

熱中症対策の新技術

－ 実用志向と未来志向 －

独立行政法人 労働者健康安全機構
労働安全衛生総合研究所

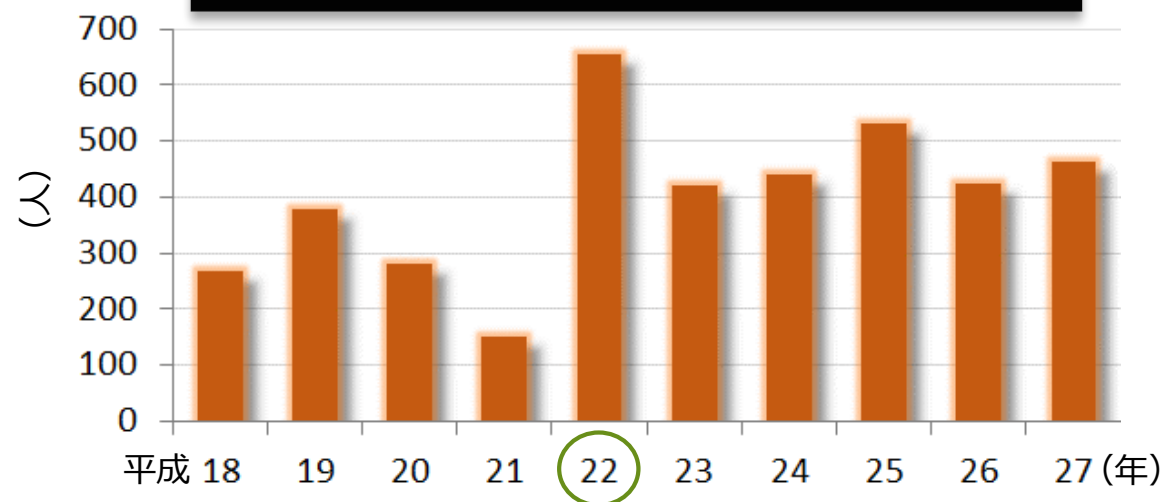


人間工学研究グループ 研究員
時澤 健

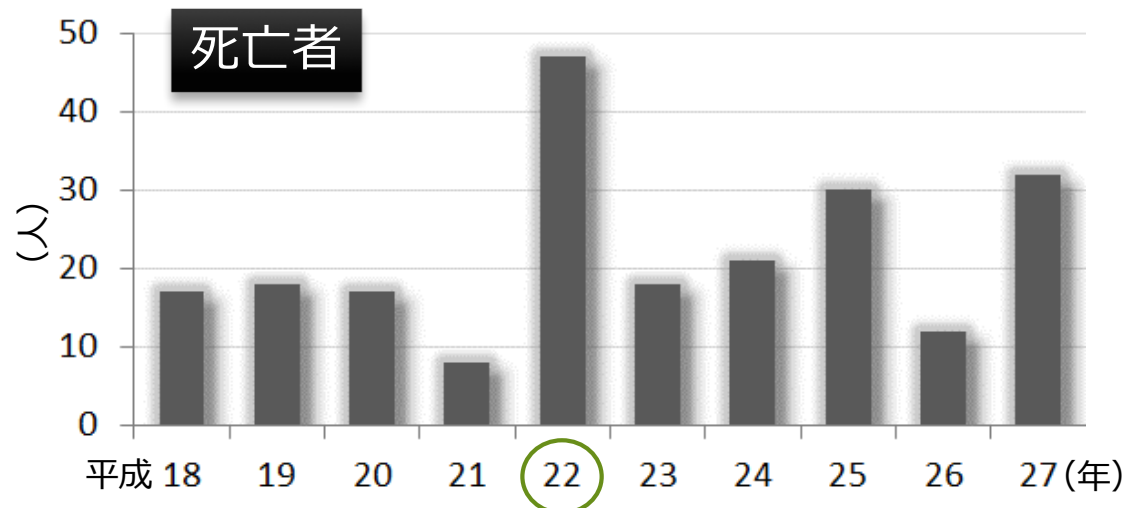
1. 熱中症による**労働災害の現状**
2. **皮膚表面の冷却**による対策の限界
3. **作業前に身体冷却**を行う効果
4. **睡眠不足と昼寝の影響**
5. 作業者の**生体モニター**の展望

1. 熱中症による労働災害の現状

死亡者と休業4日以上の業務上疾病者



死亡者



(厚労省労働基準局安全衛生部)

- 熱中症の救急搬送者の
35%が仕事をしていた。

(三宅ら、日救急医学会誌、2010)



平成22年の搬送者は約5万人



仕事中に熱中症で救急搬送
された人の概算

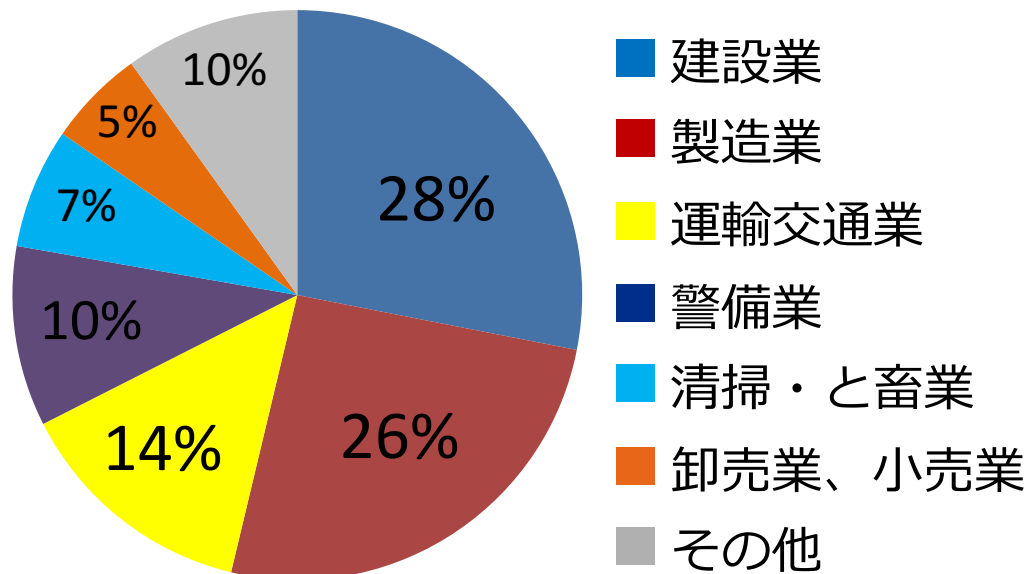
約1万7千人

1. 熱中症による労働災害の現状

● 業種

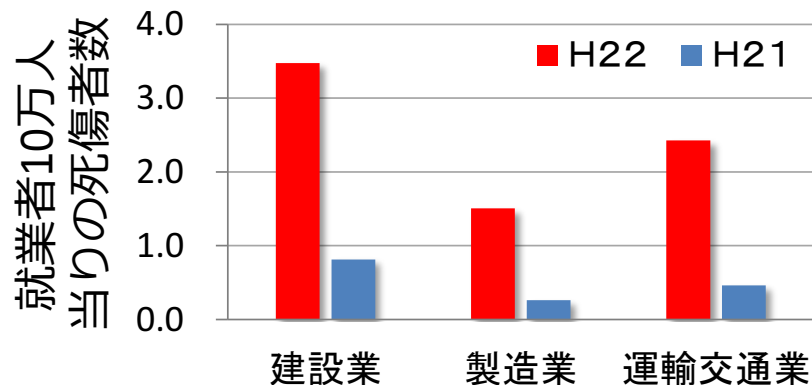
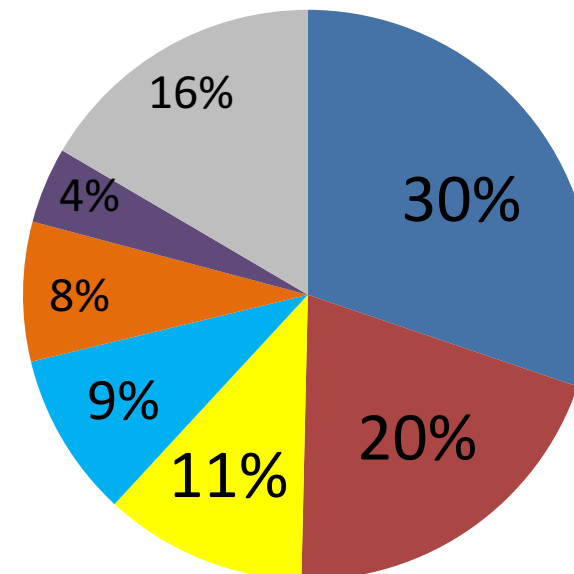
平成22年 (656件)

猛暑

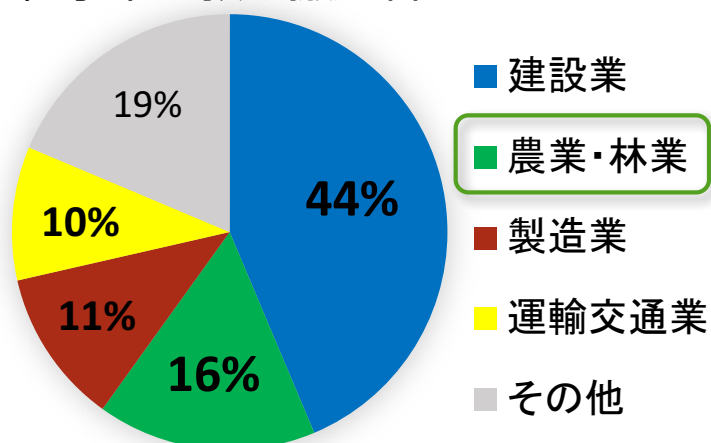


冷夏

平成21年 (150件)



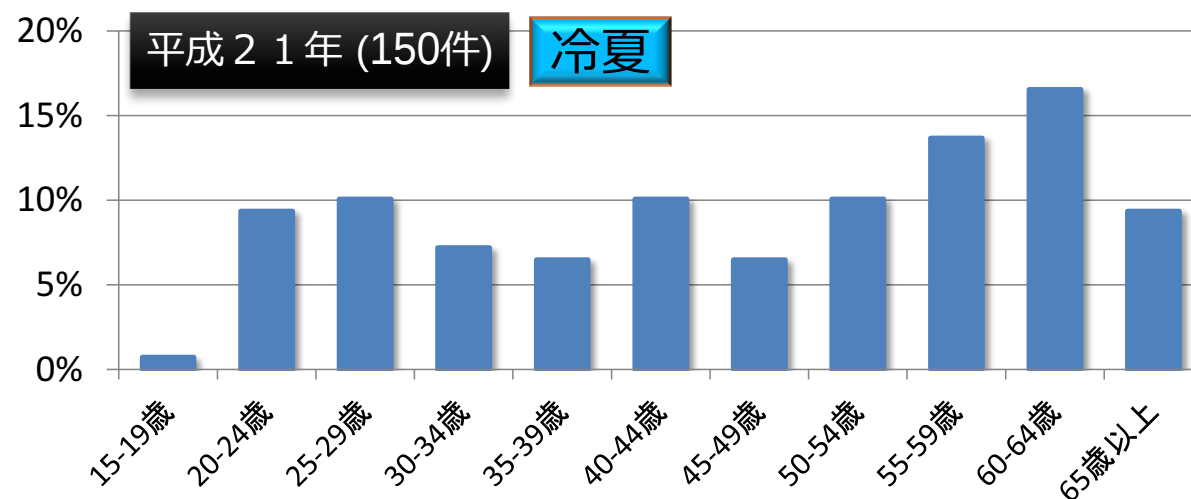
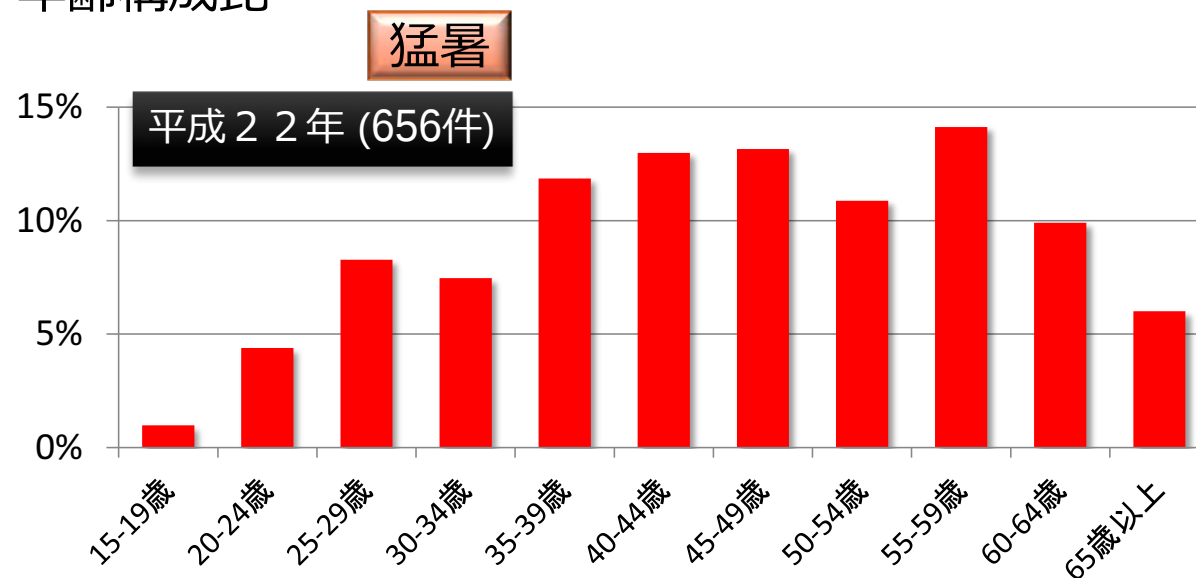
仕事中の救急搬送者



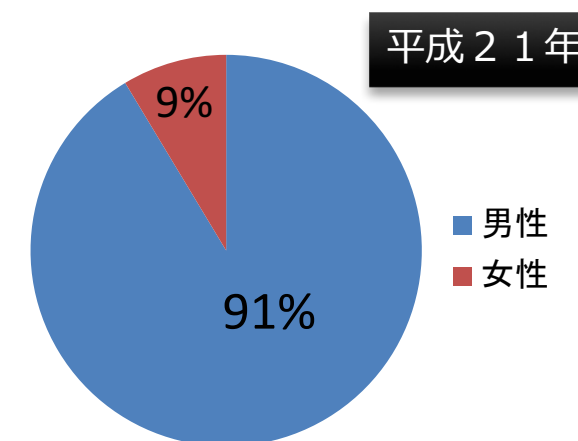
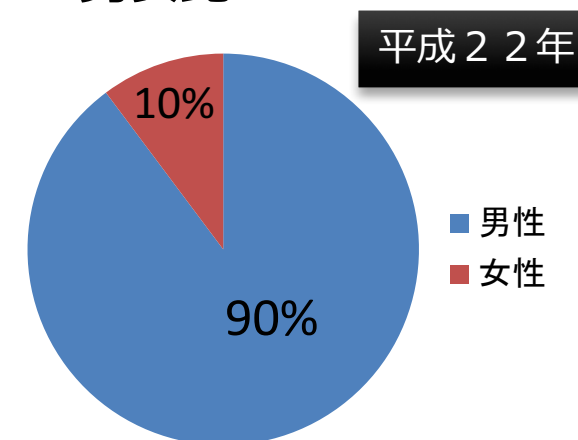
(三宅ら、日救急医学会誌、2010から作図)

1. 熱中症による労働災害の現状

● 年齢構成比



● 男女比



※就業者10万人当たりでも傾向は同じ

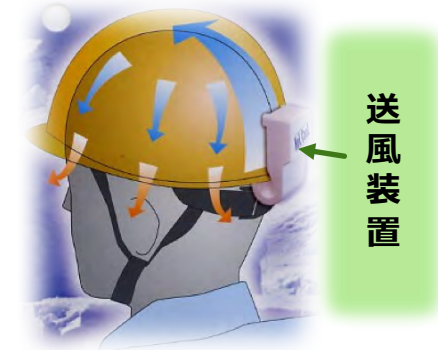
1. 熱中症による労働災害の現状

- 熱中症による労働災害は、年々増えているというわけではない。
 - 冷夏の年と比較して、猛暑の年は4倍多い。
 - 建設業が最も多く、製造業、運輸業、農林業と続いて多い。
 - 年齢の影響はさほど大きくない。
-
- 経年数が1年未満の割合が2割を占め最も多いものの、10年以上の割合が半数を占めており、経年数によらず発生している。
 - 労働者数が50人未満の小規模事業所が7～8割を占めることから、体調の変化に気づく「周りの目」が重要である。

- ✓ 1. 熱中症による**労働災害の現状**
- ② **皮膚表面の冷却**による対策の限界
- 3. **作業前に身体冷却**を行う効果
- 4. **睡眠不足と昼寝の影響**
- 5. 作業者の**生体モニター**の展望

2. 皮膚表面の冷却による対策の限界

流通する熱中症予防対策製品



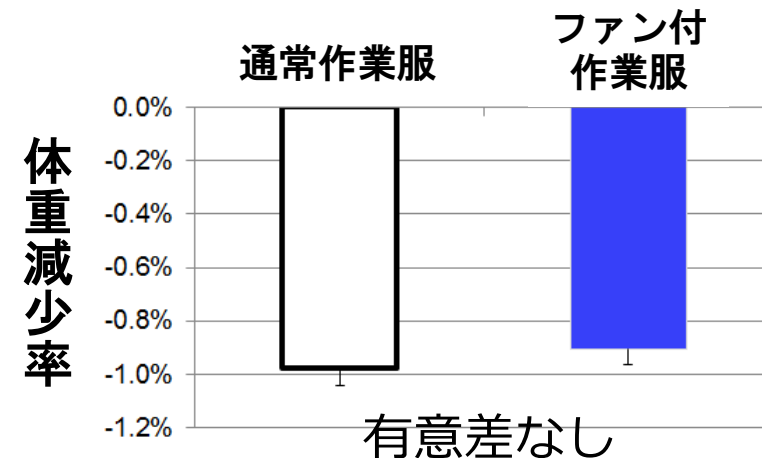
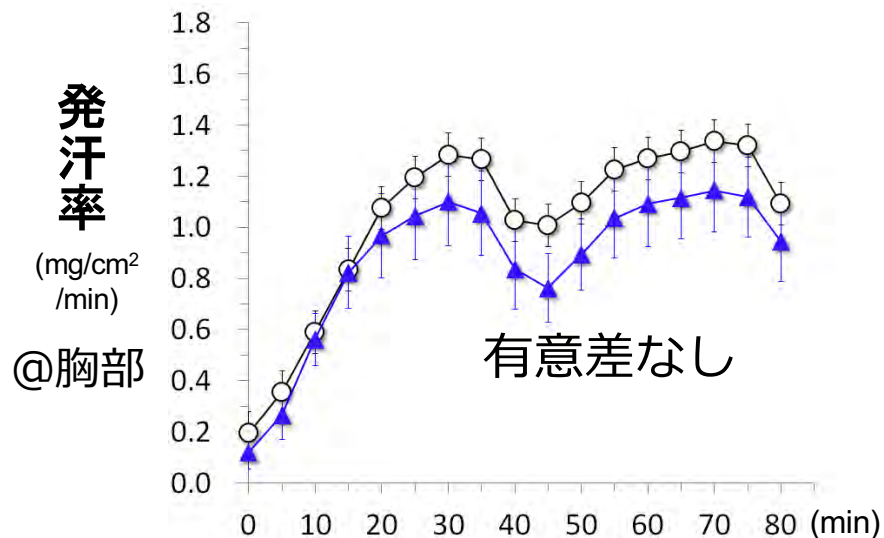
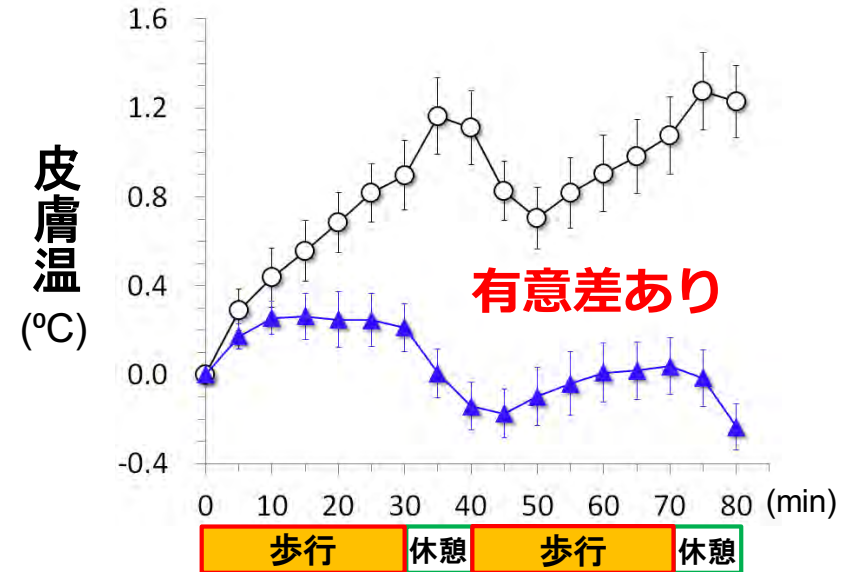
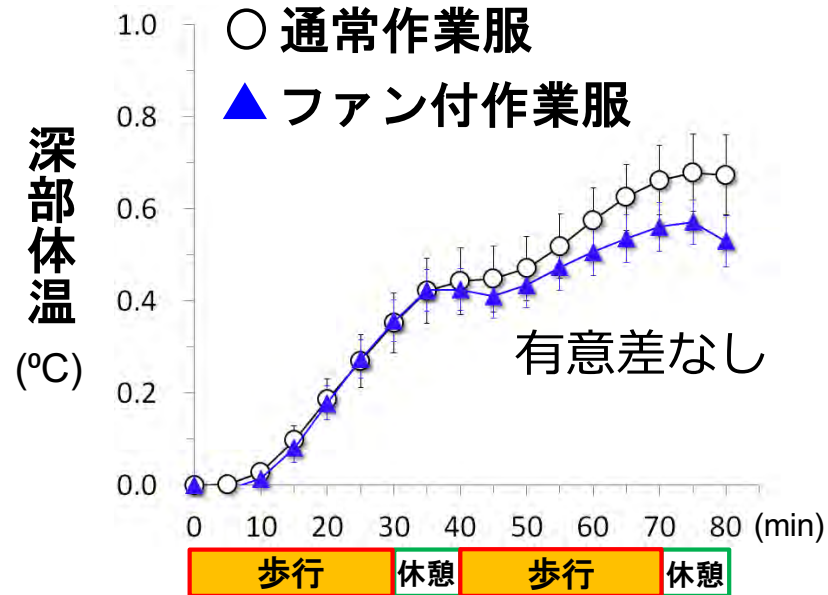
➤ 電動ファン付作業服



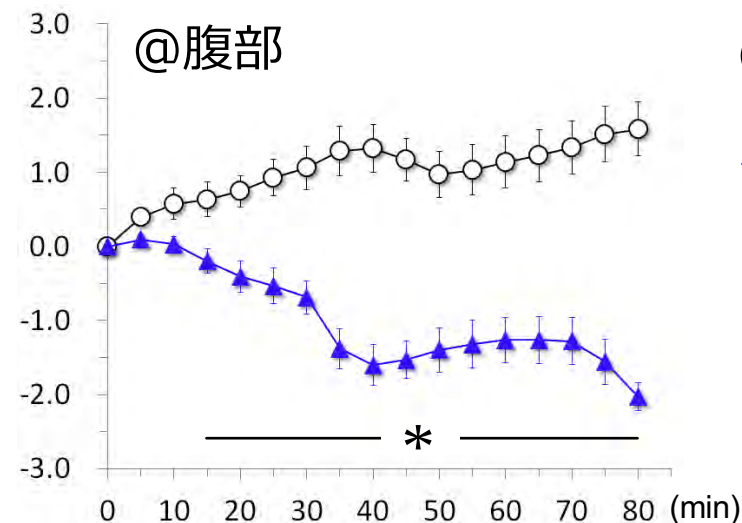
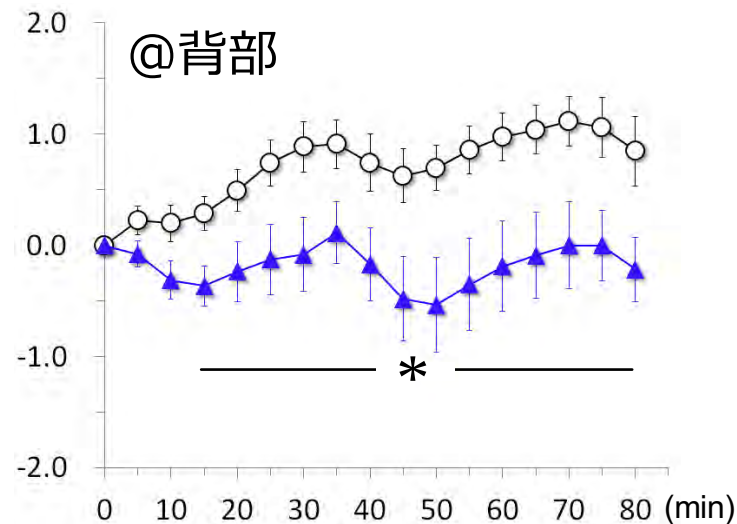
- 2014年売上：24万着
- 約500gの追加荷重
- 単3電池4本で、5時間稼働

2. 皮膚表面の冷却による対策の限界

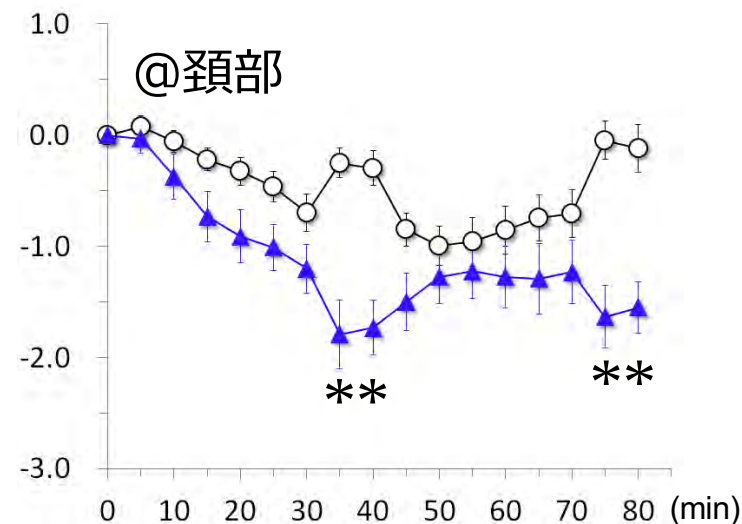
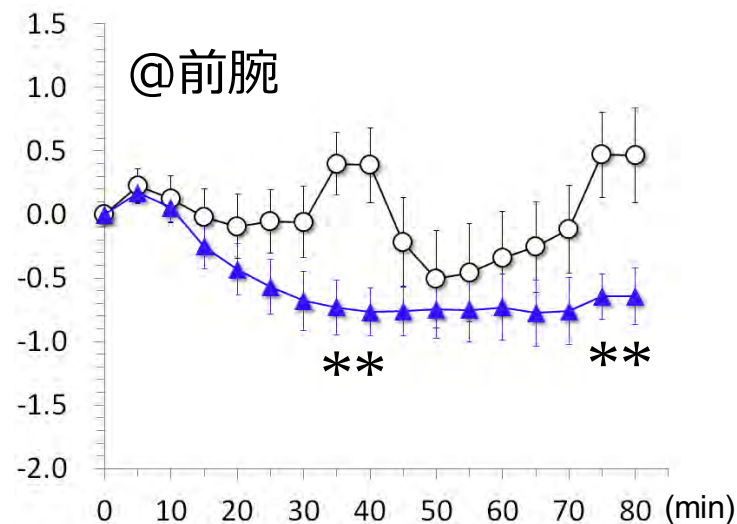
- 効果検証 中強度歩行@34℃・50%RH



2. 皮膚表面の冷却による対策の限界



○ 通常作業服
▲ ファン付作業服



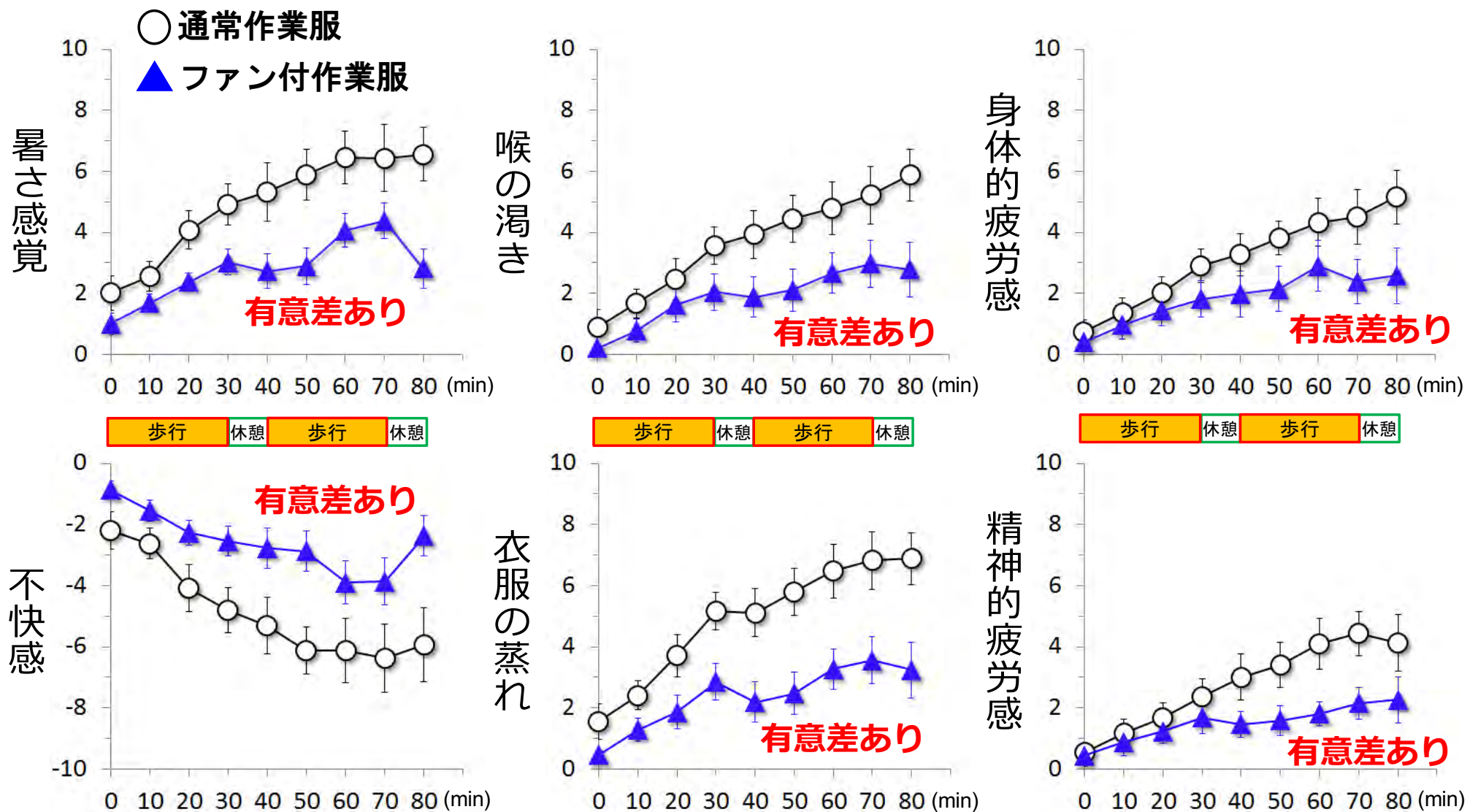
額・手・下肢
は有意差なし

*:有意差あり

✓ 作業服（上着）内部のみ皮膚温が低下

(安衛研・行政要請研究報告書)

2. 皮膚表面の冷却による対策の限界



(安衛研・行政要請研究報告書)

✓ 皮膚温の低下によって、心理的な負担は軽減

2. 皮膚表面の冷却による対策の限界

熱中症対策製品として

- 深部体温の上昇や脱水を軽減することはなかったため、「対策製品」とは言えない。

心理的負担への効果

- 暑さによる**作業効率・注意力**の低下を抑える可能性
(安全への対策製品)
- 暑さによる**疲労が蓄積**することを抑える可能性
(夏バテを防ぐ?)

製品評価の今後

- メーカー独自に生体への効果を検証することは難しいが、研究機関を通じた評価が進む可能性はある。
- 安衛研では、評価基準を検討中である。

- ✓ 1. 熱中症による**労働災害の現状**
- ✓ 2. **皮膚表面の冷却**による対策の限界

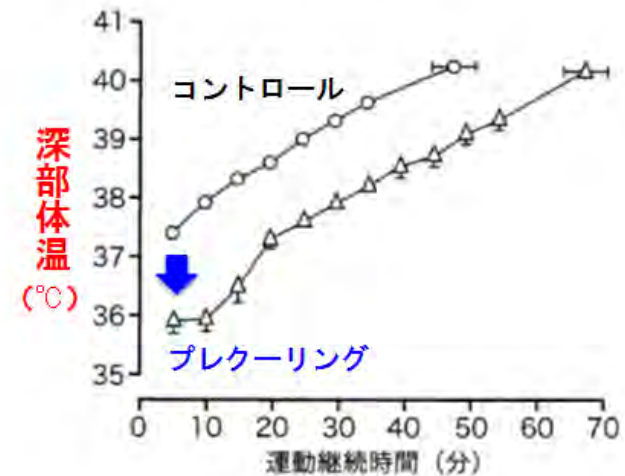
新技術

- ③ **作業前に身体冷却**を行う効果 **実用志向**
- 4. **睡眠不足と昼寝の影響** **実用志向**
- 5. 作業者の**生体モニター**の展望 **未来志向**

3. 作業前に身体冷却を行う効果

➤ **プレクーリング**：事前に**深部体温を下げて**運動を始める
(Pre-Cooling)

全身浸水
プレクーリング
(10～20℃)



(González-Alonso et al. 1999)

労働現場で実施できるような**実用的なプレクーリング**の方法を新たに開発した。

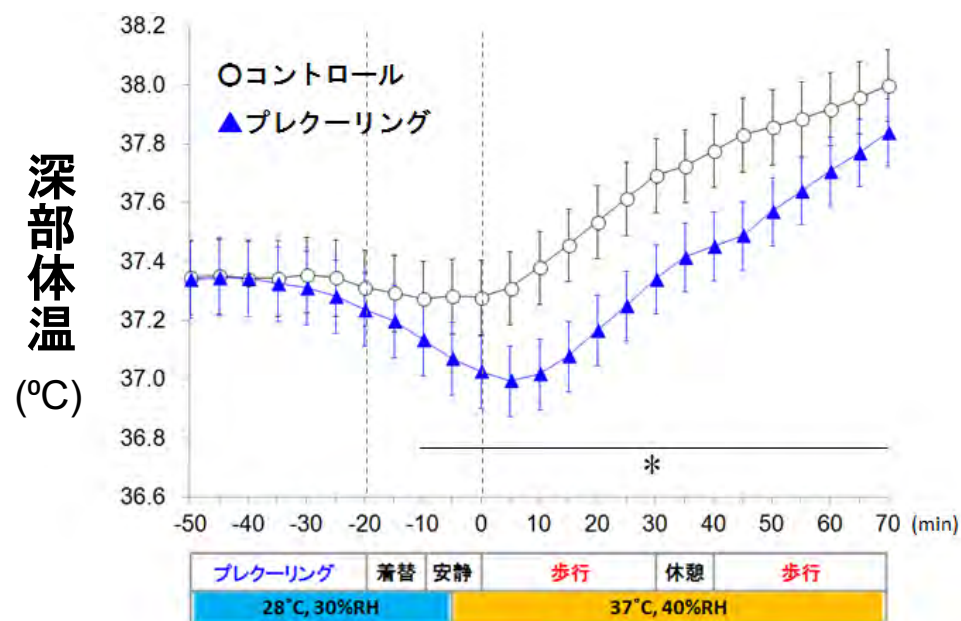
- ① **送風スプレー**による方法
- ② **手足の浸水**による方法
- ③ ①と②の**併用**による方法

3. 作業前に身体冷却を行う効果

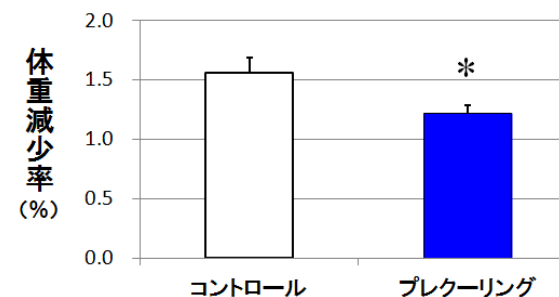
➤ 送風スプレー



低強度歩行
@37°C・50%RH



＊: $P < 0.05$, vs. コントロール (Tokizawa et al., 2014)



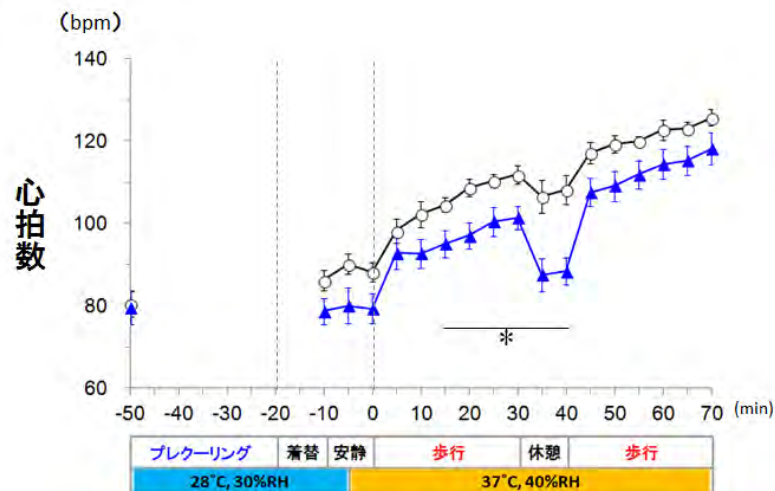
✓ 深部体温の上昇と脱水を軽減

3. 作業前に身体冷却を行う効果

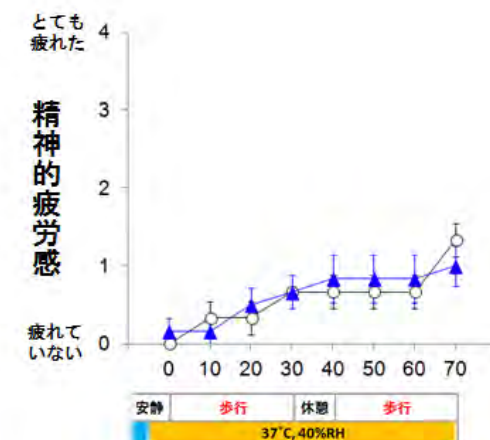
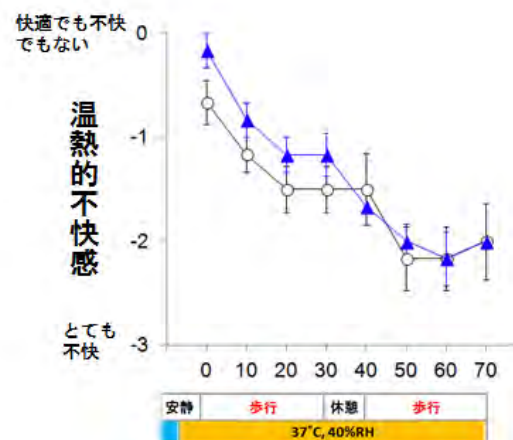
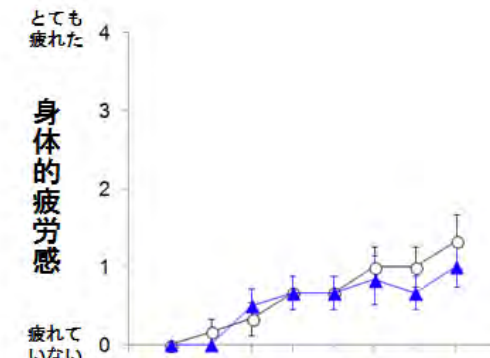
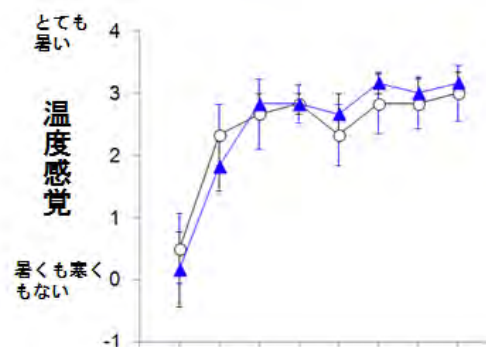
○コントロール

▲プレクーリング

× 感覚の軽減は見られない



✓ 心拍数の上昇を軽減



風の強さやばく露時間によって効果を大きくできないか？

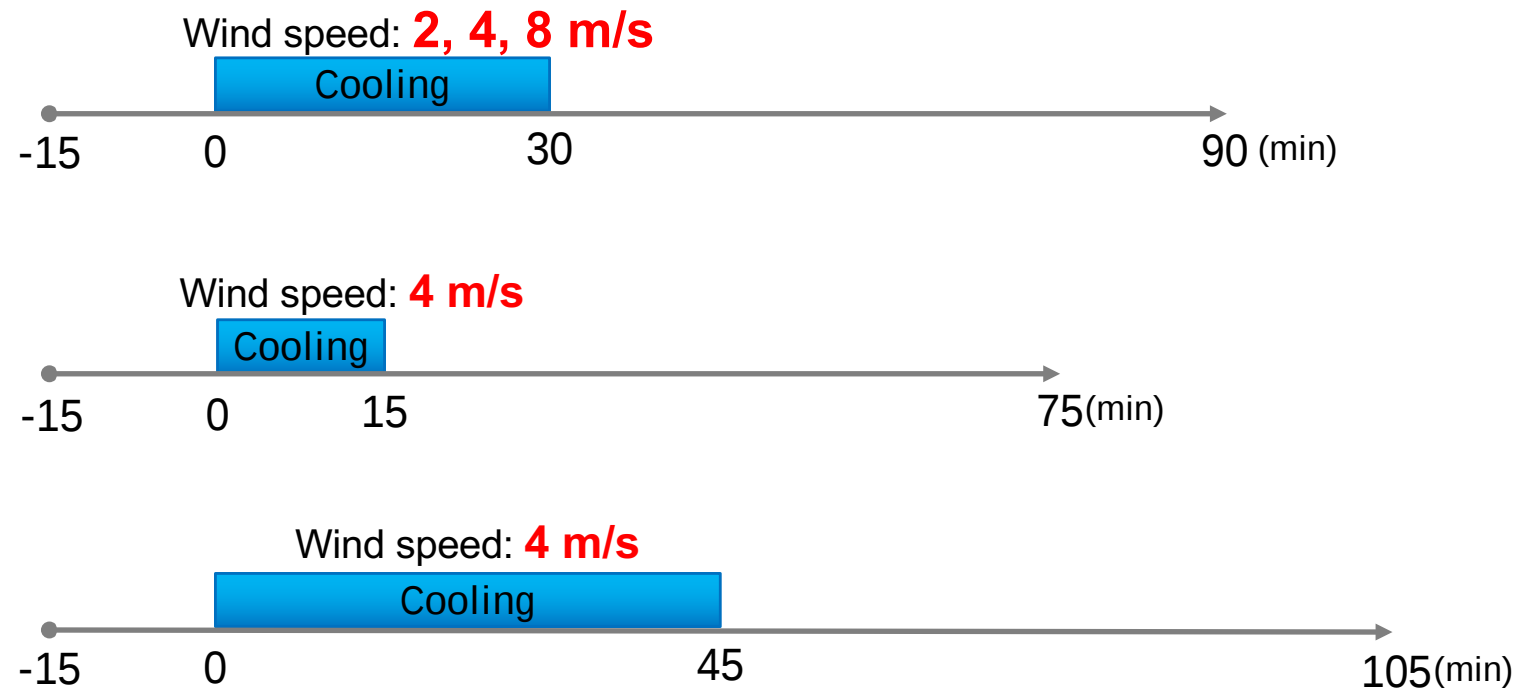
3. 作業前に身体冷却を行う効果

- ・対象：健常成人男性 8 名 (44.3 ± 10 歳; 173.8 ± 4.7 cm; 68.3 ± 8.4 kg)
- ・実験環境：室温 28°C 、相対湿度 40%
- ・実験プロトコル：5 試行



▶▶Cooling

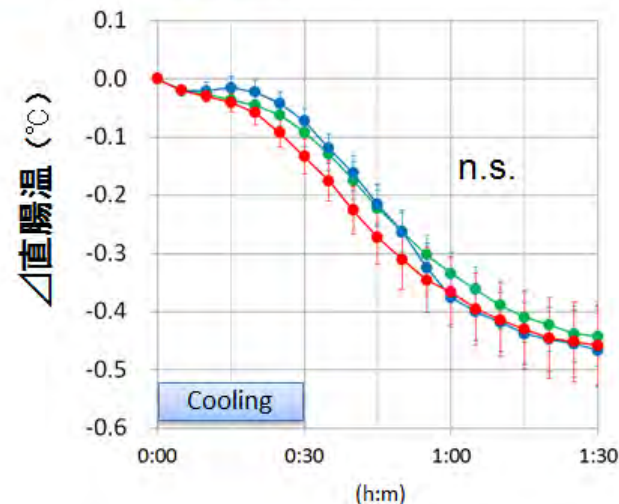
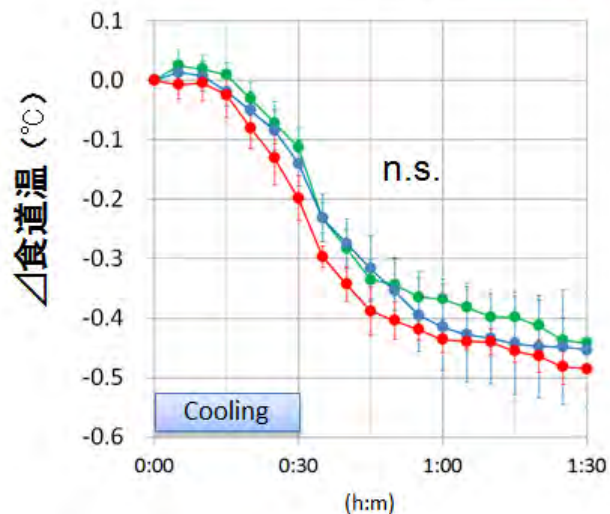
スプレーで水を前面に
かけながら風を当てる



- ・測定項目：食道温、直腸温、全身皮膚温、胸部皮膚血流
血圧、心拍数、温度感覚・温熱的不快感 (VAS)

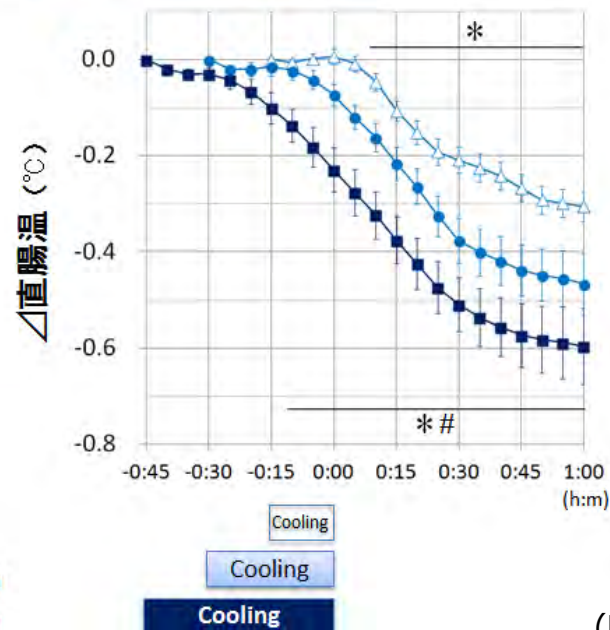
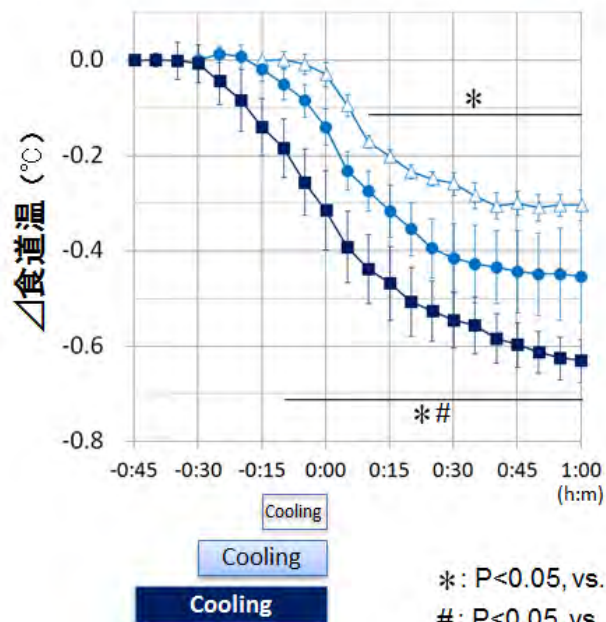
3. 作業前に身体冷却を行う効果

Wind speed: ● 2 m/s ● 4 m/s ● 8 m/s



× 風の強さの影響
は見られない

Cooling time: ▲ 15 min ● 30 min ■ 45 min



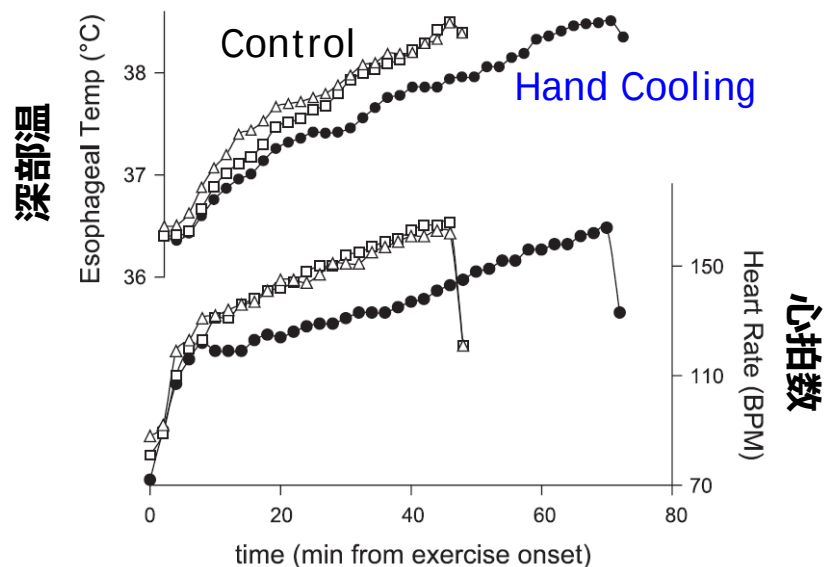
スプレーがないと
効果は半減

✓ ばく露時間
に依存する

3. 作業前に身体冷却を行う効果

ウォーキング中の例

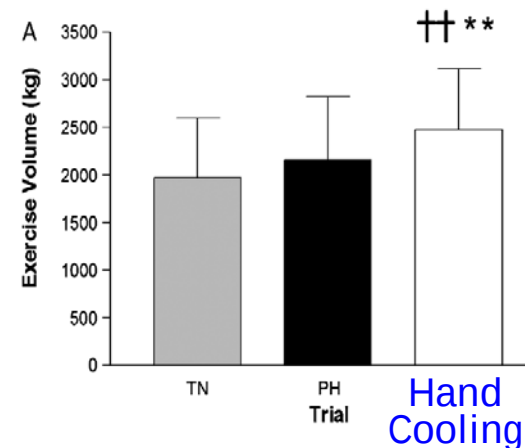
(Grahn et al. 2005)



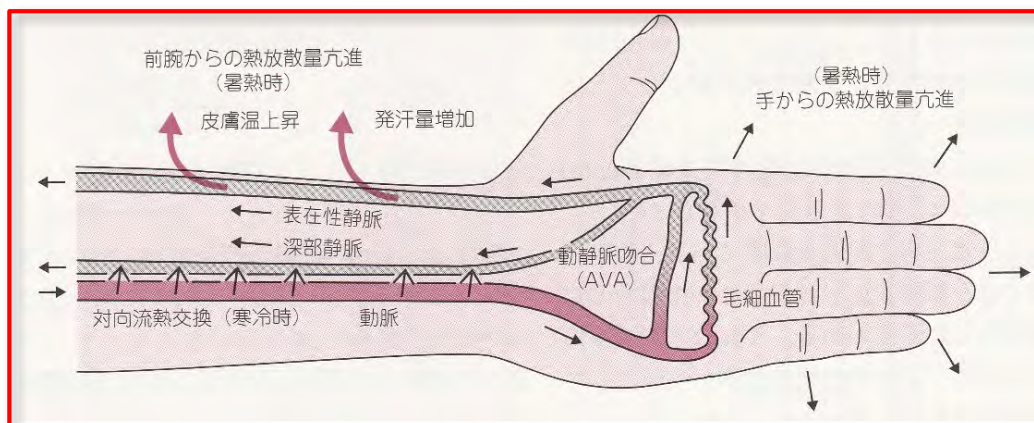
筋トレの合間に行った例

(Kwon et al. 2010)

仕事量



手の特殊な構造



- ✓ 動静脈吻合
- ✓ 毛細血管の密度 ↑
- ✓ 体積当たりの血液量 ↑
- ✓ 体積当たりの体表面積 ↑
- ✓ 温度感受性 ↓

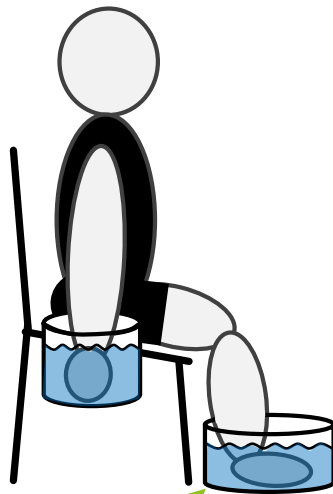
3. 作業前に身体冷却を行う効果

対象：健常成人男性 9 名（ 36.1 ± 12 歳, 174.9 ± 5.0 cm, 67.1 ± 5.9 kg）

試行：コントロール、プレクーリング(18°C)、プレクーリング(28°C)

実験プロトコル：

-50	-20	-10	0	30	40	70 (min)
Pre-cooling			dress	rest	Walking	
28° C, 40%RH				37° C, 50%RH		



Water temp 18°C or 28°C

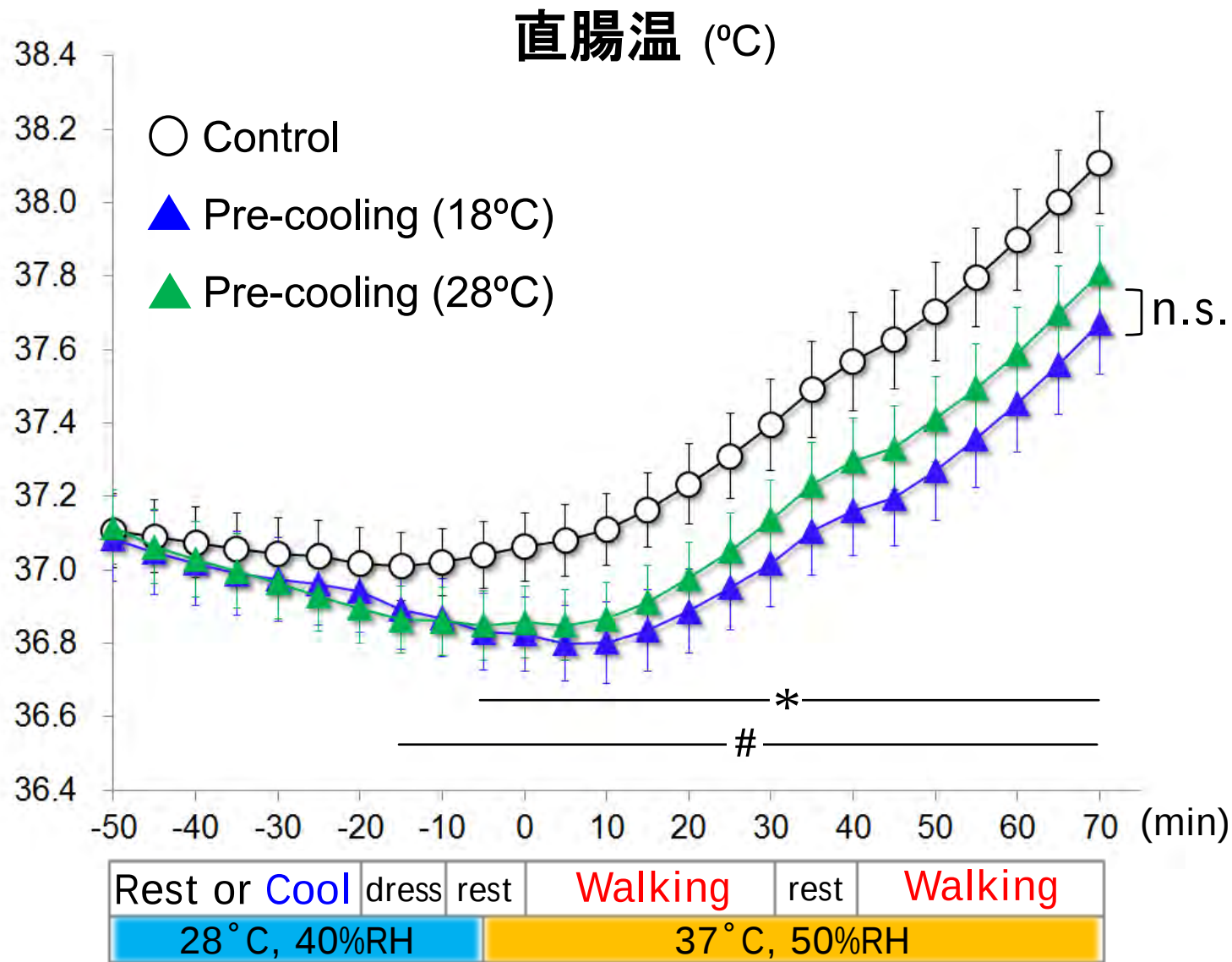
Walking: 2.5 km/h



測定項目：

- 直腸温、皮膚温
血圧、心拍数
発汗率(胸部)
体重減少率
- 温度感覚、温熱的不快感
口渇感、疲労感、蒸れ感
(Visual Analog Scale)

3. 作業前に身体冷却を行う効果



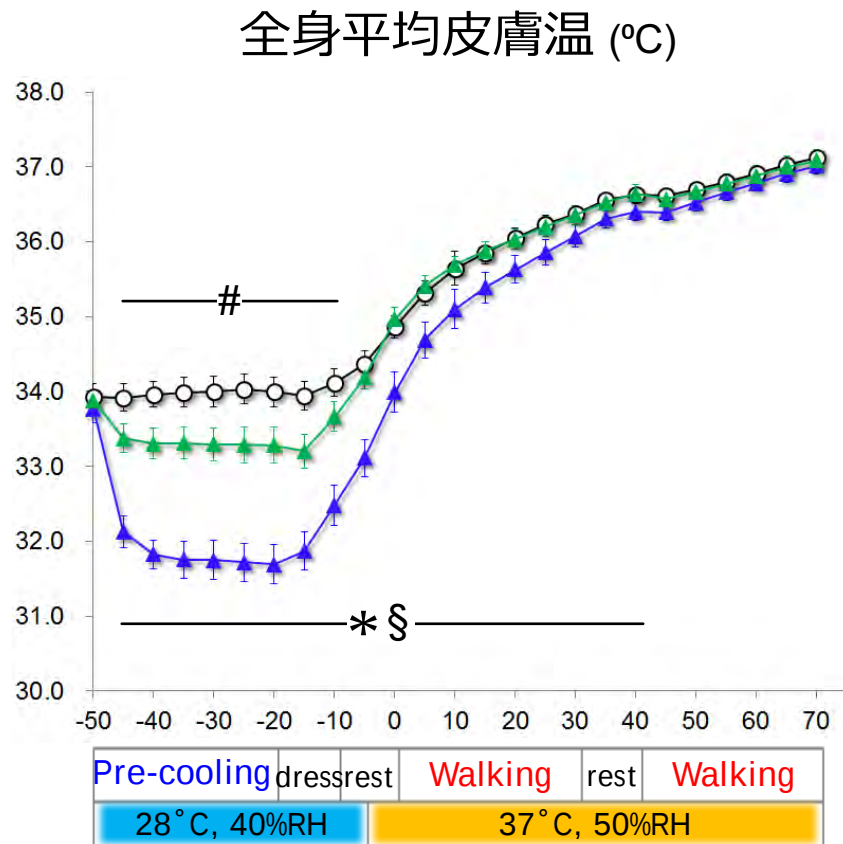
*: $P < 0.05$, Control vs. Pre-cooling (18°C)

#: $P < 0.05$, Control vs. Pre-cooling (28°C)

(時澤ら, 労働安全衛生研究, 2015)

3. 作業前に身体冷却を行う効果

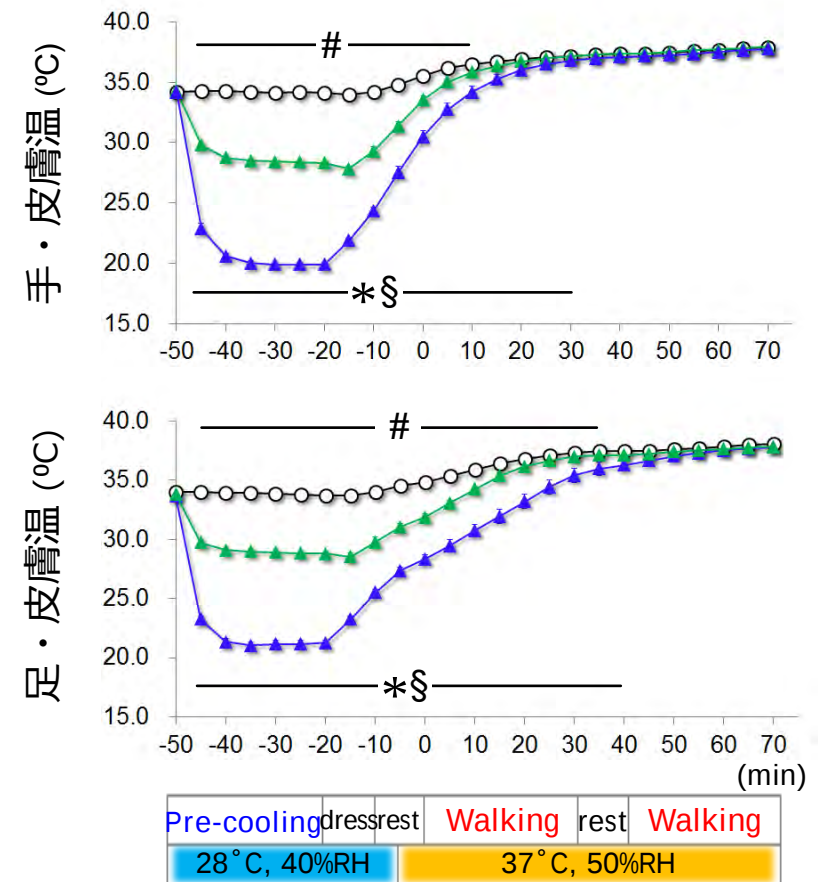
○ Control ▲ Pre-cooling (18°C) ▲ Pre-cooling (28°C)



* : $P < 0.05$, Control vs. Pre-cooling (18°C)

: $P < 0.05$, Control vs. Pre-cooling (28°C)

§ : $P < 0.05$, Pre-cooling (18°C) vs. Pre-cooling (28°C)

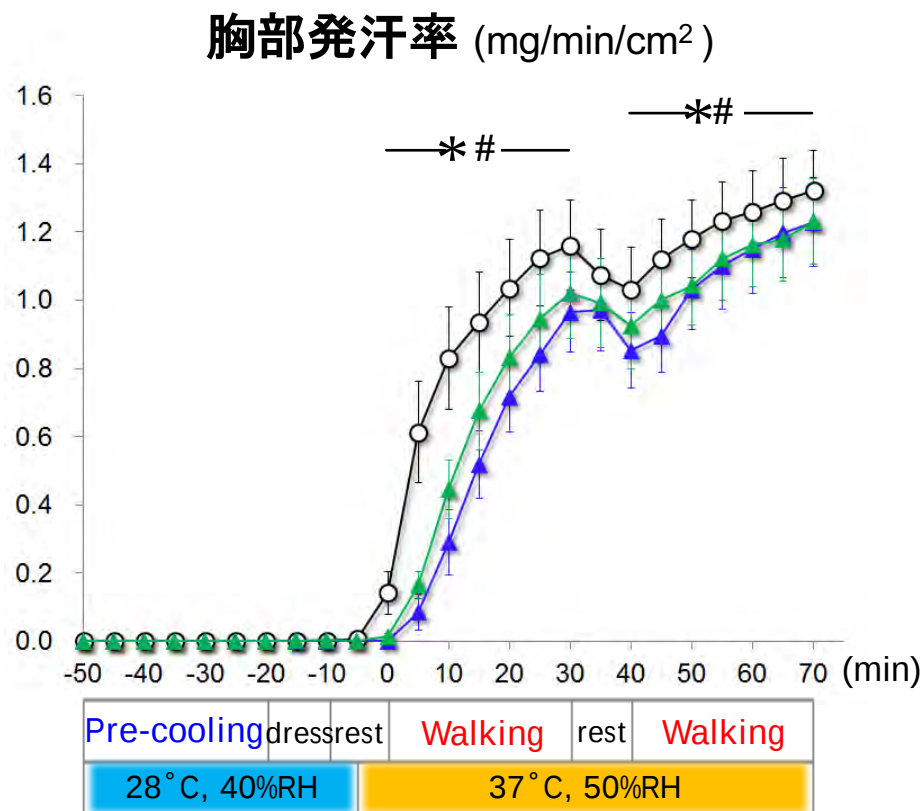


✓手足の感覚は
10分程で戻る

(時澤ら, 労働安全衛生研究, 2015)

3. 作業前に身体冷却を行う効果

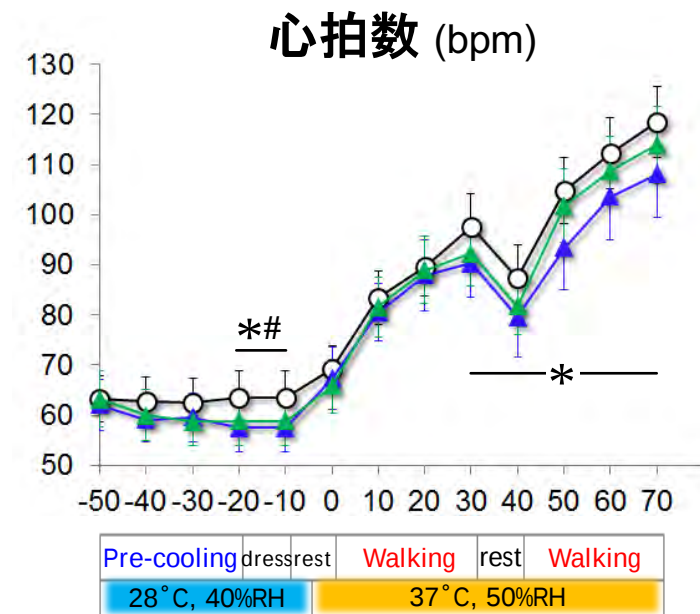
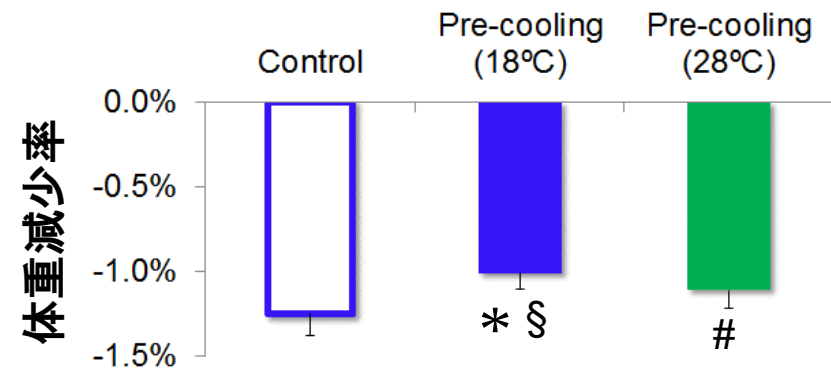
○ Control ▲ Pre-cooling (18°C) ▲ Pre-cooling (28°C)



* : P<0.05, Control vs. Pre-cooling (18°C)

: P<0.05, Control vs. Pre-cooling (28°C)

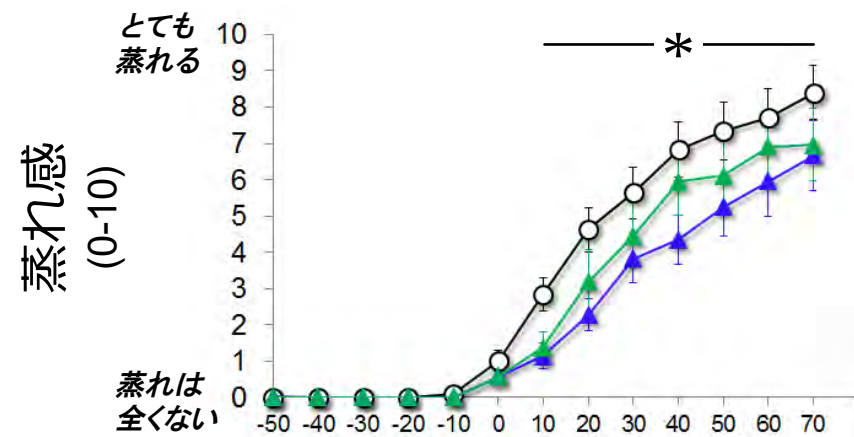
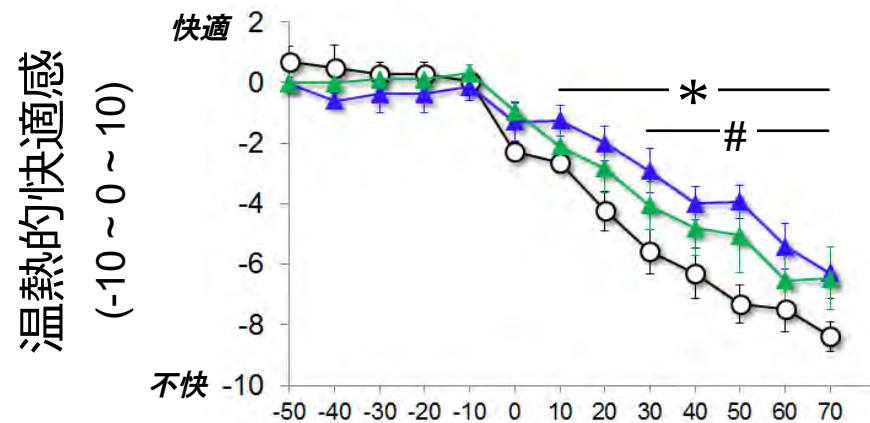
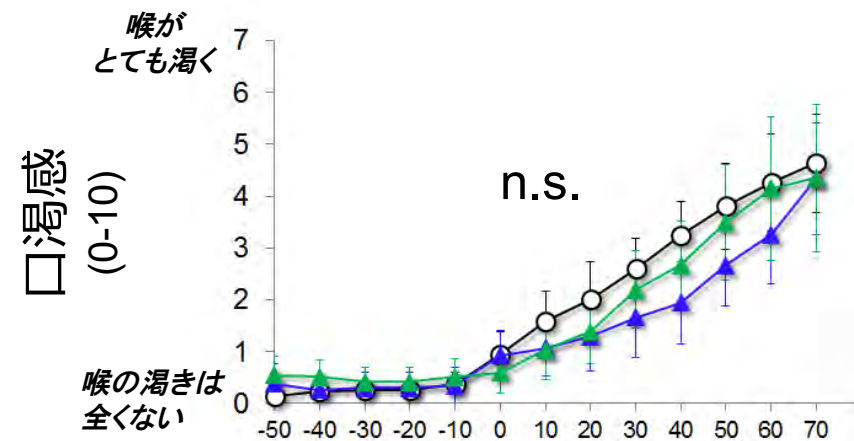
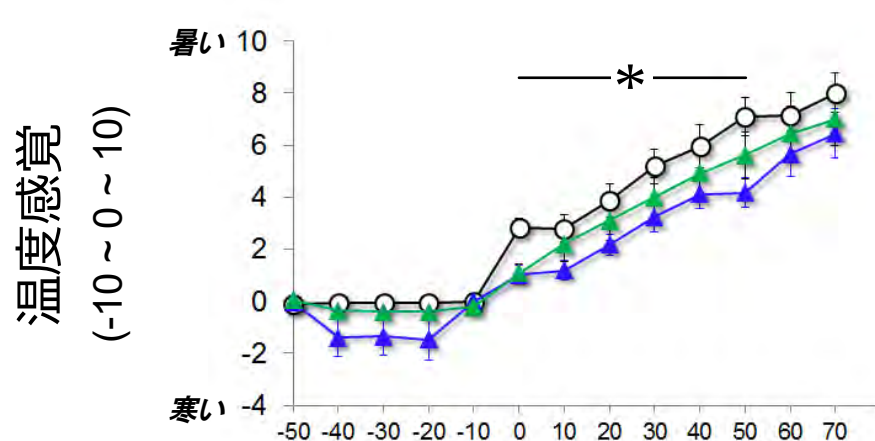
§ : P<0.05, Pre-cooling (18°C) vs. Pre-cooling (28°C)



(時澤ら, 労働安全衛生研究, 2015)

3. 作業前に身体冷却を行う効果

○ Control ▲ Pre-cooling (18°C) ▲ Pre-cooling (28°C)



Pre-cooling	dress	rest	Walking	rest	Walking
28°C, 40%RH			37°C, 50%RH		

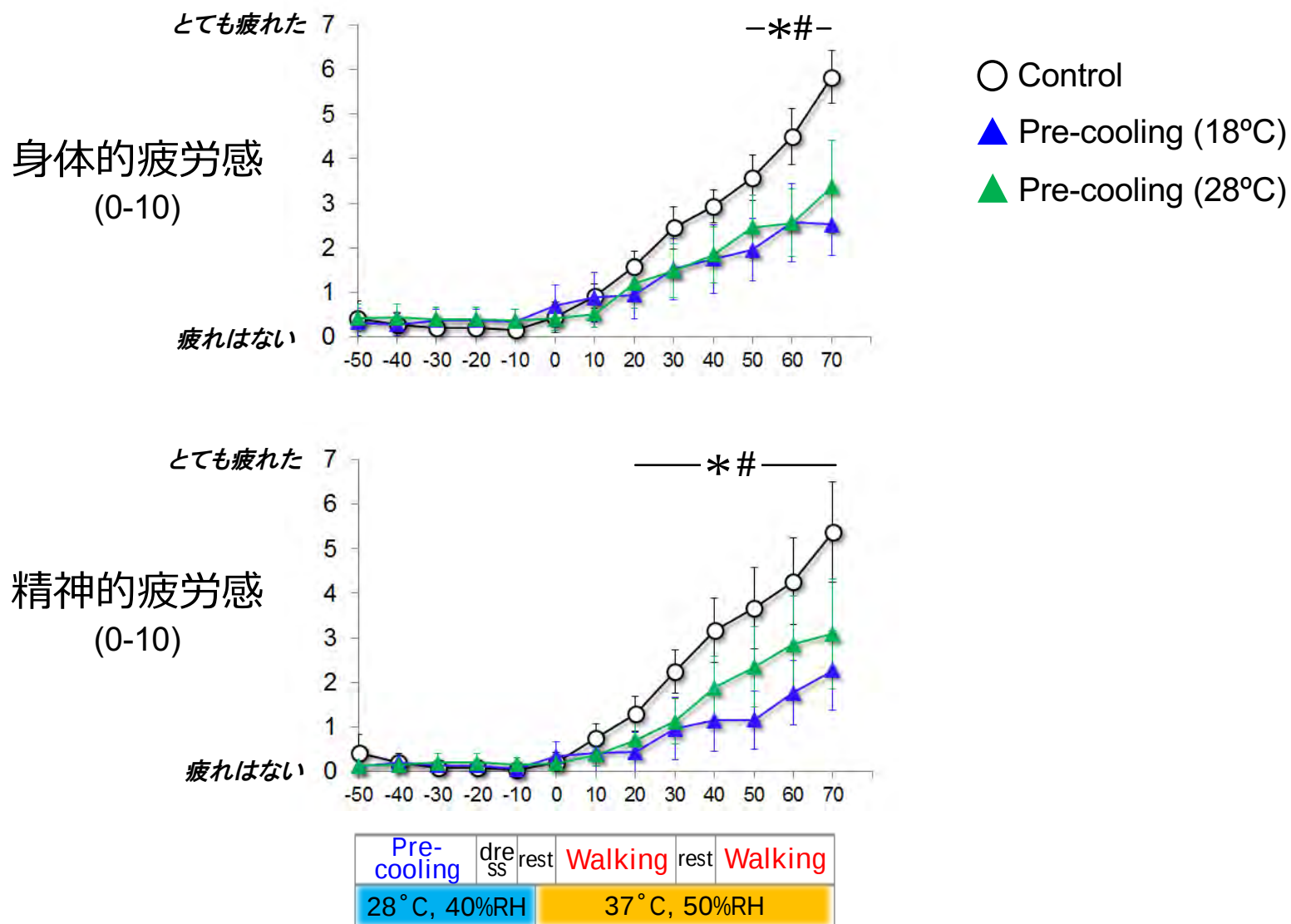
Pre-cooling	dress	rest	Walking	rest	Walking
28°C, 40%RH			37°C, 50%RH		

* : $P < 0.05$, Control vs. Pre-cooling (18°C)

: $P < 0.05$, Control vs. Pre-cooling (28°C)

(時澤ら, 労働安全衛生研究, 2015)

3. 作業前に身体冷却を行う効果



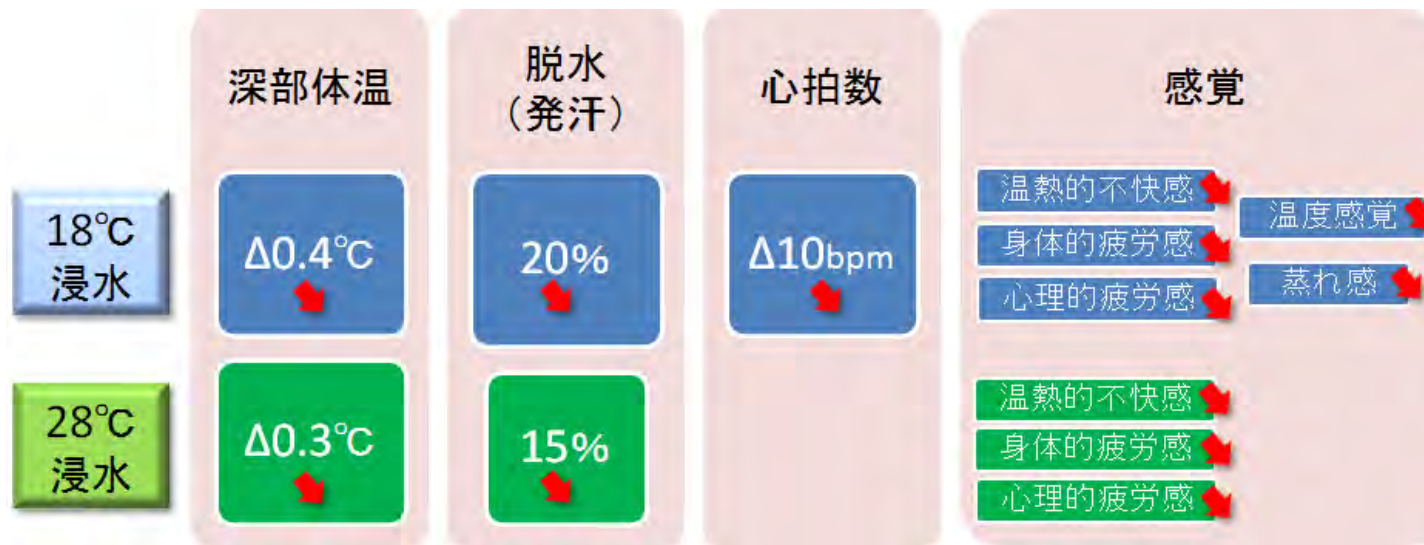
* : $P < 0.05$, Control vs. Pre-cooling (18°C)

: $P < 0.05$, Control vs. Pre-cooling (28°C)

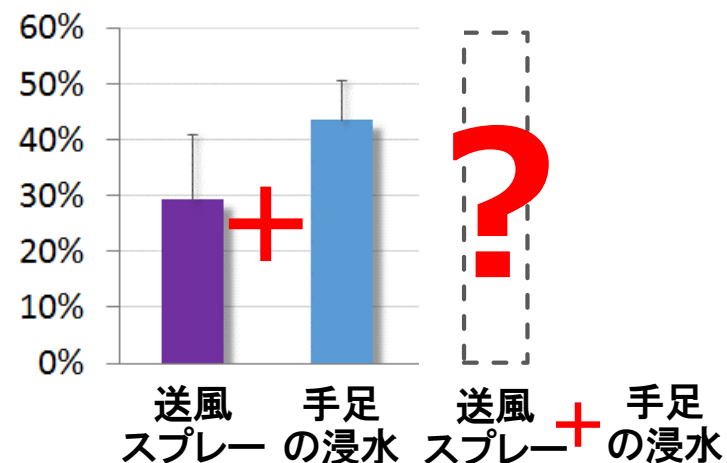
(時澤ら, 労働安全衛生研究, 2015)

3. 作業前に身体冷却を行う効果

手足の浸水によるプレクーリングは、防護服着用歩行時の暑熱負担に対して持続的な軽減効果をもたらすことが示唆された。



深部体温
の軽減率



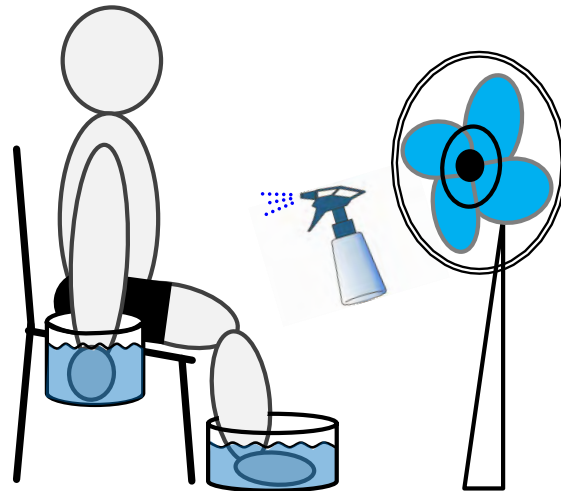
3. 作業前に身体冷却を行う効果

● 併用効果の検証

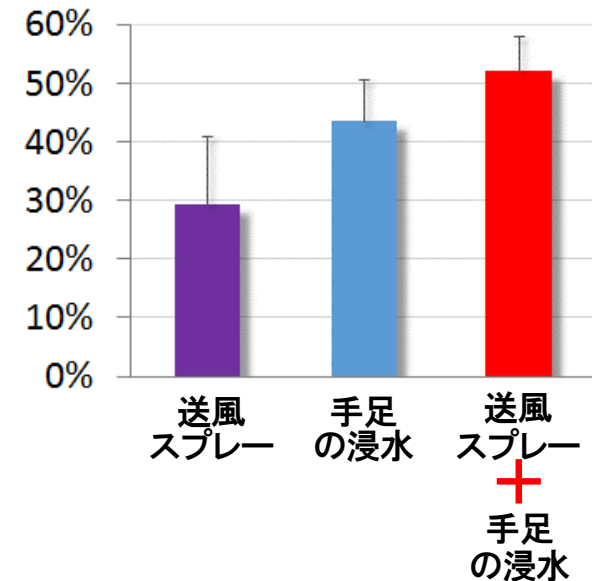
➤ 送風スプレー

+

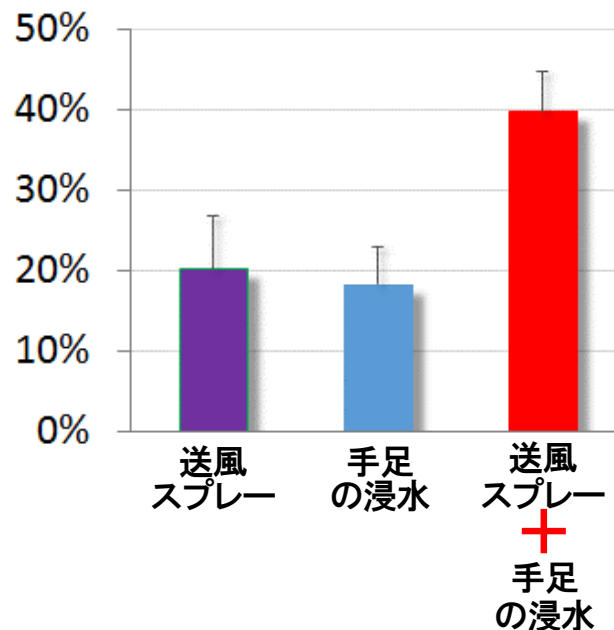
➤ 手足の浸水



深部体温の軽減率



脱水の軽減率



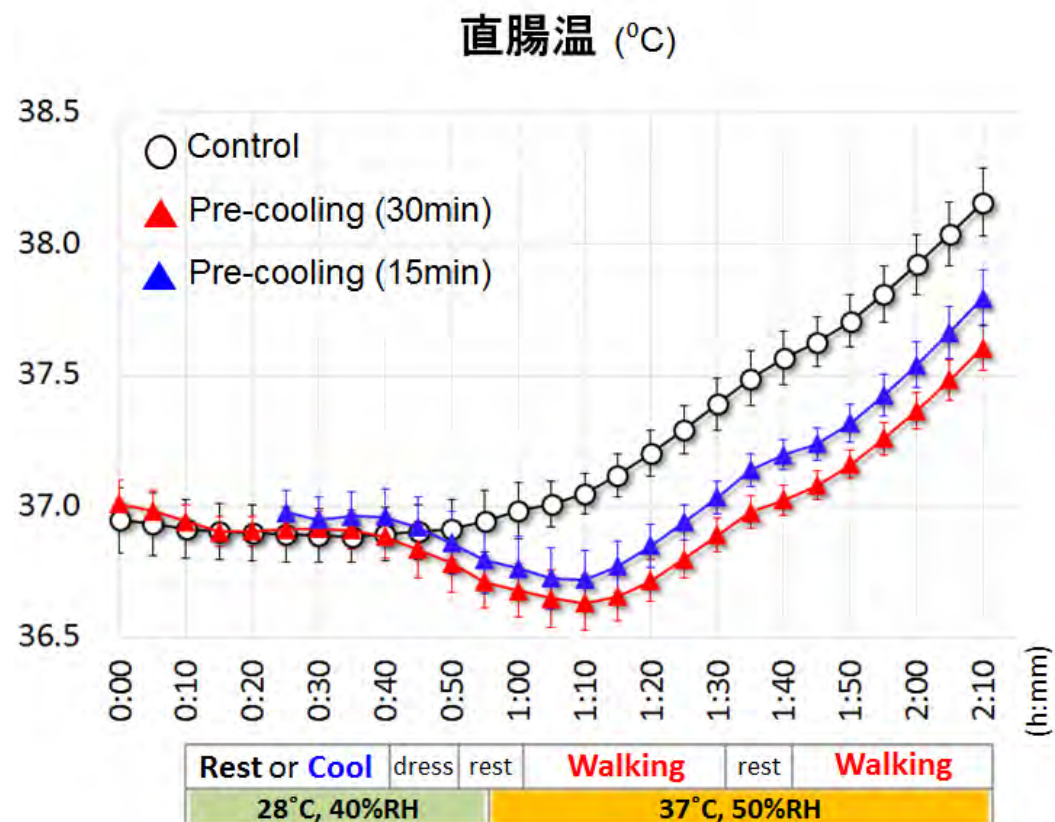
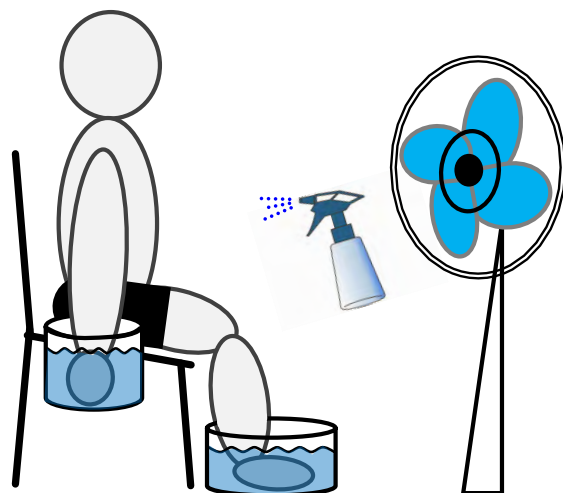
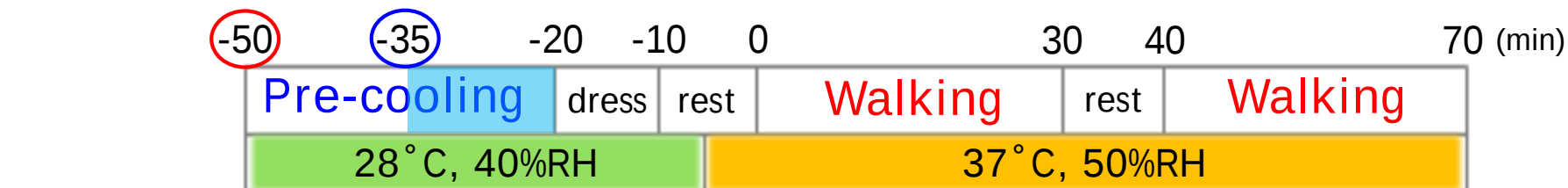
✓ 深部体温の上昇を半減

✓ 脱水を大きく軽減

✓ 暑さ感覚・疲労感も楽に

3. 作業前に身体冷却を行う効果

● クーリング時間の検証



3. 作業前に身体冷却を行う効果

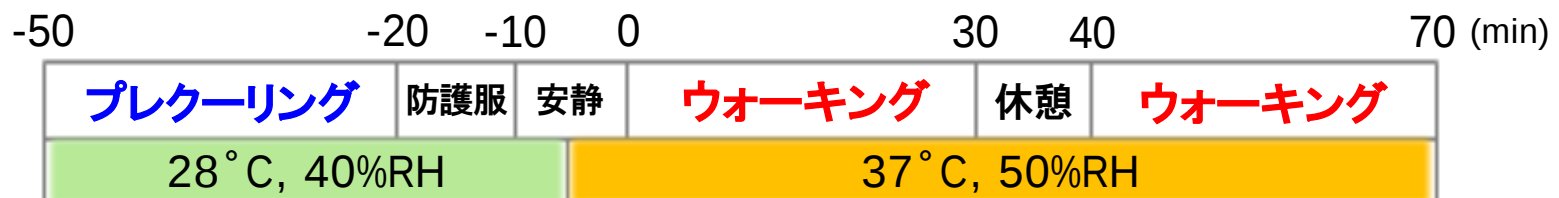
身体冷却方法： 冷却グローブ・スリッパ



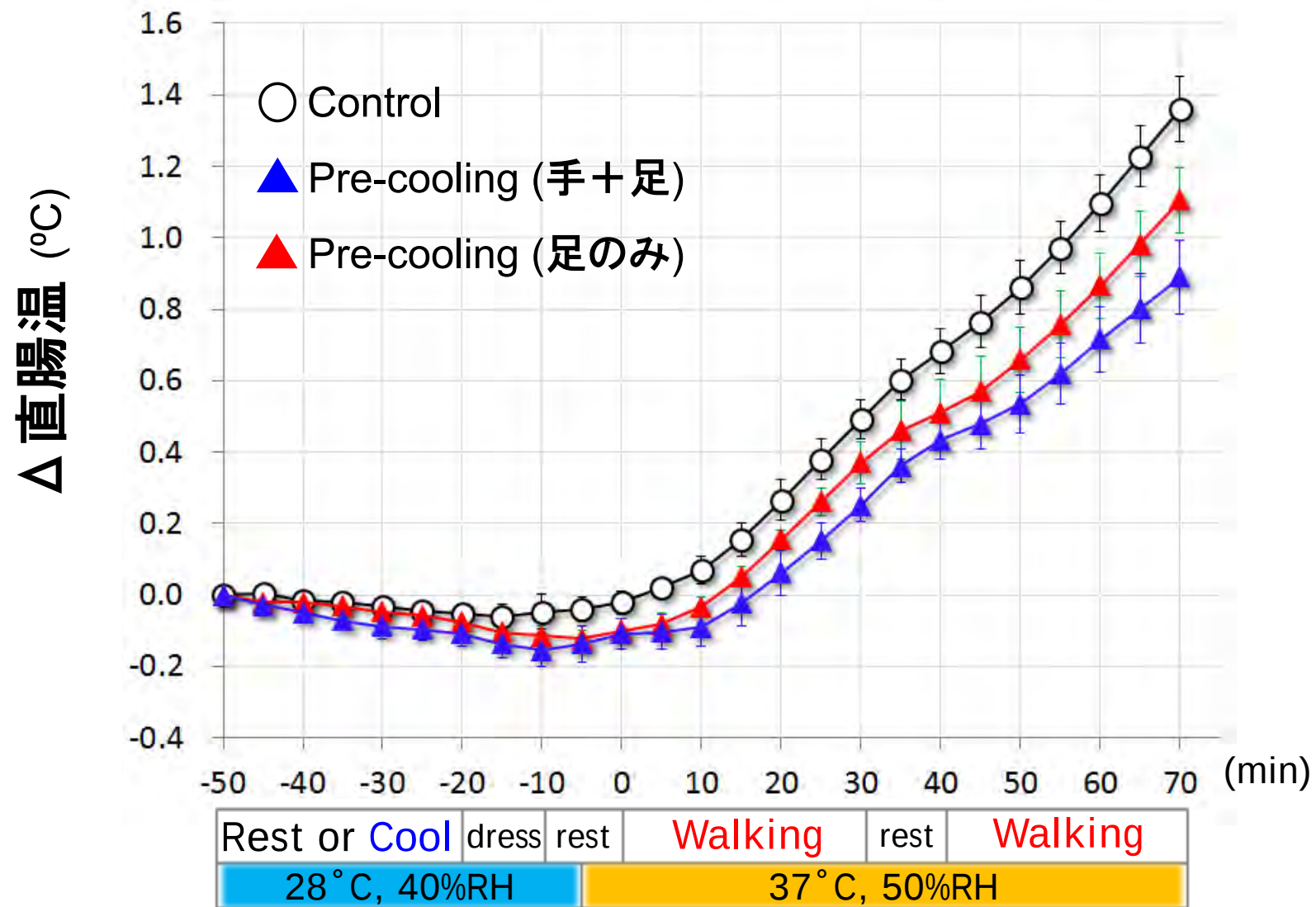
- 冷凍庫で冷却
- 綿手袋・靴下を着けた上で装着
- 18℃浸水と同じレベルまで皮膚温低下

エラストゲル（一般医療機器・温熱用パック、
Southwest Technologies, Inc）
温熱・寒冷治療（消炎鎮痛処置）に使用
1つの重量1.5kg、価格2万円

試行：コントロール、プレクーリング(手と足)、プレクーリング(足のみ)



3. 作業前に身体冷却を行う効果



➤ 深部体温の上昇を抑制（足のみ < 手+足）

3. 作業前に身体冷却を行う効果

- 作業前に送風スプレーや手足を冷却することで、作業中の深部体温の上昇と脱水を抑えることができる。
 - 効果の大きさは、クーリング時間に依存するが、少なくとも15分程度が必要である。
-
- 休憩中（作業間）にも積極的にクーリングを行うことで、休憩後の作業に効果をもたらすため、単なる休憩にならない工夫が必要である。

- ✓ 1. 熱中症による**労働災害の現状**
- ✓ 2. **皮膚表面の冷却**による対策の限界

新技術

- ✓ 3. **作業前に身体冷却**を行う効果 **実用志向**
- ④ 4. **睡眠不足と昼寝の影響** **実用志向**
- 5. 作業者の**生体モニター**の展望 **未来志向**

4. 睡眠不足による暑熱負担の悪化と昼寝による改善効果

【先行研究】睡眠不足が体温調節に及ぼす影響 ⇒ 短時間の暑熱負担

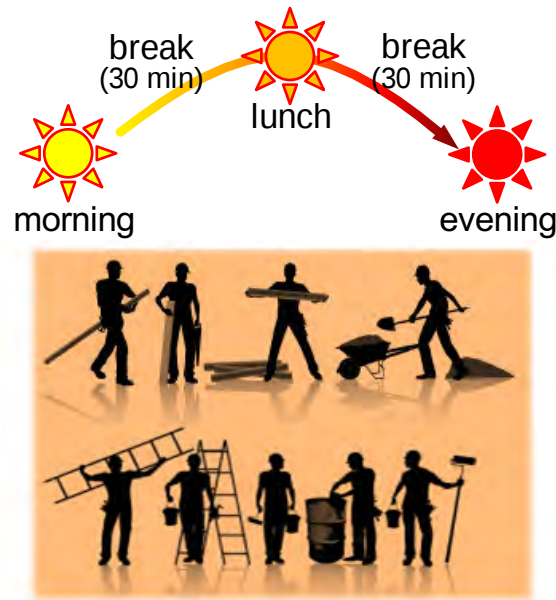
体温が上がる (Fiorica et al. 1968; Bamezai et al. 1992)

下がる (Kolka et al. 1988; Opstad et al. 1991; Landis et al. 1998)

変わらない (Knauth et al. 1978; Martin et al. 1984; Savourey et al. 1994)

発汗が抑制される (Sawka et al. 1984)

抑制されない (Dewasmes et al. 1992; Morre et al. 2013)



【目的①】

朝から夕方まで暑熱負担が継続する条件において、前夜の睡眠不足がどのような影響を及ぼすかを明らかにする。

4. **睡眠不足**による暑熱負担の悪化と**昼寝**による改善効果

睡眠不足対策？ 暑さ対策？

- ✓ シエスタの習慣は、熱帯地域で多くみられる。
- ✓ 徹夜後の昼寝が血中の炎症反応を抑える(Vgontzas et al. 2007)。



【目的②】

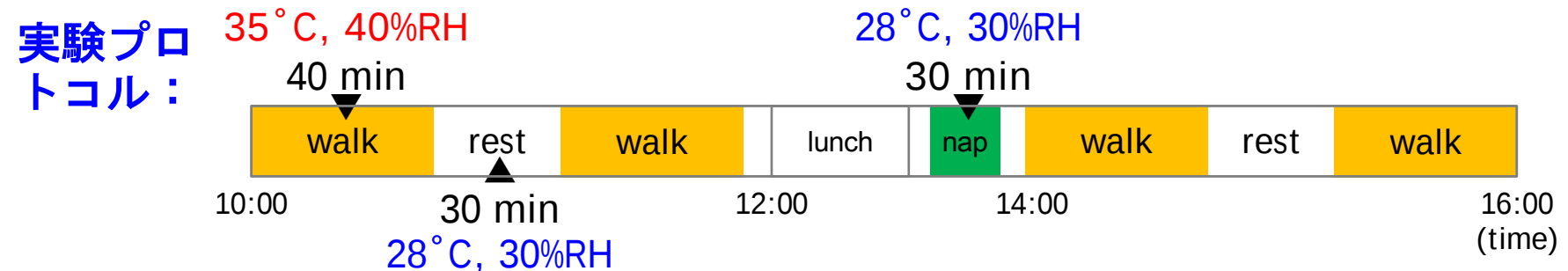
食後に昼寝を行うことで、午後の暑熱負担が軽減されるか否かを明らかにする。

4. 睡眠不足による暑熱負担の悪化と昼寝による改善効果

対象：健康成人男性 14 名（7-8 時間前後の規則正しい睡眠習慣を持つ者）

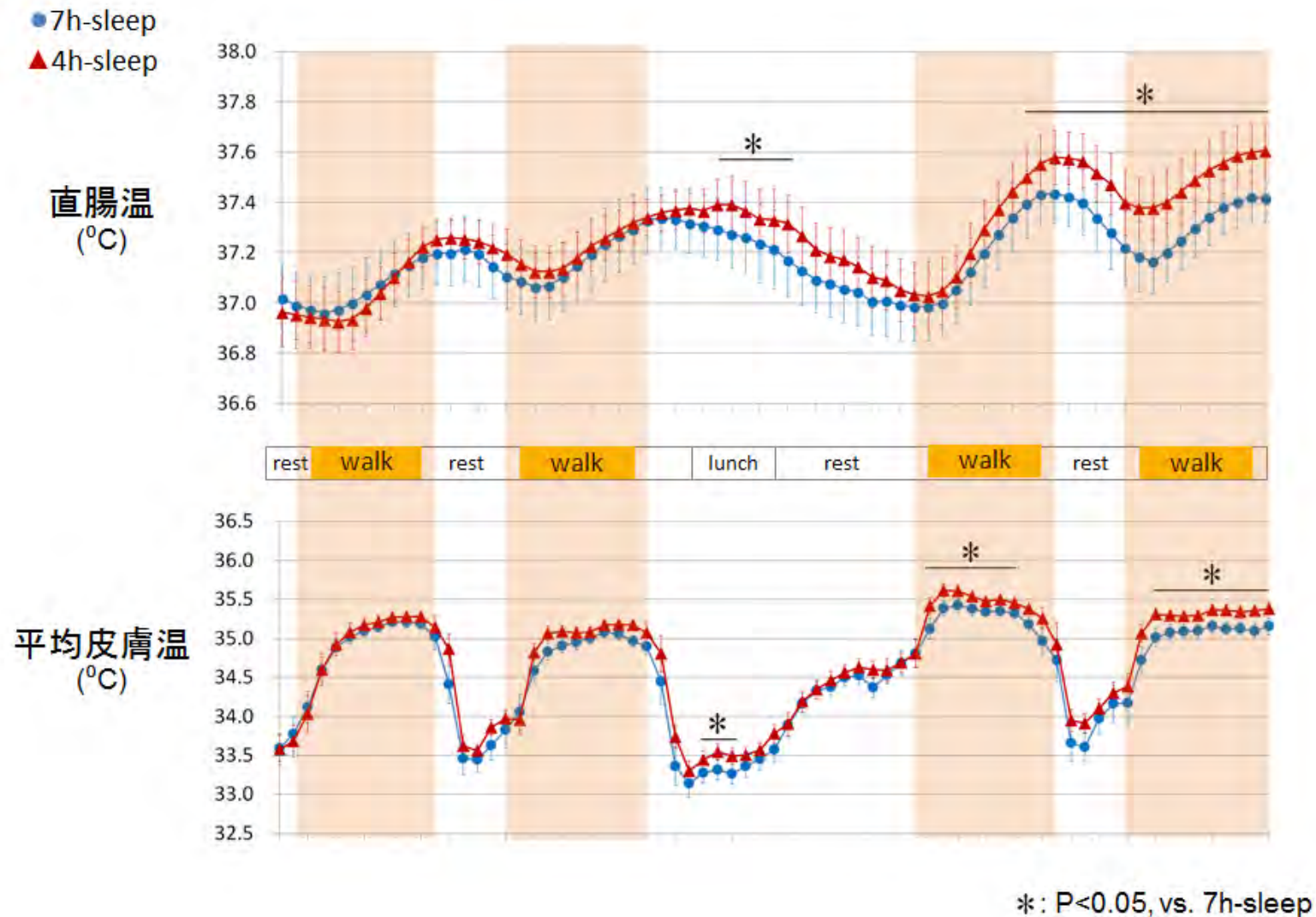
睡眠条件：①通常睡眠条件（2300-0600、7 時間）：昼寝-無 or 有

②部分断眠条件（0200-0600、4 時間）：昼寝-無 or 有



歩行速度：
3.5 km/h

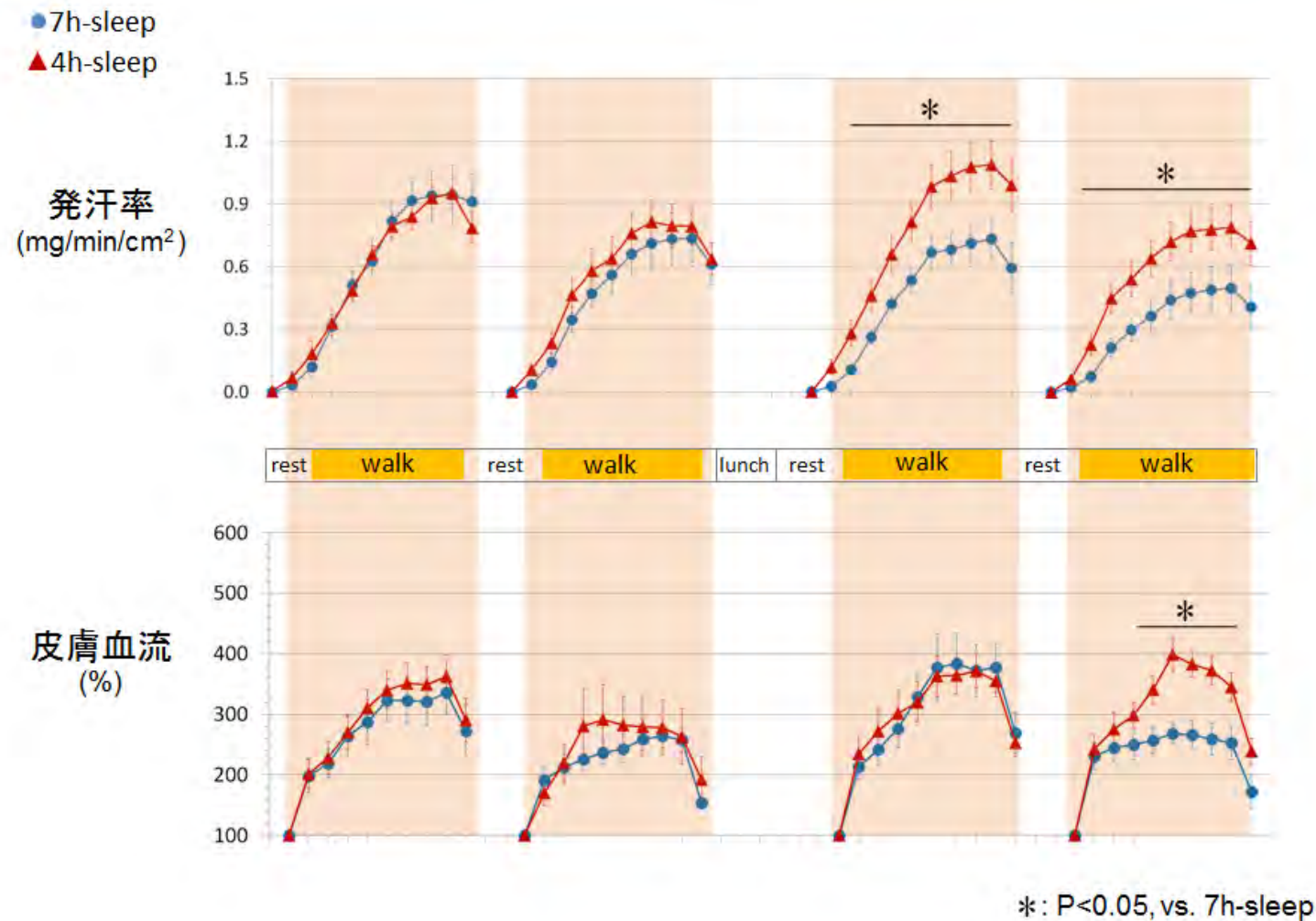
4. 睡眠不足による暑熱負担の悪化と昼寝による改善効果



(Tokizawa et al. *Occup Environ Med*, 2015)

✓睡眠不足で午後に深部体温の上昇が大きくなる

4. 睡眠不足による暑熱負担の悪化と昼寝による改善効果



(Tokizawa et al. *Occup Environ Med*, 2015)

✓睡眠不足で午後に発汗が増える

4. 睡眠不足による暑熱負担の悪化と昼寝による改善効果



*: $P < 0.05$, vs. 7h-sleep



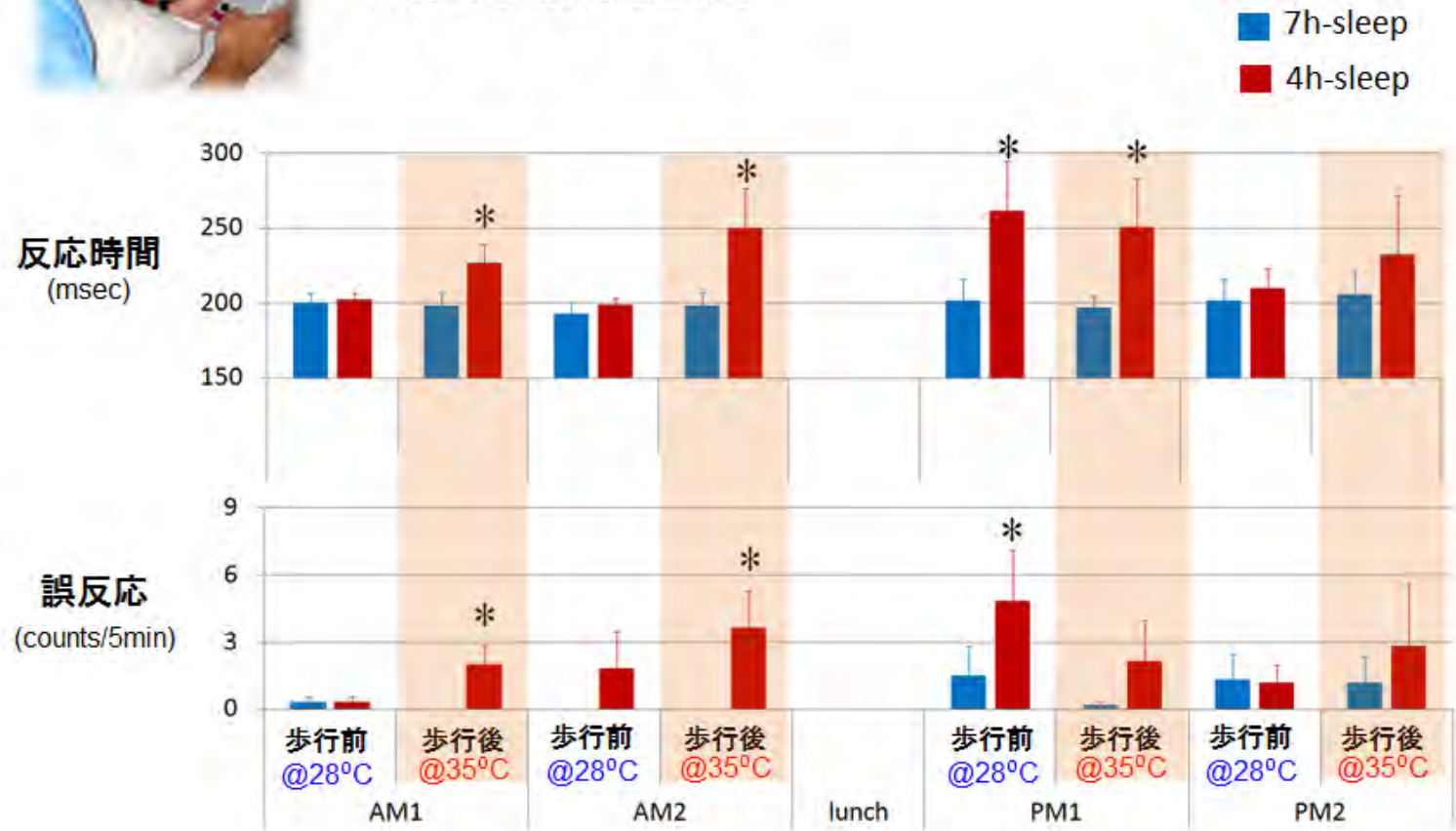
(Tokizawa et al. *Occup Environ Med*, 2015)

✓睡眠不足で、眠気と疲労感は午前中から昼食後に高く、
午後に暑さの不快感が増大する。

4. 睡眠不足による暑熱負担の悪化と昼寝による改善効果



・精神運動覚醒検査



(Tokizawa et al.
Occup Environ
Med, 2015)

✓睡眠不足で、午前中から昼食後において、暑熱下の歩行後の反応時間と誤反応が悪化する。

4. 睡眠不足による暑熱負担の悪化と昼寝による改善効果

睡眠不足での長時間暑熱下作業によって、

熱中症発症につながる生理学的リスク

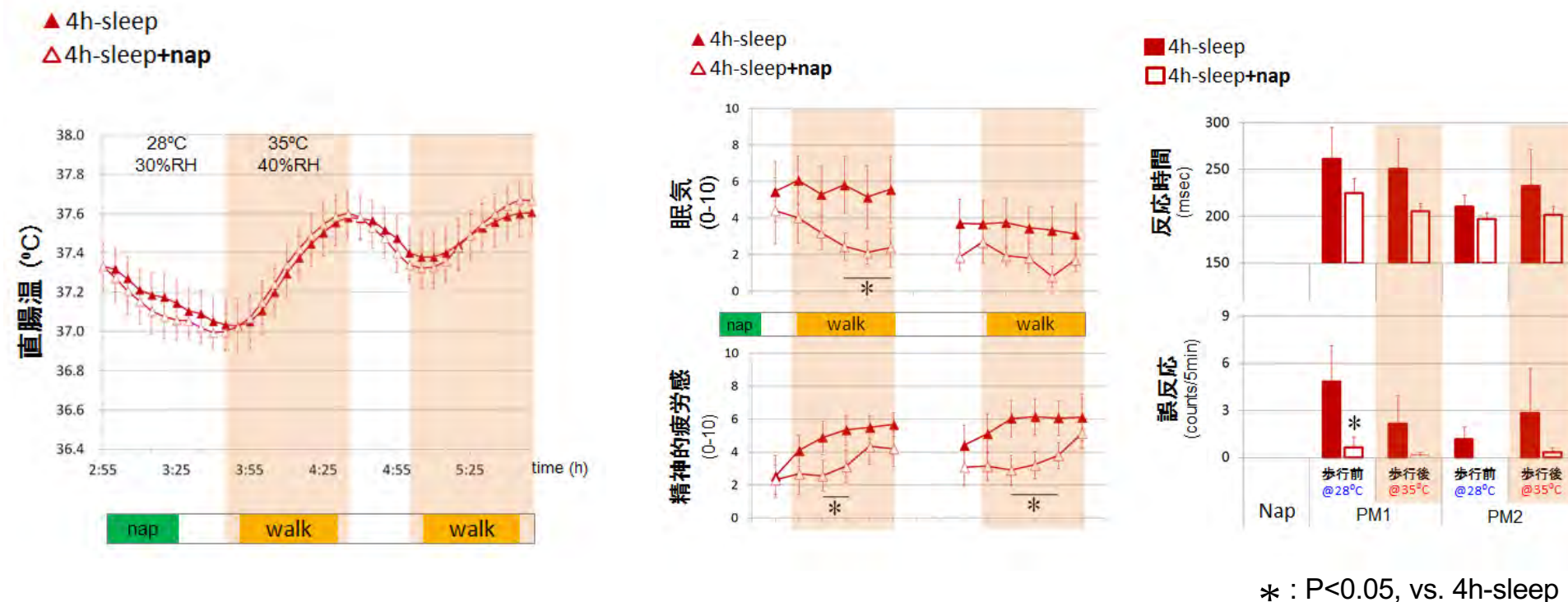
- ・ 深部体温の上昇 ↗ （午後）
- ・ 皮膚温・血流の上昇 ↗ （午後）
- ・ 発汗率・体重減少量 ↗ （午後）

安全性にかかわる心理学的リスク

- ・ 反応時間の遅延・誤反応 ↗ （午前～昼食後）
- ・ 温熱的不快感 ↗ （午後）
- ・ 精神的疲労感 ↗ （午前～昼食後）

「昼寝」によってこれらのリスクを抑えられるか？

4. 睡眠不足による暑熱負担の悪化と昼寝による改善効果



(Tokizawa et al. *Occup Environ Med*, 2015)

✓昼寝によって熱中症リスクの改善は難しい

✓安全性リスクの一部は改善できる可能性

- ✓ 1. 熱中症による**労働災害の現状**
- ✓ 2. **皮膚表面の冷却**による対策の限界

新技術

- ✓ 3. **作業前に身体冷却**を行う効果 **実用志向**
- ✓ 4. **睡眠不足と昼寝の影響** **実用志向**
- ⑤ **作業者の生体モニター**の展望 **未来志向**

5. 作業者の生体モニターの展望

最近多く開発され生活に浸透する**ウェアラブル機器**

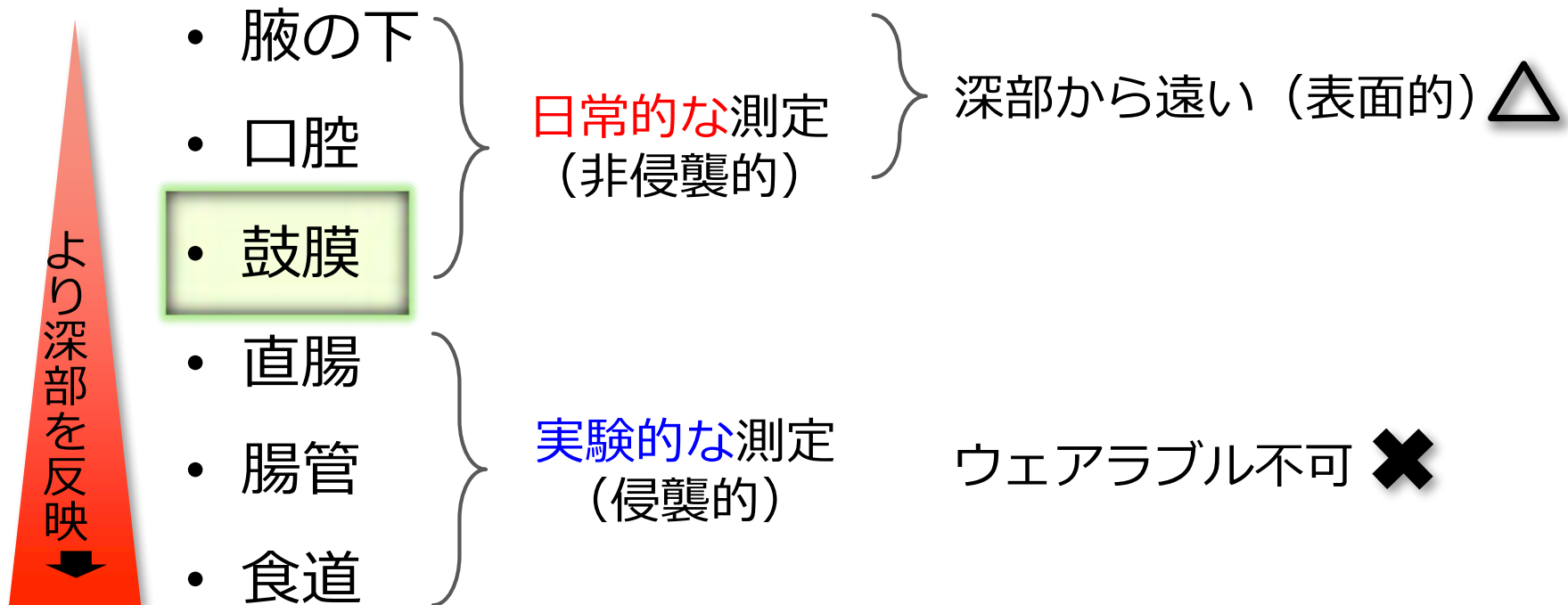


- 作業中の「生体情報」から**熱中症を予知**できないか？
 - ・ 発症してからでは遅い（重症化を防ぐ）
 - ・ 本人の自覚症状は曖昧である
 - ・ 監督者の判断の根拠となる

5. 作業者の生体モニターの展望

● 必要な「生体情報」は何か？

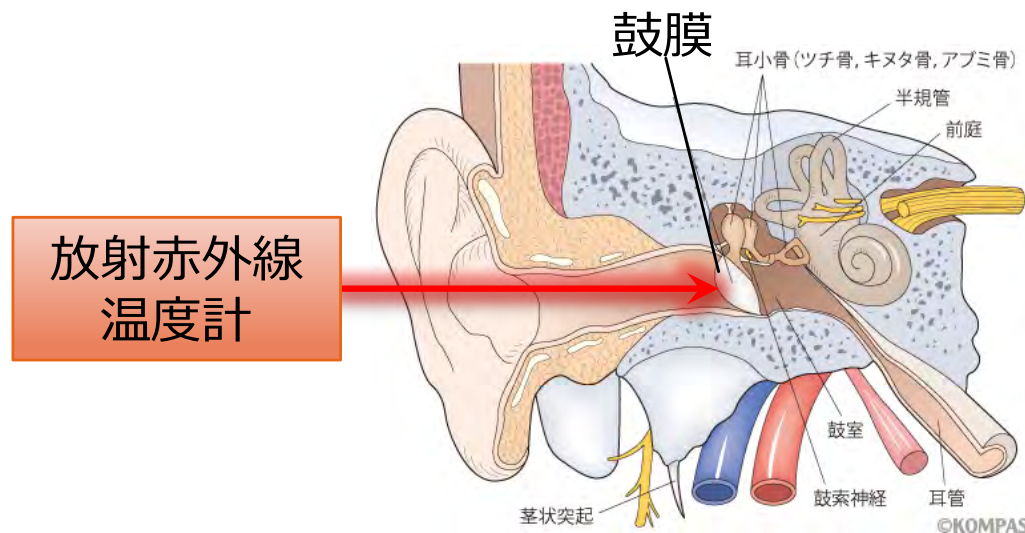
A. 深部体温



✓ 「鼓膜温」の測定が最も現実的で正確性が高い

5. 作業者の生体モニターの展望

● 鼓膜温の測定方法



CEサーモ（ニプロ）

- ✓ 耳への固定方法の改善
- ✓ 聞こえづらさの解消
- ✓ 無線で情報を発信

5. 作業者の生体モニターの展望

● その他の生体情報

✓ 作業強度

✓ 心拍数

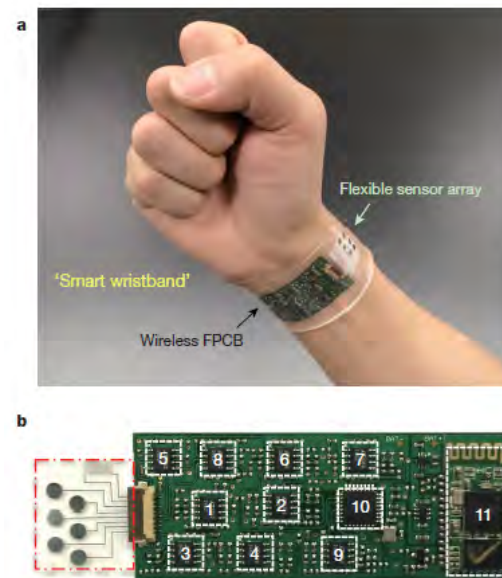
□ 脱水



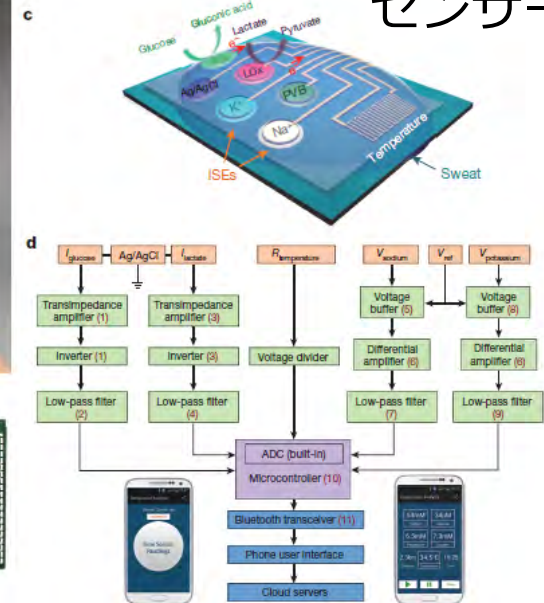
■ 汗からの情報

(Gao et al. 2016, *Nature*)

手首および額から電解質（特に
ナトリウム）の濃度を算出する
ことで、脱水の状態をモニター

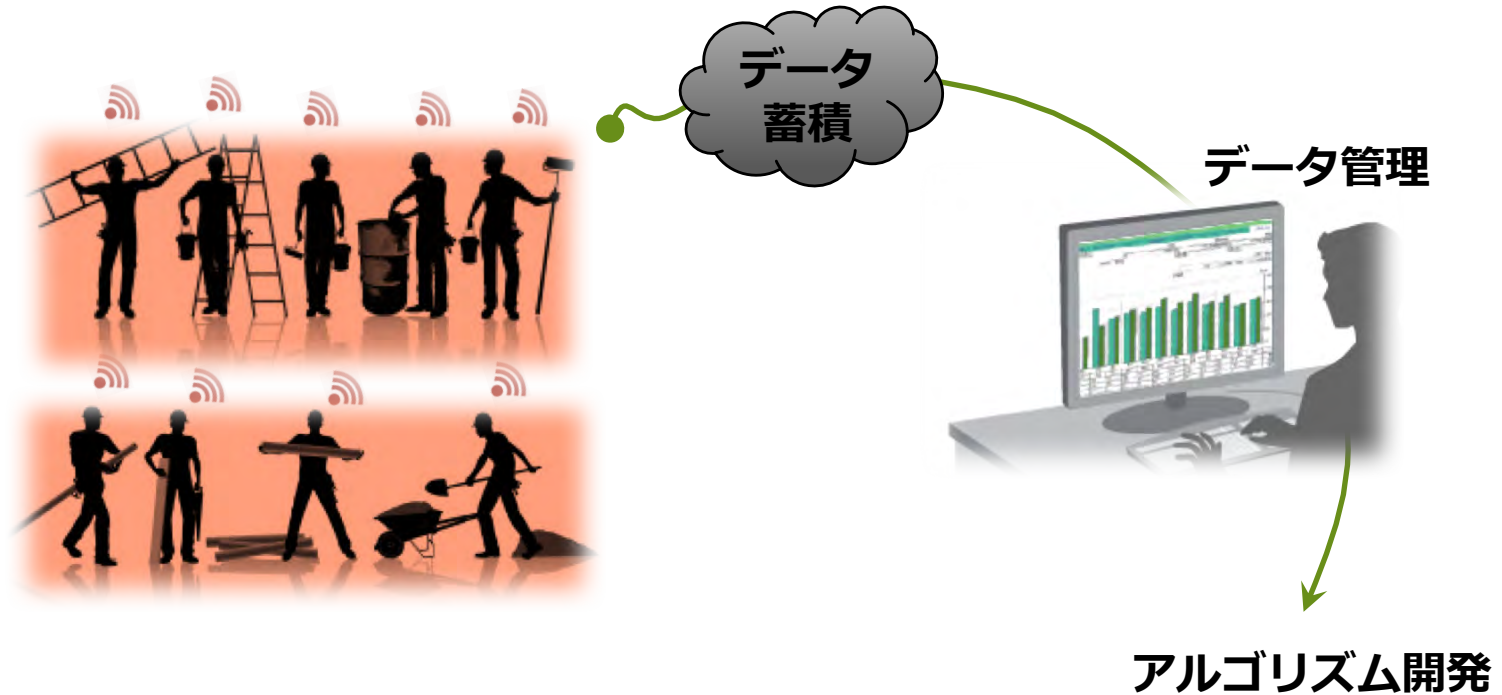


電解質・糖・乳酸塩
センサー



5. 作業者の生体モニターの展望

● 生体情報モニターの研究開発イメージ



1. 現場での生体情報データの蓄積
2. 作業者のバックグラウンド（健康診断等の情報）とリンク
3. 熱中症発症や暑熱疲労との関連性を見出し、作業中の状態から予知するシステム開発



5. 作業者の生体モニターの展望

- 現状のウェアラブル機器では、熱中症を予知することは難しく、**深部体温をモニターする機器**の開発が必須である。
- 作業中の深部体温、脱水状態、心拍数、および作業強度の**データを収集・解析し、予知するシステムを開発**するには、多大な時間とコストがかかる。
- 熱中症発症における**中枢（脳）メカニズム**の全貌が明らかになると、**薬を使って予防**するような未来も否定できない。