

電波ばく露による ストレス応答マーカーの変動 —ラットばく露実験成果ご報告—

R1-R4 総務省受託研究

電波ばく露の温熱閾値に及ぼす年齢及び環境諸条件に関する研究

名古屋工業大学・久留米大学・佐賀大学（松本）

背景：「ストレス応答」は生命を保つのに必須のシステム

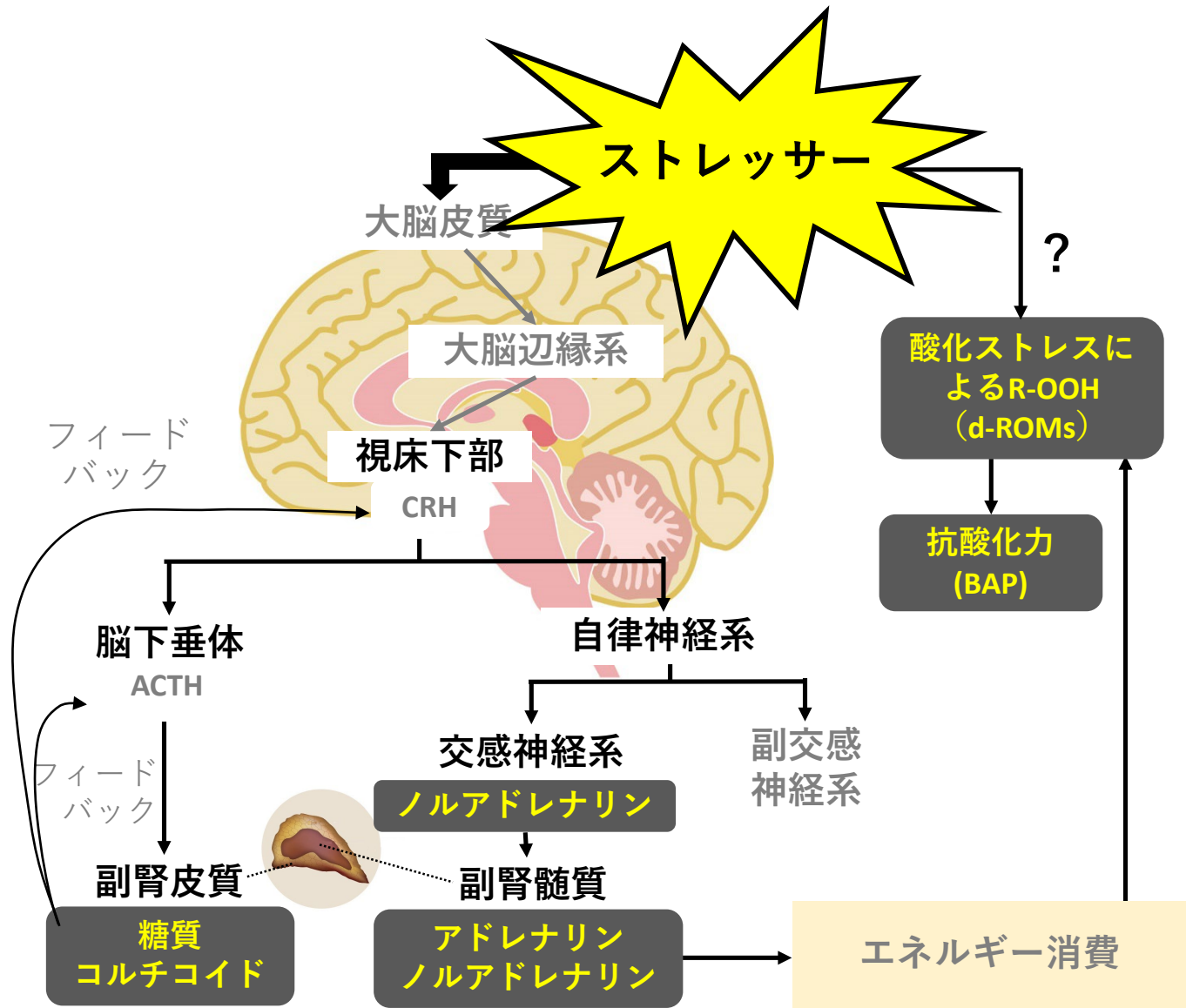


- ✓ 緊張状態を保つ
- ✓ 脈拍や血圧を上昇させる
- ✓ 脳を覚醒させる
- ✓ 血糖値を上げる
- ✓ 脂肪を分解してエネルギーを補給



- ✓ 皮膚の血管を開きやすく
- ✓ 汗をかきやすく
- ✓ 汗をさらさらに
- ✓ 塩分を失いにくく

背景：「ストレス応答」を伝えるもの



背景：「ストレッサー」は善か悪か？

ストレッサー

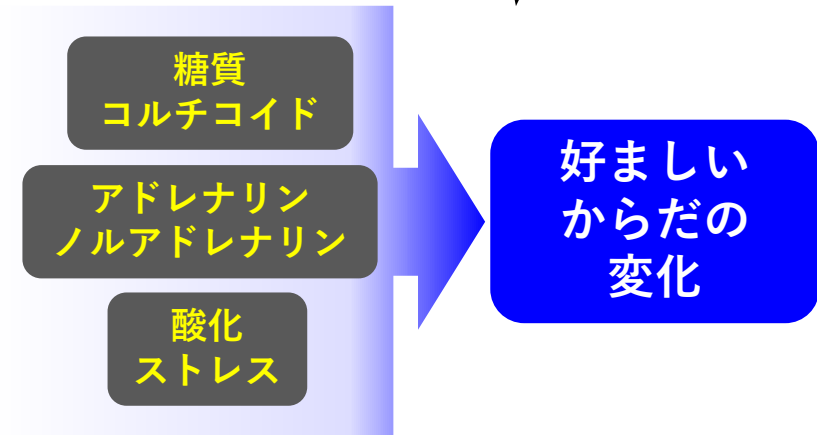
好ましいストレッサー

- 比較的短時間
- 適度な強度
- ストレスの後に休養がある

例 1) 適度な運動

例 2) 適度な温浴

例 3) 適度な心理ストレス



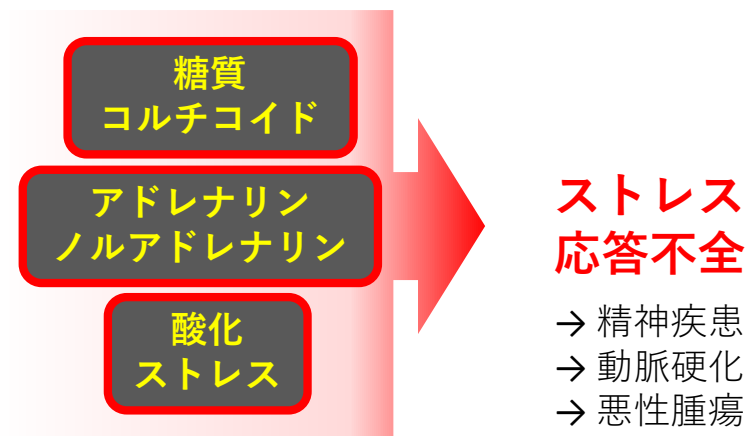
好ましくないストレッサー

- 長時間
- 強度が強すぎる
- 休養を挟まない

例 1) 保護者による子供の虐待

例 2) 過重労働

例 3) 急激な環境の変化



背景：ストレス応答マーカーの測定

糖質
コルチコイド

アドレナリン
ノルアドレナリン

d-ROMs
BAP



佐賀大学医学部
Faculty of Medicine, Saga University



ストレス応答マーカーを測定する目的二つ

本研究

1. ストレッサーを身体がどのように感知するか
「見える化」
(健康な動物から得られた検体を測定)
2. ストレス応答不全の評価

目的：

5Gシステムで用いられる準ミリ波（MMWと略します）がどのようなストレスカーか、ストレス応答マーカを用いて検証する

- ストレス応答のパターンを調査
- 熱的影響で説明できるか考察
- 暑熱環境の重なりが影響するか調査
- 深部体温 1°C 上昇と関連するか考察

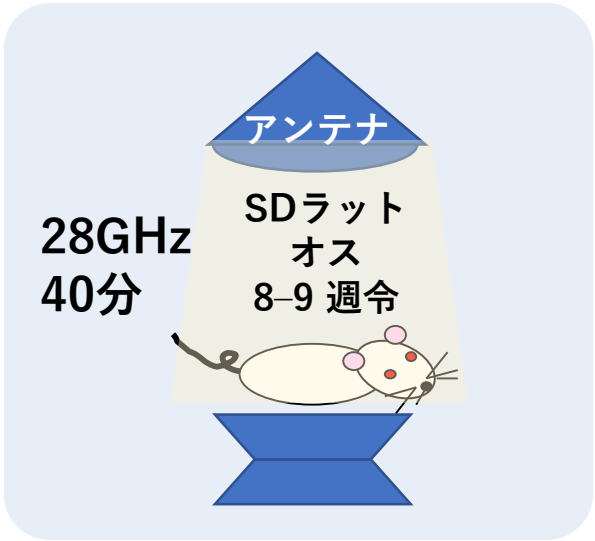
方法：ばく露実験

表1. MMW 曝露条件

	温度	湿度	全身平均SAR (W/kg bodyweight)
通常	≈22.5℃	45–55%	0/ 3.7/ 7.2
暑熱	≈32℃	≈70%	0/ 3.7

表2. 検体採取のタイミング

	尿 • カテコルアミン • 糖質コルチコイド	血清 • 糖質コルチコイド • 酸化ストレス度
1–3日前	△	○
直前	△	○
直後	△	○
1–3時間	△	○
1–3日後	×	○



方法：繰り返し測定を考慮した混合モデル
(ランダム効果含む多重線形回帰モデル)

- アウトカム①-③ 遊離カテコルアミン3種類 (ログ変換)
- アウトカム④ 遊離コルチコステロン
- アウトカム⑤⑥ 酸化ストレス指標2種類 (ログ変換)

ランダム効果

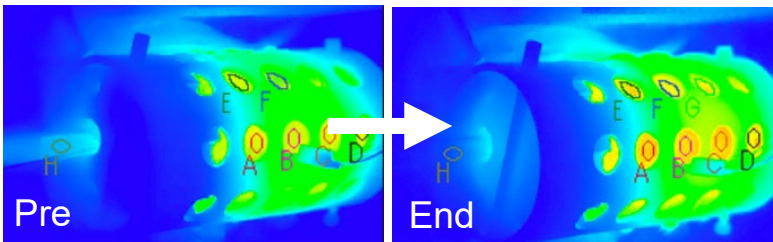
- 繰り返し測定
- 動物ID
- 動物購入時期

固定効果

- 事前馴化あり
 - 検体採取時間が14:00より後
 - 実験1-3日前
 - 直前
 - 直後
 - 実験1-3時間後
 - 実験1-3日後
- MMW、暑熱に拘らない
実験の影響
拘束ストレス含む
- 実験直後 × MMW
 - 1-3時間後 × MMW
 - 1-3日後 × MMW
- MMWの影響
- 実験直後 × 暑熱
 - 1-3時間後 × 暑熱
 - 1-3日後 × 暑熱
- 暑熱の影響

結果：体温

0 W/kg



7.2 W/kg

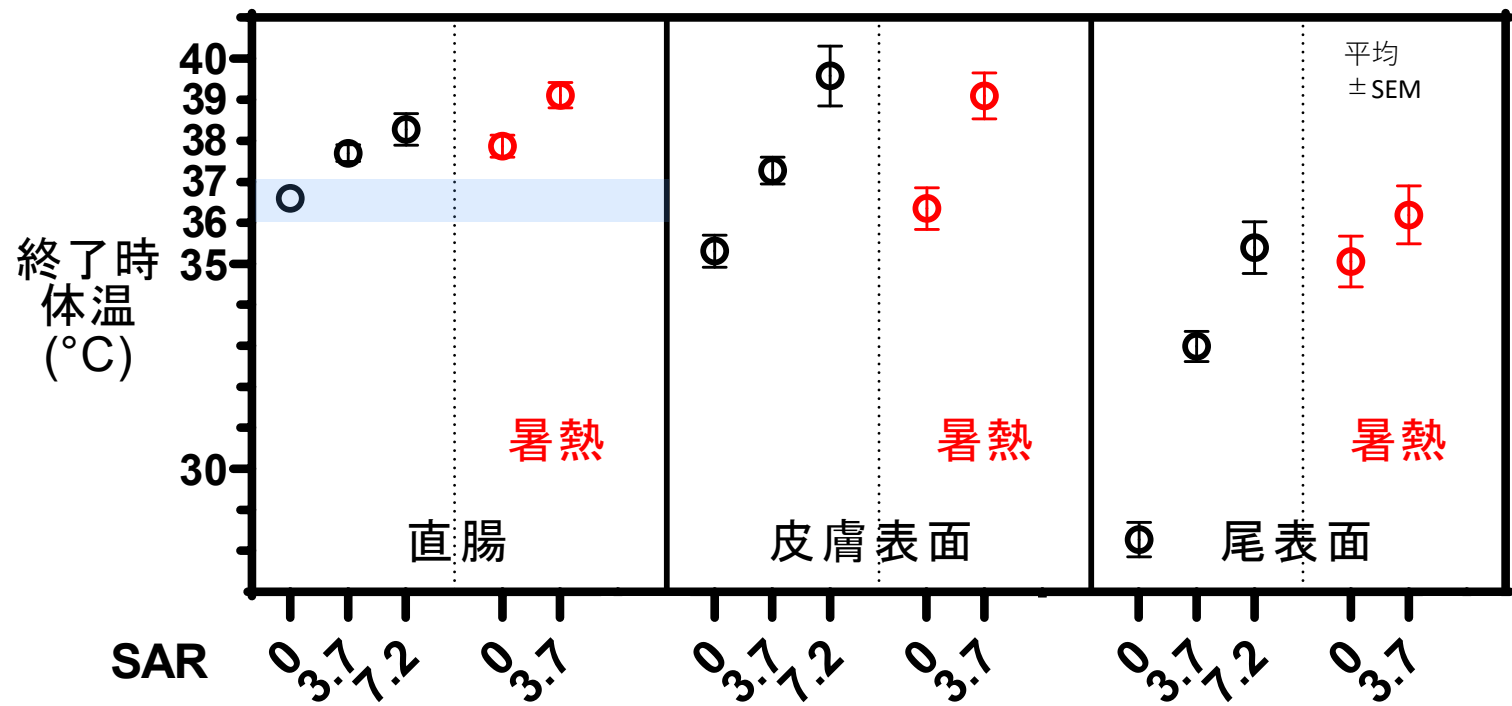
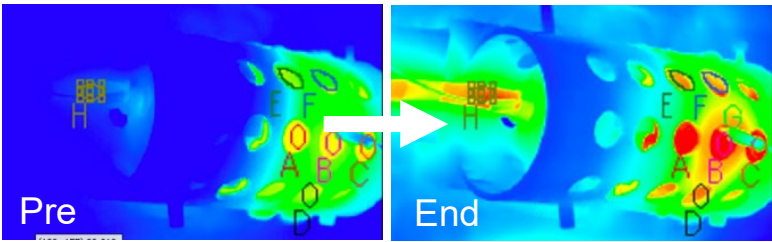
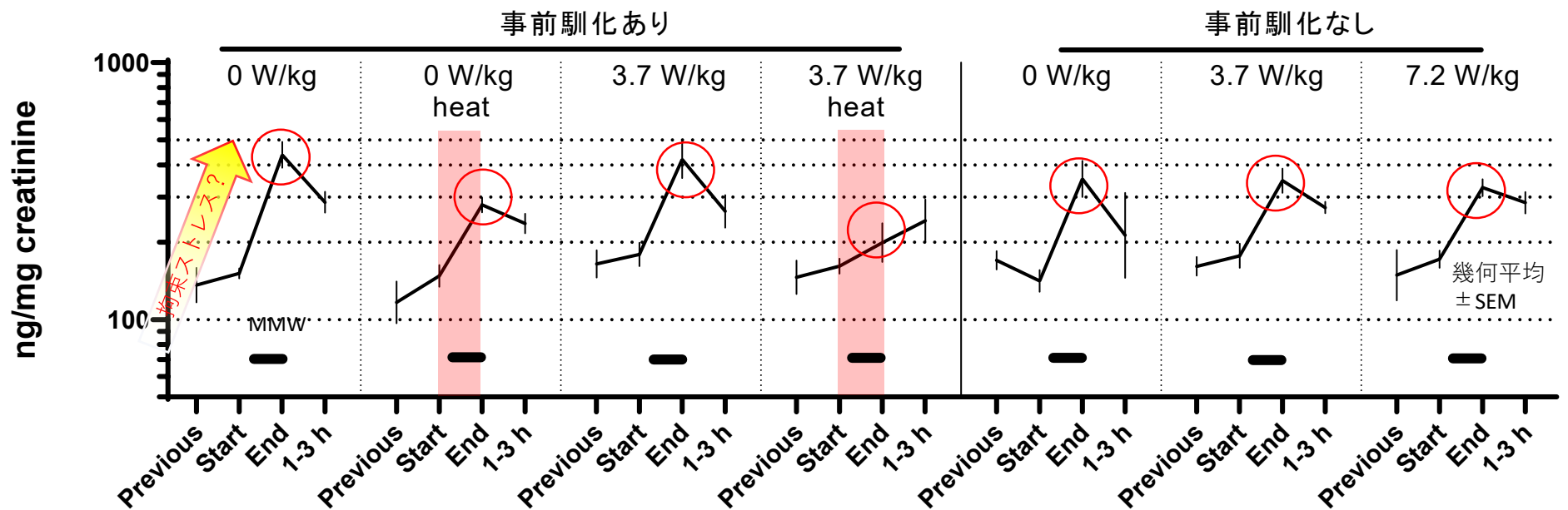


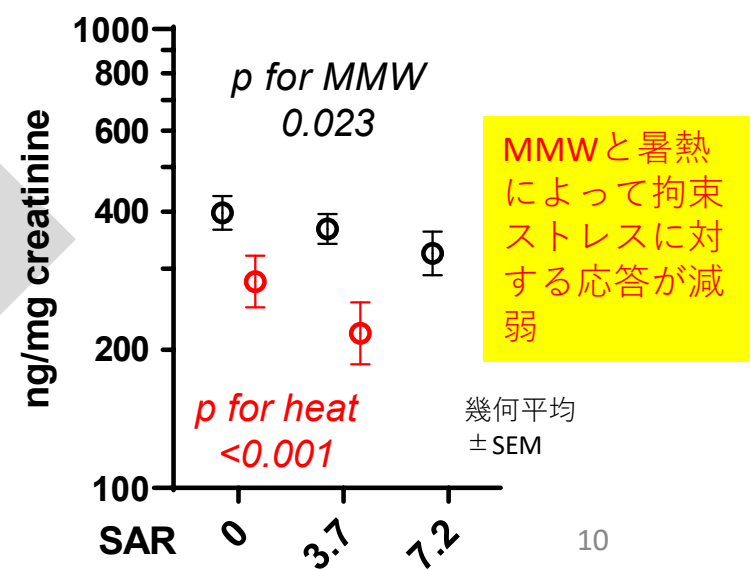
図1. ばく露終了直後のラット体温 データベースを統合し多変量調整平均値を算出

結果：尿中 遊離ノルアドレナリン

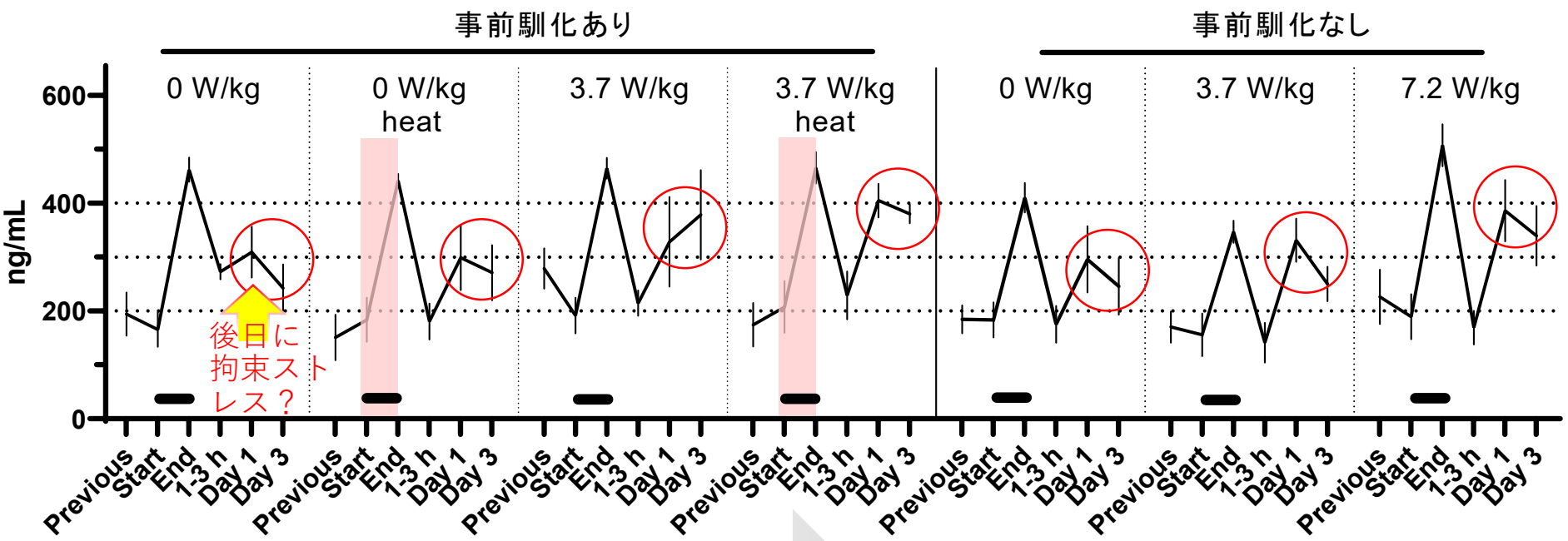


直後値に
MMW の影響あり
($p = 0.023$)
暑熱の影響あり
($p = 0.001$)

全データ統合して
(多変量調整平均値を算出)
直後値のみプロット

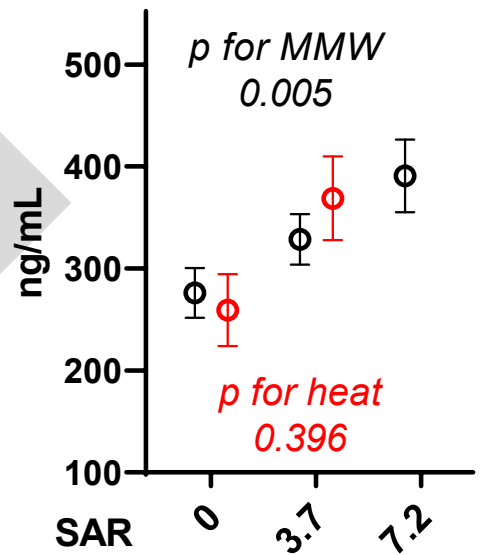


結果：血中 遊離コルチコステロン



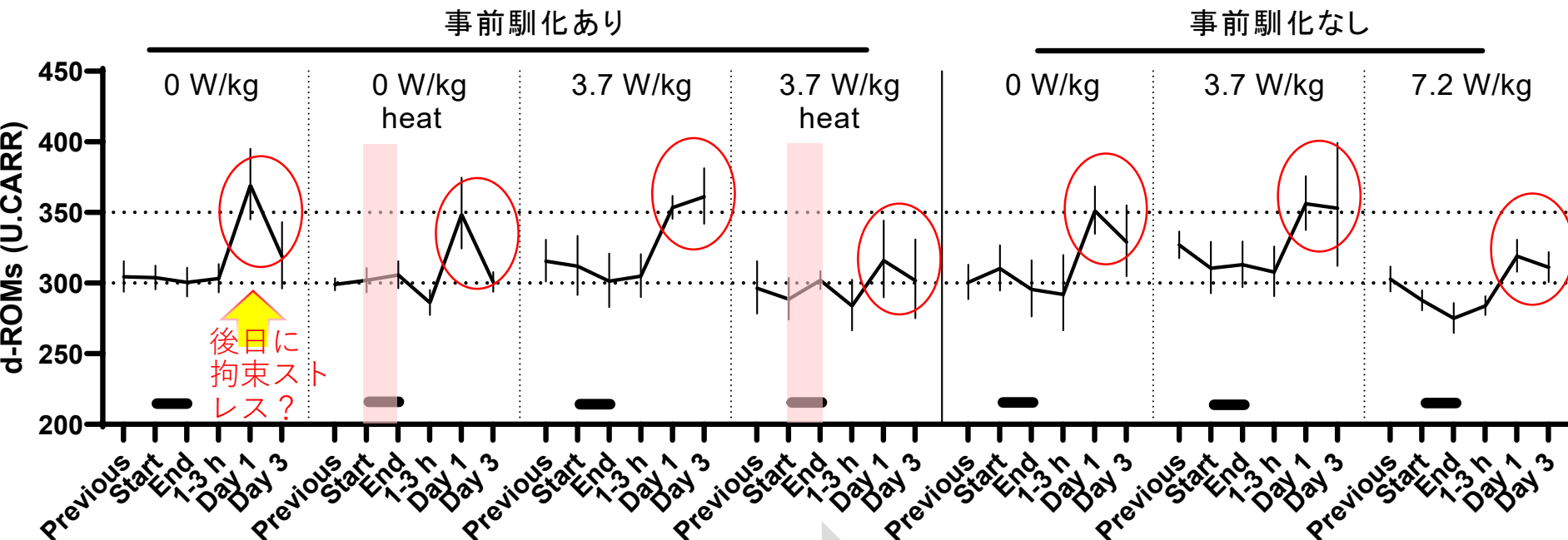
後日値に
MMW の影響あり
($p = 0.005$)
暑熱の影響なし

全データ統合して
(多変量調整平均値を算出)
後日値のみプロット



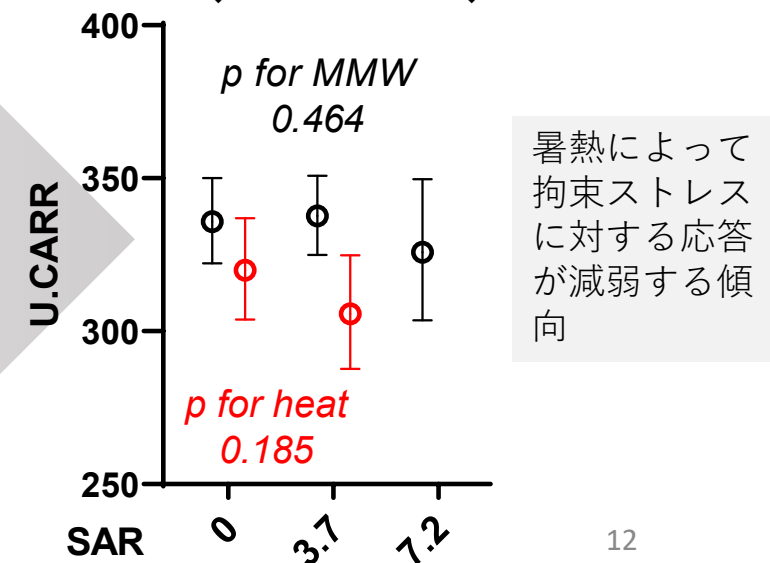
MMWによっ
て拘束スト
レスに対する応
答が増加

結果：血清d-ROMs（酸化ストレス度）



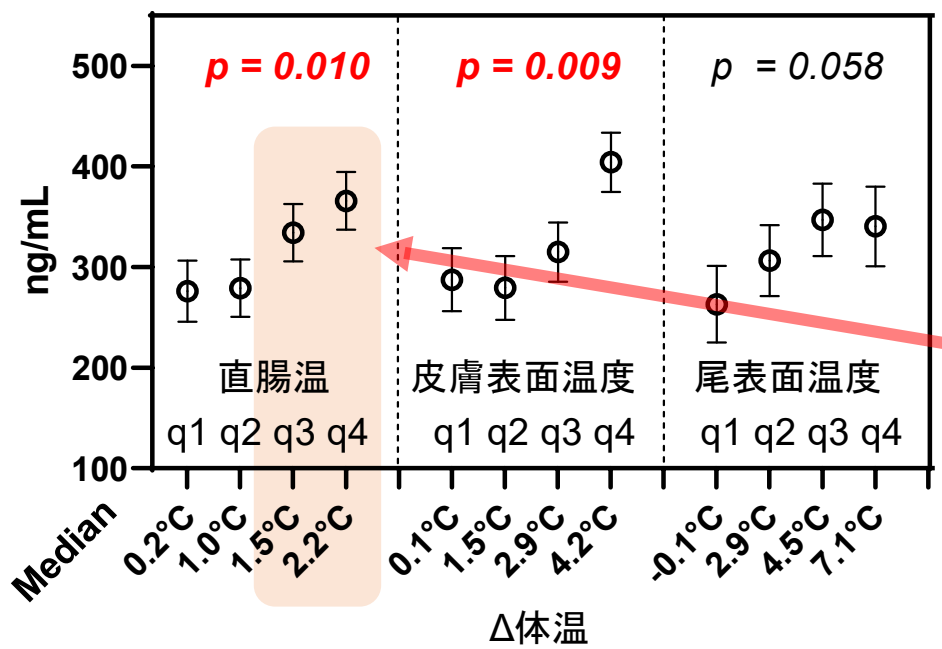
MMW の影響なし
暑熱の影響なし

全データ統合して
多変量調整平均値を算出
後日値のみプロット



結果：体温とストレス応答マーカーの関連

- **尿中ノルアドレナリン**の直後値に見られたストレス応答は、実験終了時の尾表面温度が低い群で弱い
- **血中コルチコステロン**の後日値に見られたストレス応答は、ばく露により生じた温度変化が1°Cを超える群で強い
- **d-ROMs**の後日値に見られたストレス応答は実験終了時の直腸温や尾表面温度が低い群で弱い



直腸温度の変化が1°Cを超えるグループ(q3とq4)でコルチコステロンの後日値が高い

体温変化(4分位) vs 血中遊離コルチコステロン(後日値)

電波ばく露による ストレス応答マーカーの変動 —ラットばく露実験成果ご報告

結果と考察

- ✓ 「拘束ストレスに対するストレス応答」に対し、MMWと暑熱の影響がみられる場合がある。
- ✓ ばく露量をコントロールするため、「拘束ストレスに対するストレス応答」が生じ、MMW単独の影響は検証できなかった
- ✓ 体温との関連から、主たる要因が熱であることが推測される
- ✓ 暑熱環境により深部体温の 1°C 上昇への到達が早くなる
- ✓ ICNIRPガイドラインの「深部体温の 1°C 上昇に対応する高周波電磁界ばく露レベルとして、30分間にわたる平均で 4 W/kg 」が、MMWにおいても妥当であることがストレス応答マーカーから裏付けられた