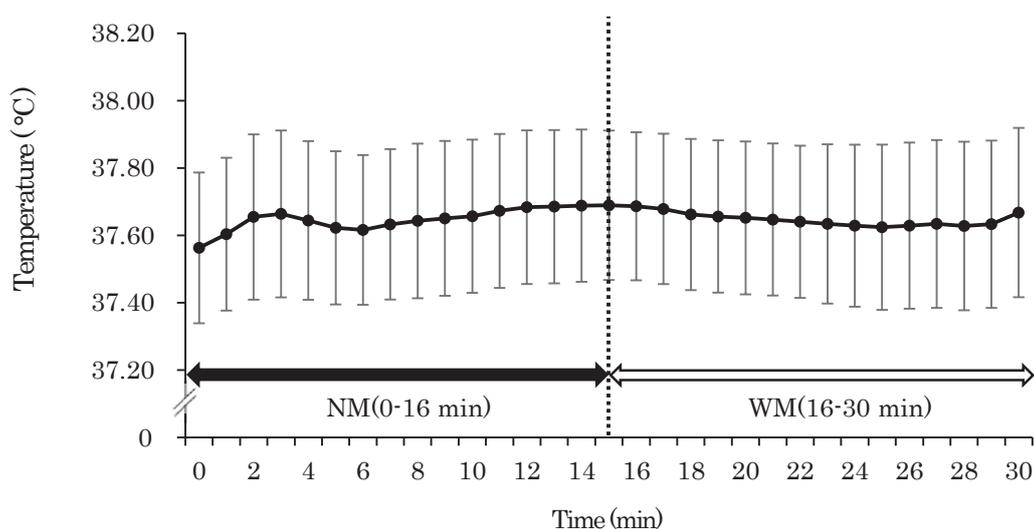


Fig 1 Changes of tympanic temperature (Tty) in time course during rest in no mask (NM) and with mask (WM). The values are expressed as mean \pm SD.

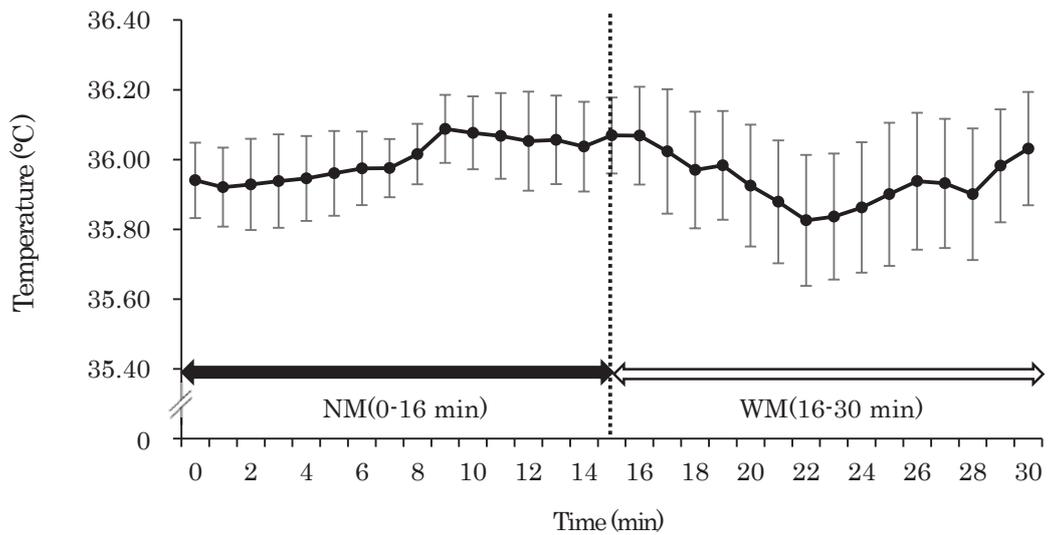


Fig 2 Changes of forehead temperature (Tfh) in time course during rest in no mask (NM) and with mask (WM). The values are expressed as mean \pm SE.

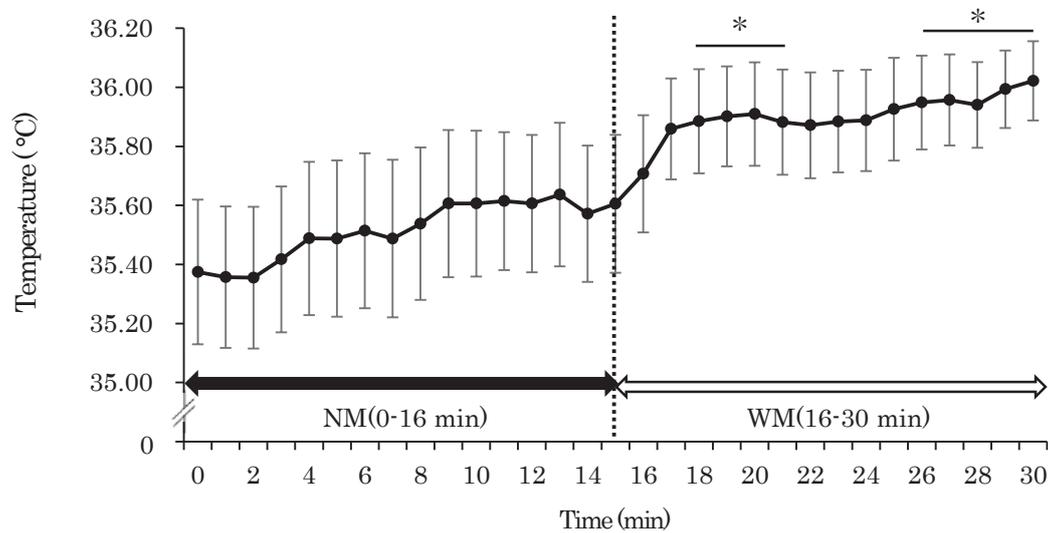


Fig 3 Changes of cheek temperature (Tch) in time course during rest in no mask (NM) and with mask (WM). The values are expressed as mean \pm SE. * $P < 0.05$ vs mean of 13-15min in NM.

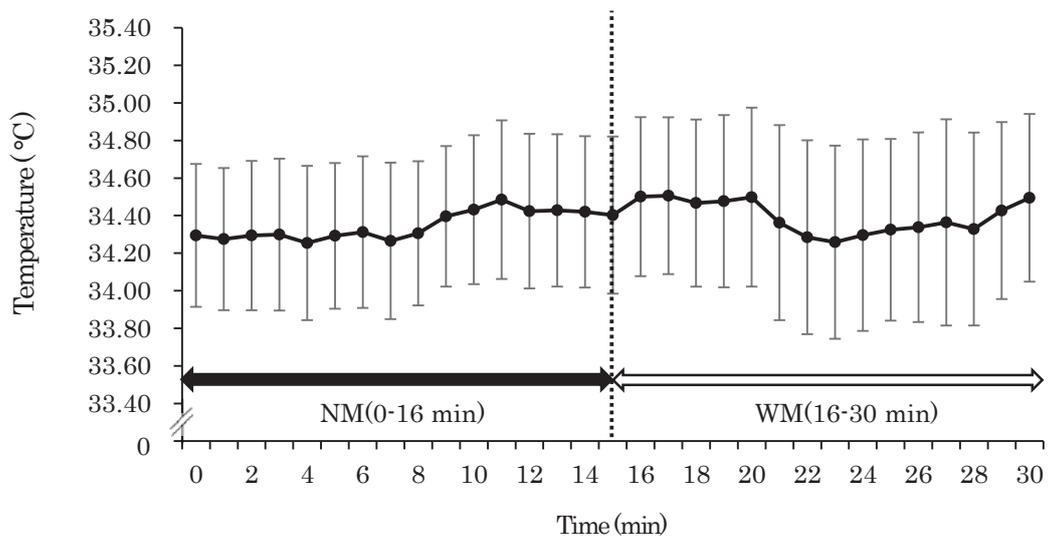


Fig 4 Changes of forearm temperature (Tfa) in time course during rest in no mask (NM) and with mask (WM). The values are expressed as mean \pm SE.

Table 2 Thermal sensation in body (TSB) and head (TSH) and thermal comfort (TC) during rest in each condition.

	NM	WM
TSB	4.8±0.7	5.4±0.8*
TSH	4.7±0.7	5.3±0.7*
TC	3.7±0.9	3.1±1.1*

NM : no mask condition, WM : with mask condition. The values are expressed as mean ± SE. * $P < 0.05$ between NM and WM.

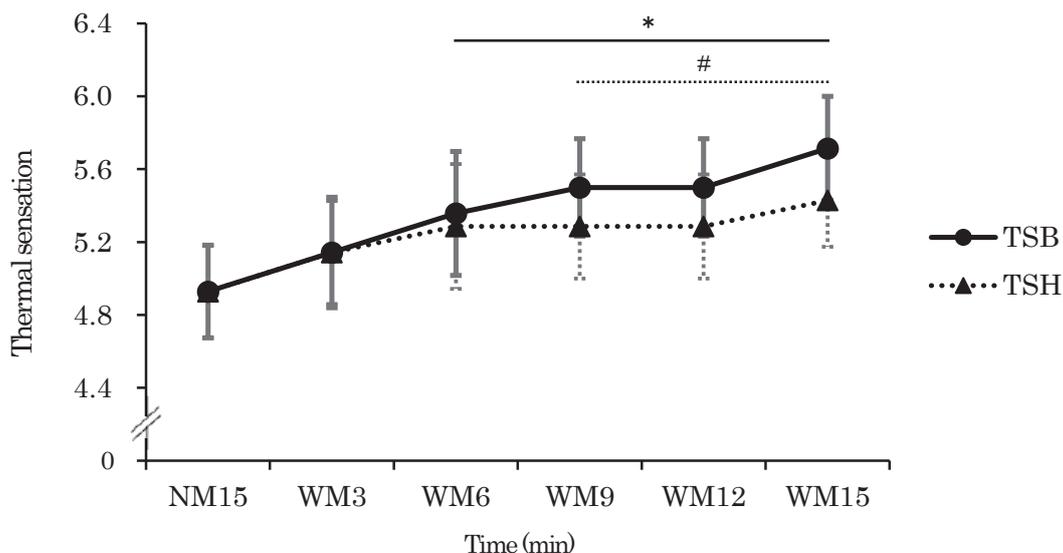


Fig 5 Changes of TSB (thermal sensation body) and TSH (thermal sensation head) with mask (WM) from no mask (NM) 15min. The values are expressed as mean ± SE. Thermal sensation scale (0: Extremely cold, 1: Very cold, 2: Cold, 3: Cool, 4: Normal, 5: Warm, 6: Hot, 7: Very hot, 8: Extremely hot). * $P < 0.05$ vs NM15 in TSB and TSH. # $P < 0.05$ vs WM3 in TSB

4. 考 察

本研究は、暑熱環境下における不織布マスク着用の在り方について検討することを目的に、夏季の屋外環境における安静時の不織布マスク着用時の体温変化と主観的温熱感覚について検討した。

4.1. マスク着用時の体温変化

運動時にヘッドギアを装着することや高体温時に化粧などで顔を覆うことは、深部温と鼓膜温の差を抑え、選択的脳冷却 (SBC) の効果を制限する^{11,12,13)}。このことから、保温機能のある不織布マスクを暑熱環境下で着用することは、頭部の温度を上昇させると考えられた。結果としてマスクで覆われたTchの温度は着用中、時間経過とともに有意に上昇し続けた。また、マスク着用中のTchの平均温度は非着用と比較して0.37℃高く、有意な温度上昇が認められた。この結果は、輻射、伝導、対流に

よる熱放散を阻害するマスクが有する保温の働きによるものであると示唆された。さらに、NM 条件 13-15 分の平均値と WM 条件 18 分以降との間に有意な温度差が認められたことから、マスク着用 3 分以降にその影響が見られることが明らかになった。一方、マスク着用による頭部の Tfh や Tty、上肢の Tfa については経時的に有意な温度変化及び条件間の有意な温度差も認められなかった。また、心拍数についても条件間で有意な差は認められなかった。加藤ら¹⁴⁾は、マスクを着用した暑熱下運動中の顔面皮膚温、直腸温はマスクなしと比較して有意な変化は観察されなかったことを報告している。本研究においてもマスク着用部位以外の頭部温度 (Tfh、Tty) について有意な変化を示さなかったことから、安静時のマスク着用は頭部表面および頭蓋内温度に影響を与えないと示唆された。心拍数に差が認められなかったのは、マスク着用による頭部温度 (Tfh、Tty) への影響に関係し、熱を放散させる皮膚血流量の増加が大きくなかったためであると考えられた。佐藤ら¹⁵⁾は高温環境下に曝露された安静時の平均皮膚温に有意な変化が観察されなかったことは、効率的な発汗と関連していることを報告している。また、Gagge ら¹⁶⁾は軽作業開始時に見られる皮膚温低下は発汗による皮膚冷却とであることを報告している。本研究では有意な変化ではないが Tfh において WM 条件の 16 分から 22 分まで経時的に温度の低下傾向が観察された。局所発汗量を測定していないが、Tch の上昇にも関わらず Tfh や Tty の上昇が観察されなかったことから、発汗により頭部温度の上昇が抑制されたと推察された。発汗反応には温熱性要因と非温熱性要因があり、高温環境下での運動初期には非温熱性要因により身体各部位において発汗が増加することが報告されている¹⁰⁾。安静時で測定した本研究においては、マスク着用による Tch 上昇という温熱性要因が発汗に関与したのではないかと考えられた。

4.2. マスク着用時の主観的温熱感覚と温度快適性

主観的温熱感覚については、TSB、TSH ともにマスクなしの「5：暖かい」程度の感覚が、マスク着用で「6：暑い」レベルへと上昇した。WM 条件の TSB、TSH ともに NM 条件と比較して有意に高かったことから、マスクの着用は頭部、体幹ともに暑熱感を高めると考えられた。また、Tch の NM 条件における測定 13-15 分の平均値は WM 条件における 18 分以降の平均値との間に断続的ではあるが有意な温度差が認められた。温熱感覚は深部温に関係なく皮膚温や環境温に関係する¹⁵⁾ことから、WM 条件で見られた頭部と体幹の温熱感覚の増加は Tch の上昇が影響し、また、その増加は Tch の上昇に遅れて生じると推察された。さらに、マスク着用はより高い温熱感覚を誘発し、その影響は顔面のみならず全身に対しても与える可能性を示唆し、その要因として顔面の局所的相対湿度の上昇に依存することが報告されている¹³⁾。これらのことから、マスクの保温・保湿機能が頭部と体幹の温熱感覚に影響したと示唆された。

温度快適性については、マスクなしの「4：やや快適」程度の感覚が、マスク着用で「3：なんとなく」へと低下した。マスク着用による快適性が不快レベルまでには達していないが、WM 条件の TC

がNM条件に比較して有意に低下したことから不快感を増長させる可能性があると考えられた。また、WM6以降のTSB、TSHがNM15との間に有意な差が認められたことから、温熱感覚の高まりがTC低下に影響したと考えられた。暑熱下における発汗の増加は不快感に関係していることが示されている¹⁶⁾。このことから、TC低下はTchの上昇に起因した発汗と関係している可能性が推察された。これらのことから、マスク着用時の温度快適性の低下には温度感覚が影響し、温度感覚の上昇が不快感を高めると示唆された。

温熱的不快感は生理的な体温調節反応よりも、身体環境に変化をもたらすような意識的な行動を早期に、かつ予測的に起こさせることが示されている¹⁷⁾。従って、環境省がガイドラインで示す暑熱環境下における不織布マスクの適宜脱着は、温熱感を認知したタイミングで行うことが望ましいと考えられた。さらに、暑熱環境下での安静レベルの業務やスポーツ観戦などを行う場合、口渴感によらず、温熱感、不快感が生じた時に水分補給を行うことで、「マスク熱中症」といわれるリスクを低減できることが示唆される。

5. まとめ

結論として、暑熱環境下における安静時での不織布マスク着用は、マスクの保温性が着用部の皮膚温を高めるものの頭部、体幹の温度上昇は引き起こさなかった。一方で、着用部の皮膚温上昇が主観的温熱感覚や温度快適性に影響を与え、その影響は温熱上昇に遅れて生じた。従って、温熱感を認知した時がマスク脱着のタイミングであると示唆された。

謝 辞

本研究への実施にご協力いただきました被験者の皆様に深謝いたします。なお、本研究は令和2年度聖カタリナ大学学長裁量事業の助成を受けて実施した。また、本研究の一部は日本生理人類学会第81回大会において報告した。

引用文献

- 1) 厚生労働省：<https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/qa-jichitai-iryokikan-fukushishisetsu.html>
(参照日：2020.7.16)
- 2) (一社)日本衛生材料工業連合会：不織布マスクの性能と使用時の注意，<http://www.jhpia.or.jp>.
(参照日：2020.6.17)

- 3) アイリスオーヤマ ナノエアーマスク : <https://www.irisohyama.co.jp/nano-air-mask-pollen-virus/>
(参照日 : 2020.10.17)
- 4) TANITA : 熱中症に関する意識・実態調査 2020, <https://www.tanita.co.jp/topic/detail/2020/0721/>.
(参照日 : 2020.7.28)
- 5) 総務省消防庁 : 令和 2 年 (6 月から 9 月) の熱中症による救急搬送状況 (令和 2 年 10 月報道資料), 2020.
- 6) 中国新聞デジタル (5.18) : <https://news.yahoo.co.jp/articles/efc14d6ec6c15607a8ee8d5627ed06c673f21c56>
(参照日 : 2020.7.18)
- 7) Hayashi C, Tokura H. Effects of head cooling on sweat rate in exercising subjects wearing protective clothing and mask for pesticide. *Appl. Human Sci* 15 (4): 149-154, 1996.
- 8) 坪倉誠. 室内環境におけるウイルス飛沫感染の予測とその対策 : <https://www.r-ccs.riken.jp/wp/wp-content/uploads/2021/01/20201126tsubokura.pdf> (参照日 : 2021.11.30)
- 9) 環境省 : https://www.wbgt.env.go.jp/heatillness_pr.php (参照日 : 2020.7.21)
- 10) Shefeeld-Moore M, Short KR, Kerr CG, Parcell AC, Bolater DR, Costill DL. Thermoregulatory responses to cycling with and without a helmet. *Med Sci Sports Exerc* 29 (6): 755-61, 1997.
- 11) Yanagimoto S., Kuwabara T., Zhang Y., Koga S., Inoue Y., Kondo N. Intensity-dependent thermoregulatory responses at the onset of dynamic exercise in mildly heated humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 285: R200-207, 2003.
- 12) Rasch W, Cabanac M. Selective brain cooling is affected by wearing headgear during exercise. *J Appl Physiol* 74, 1229-1233, 1993.
- 13) 平田耕造, 永坂鉄夫, 野田祐子, 紫藤治, 平井敦夫, 平下政美, 高畑俊成. 化粧と運動時の選択的脳冷却効果. *デサントスポーツ科学*, 9, 243-256, 1988.
- 14) 加藤一聖, 山本曇未, 増田雄太, 丸井朱里, 永島計. 暑熱下運動中のマスク着用が体温調節に及ぼす影響, *日本生気象学会雑誌*, 57 (3), S26, 2020.
- 15) 佐藤陽彦, 安河内朗, 山崎和彦. 高温環境曝露時の安静男性の体温変化. *Annals Physiol Anthropol*, 2 (1), 35-38, 1983.
- 16) Gagge AP. and Saltin SB. Comfort and thermal sensations and associated physiological responses during exercise at various ambient temperature., *Env. Res*, 2(3), 209-229, 1969.
- 17) Gagge AP. Stolwijk. JAJ, Hardy JD. Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperature., *Env. Res*, 1(1), 1-20, 1967.

Wearing a non-woven mask in a hot environment based on body temperature change and subjective perception

Masaru MATSUNAMI • Akihiro TAIMURA

Abstract

Wearing a mask is one of the countermeasures to prevent covid-19 infection. The purpose of this study was to examine the wearing of a non-woven mask in a hot environment based on changes in body temperature and subjective perceptions during wearing outdoors in summer. Skin temperature (forehead : Tfh, cheek : Tch, and forearm : Tfa), tympanic temperature (Tty), heart rate, and thermal sensation in body and head, and comfort sensation were measured in seven healthy males (age: 20.7±0.9 years) at rest without (NM) and with (WM) masks. There was no significant difference between conditions for Tfh, Tfa and Tty but a significant difference was observed in Tch. ($P < 0.05$). Both trunk and head thermal sensations were observed to be significantly higher in the WM ($P < 0.05$). Thermal comfort was significantly lower in the WM condition ($P < 0.05$). In conclusion, the increase in skin temperature at the mask-wearing area affected the thermal sensations and thermal comfort, and the effect occurred late in the temperature rise. Therefore, it was suggested that the time to remove the mask was when the warm sensation occurred.

Keywords: Non-woven mask, Skin temperature, Tympanic temperature, Thermal sensation, Heatstroke