



# スポーツ活動中の暑熱・脱水対策



大阪市立大学

都市健康・スポーツ研究センター

医学研究科 運動環境生理学

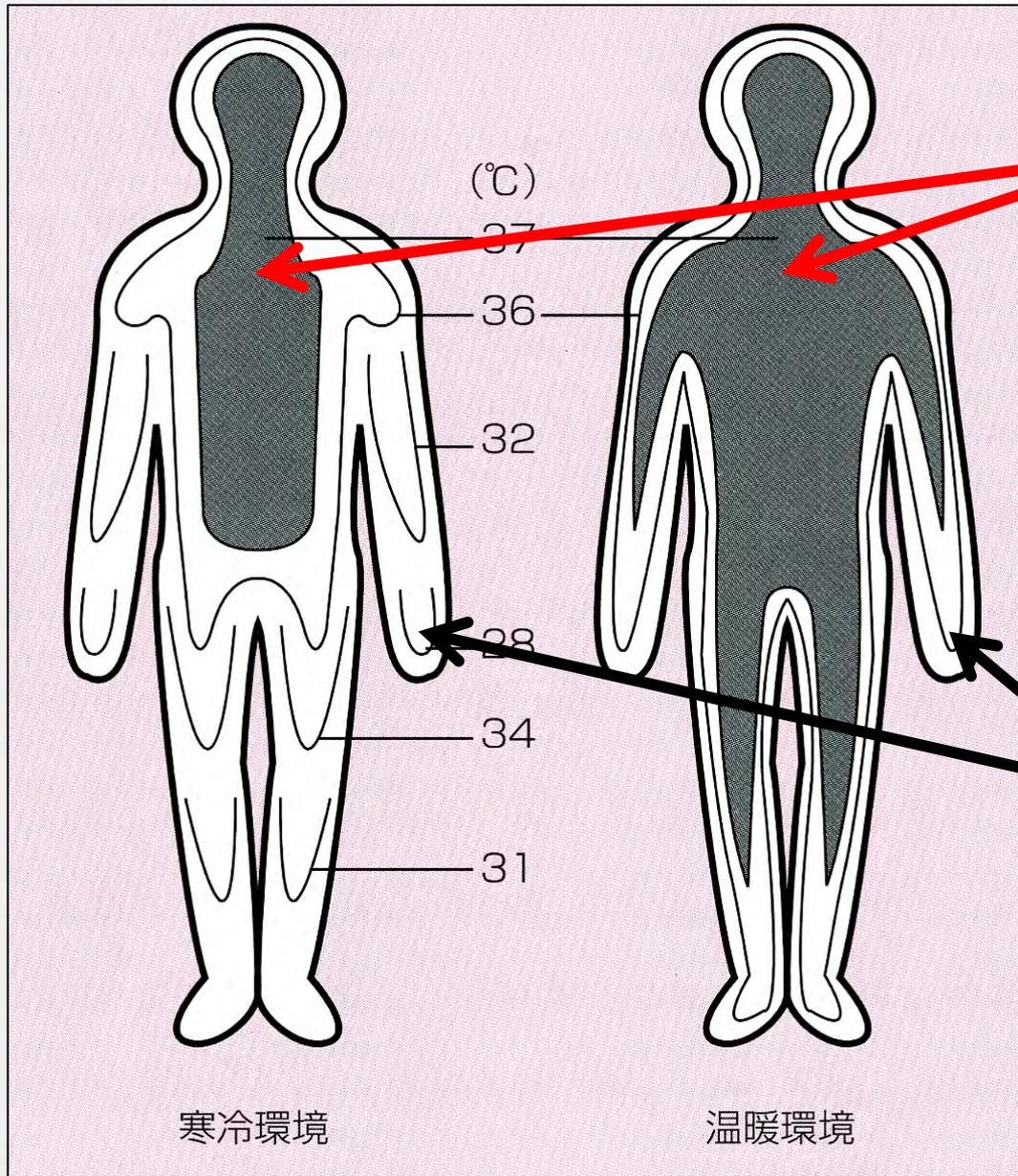
健康科学イノベーションセンター

岡崎 和伸

OSAKA CITY UNIVERSITY



# “体温”って？



**深部温  
(核心温)**

**皮膚温  
(表面温)**



# 体温(深部温)は熱の産生・放散・負荷で決まる



ヒトの身体の中では、いつも熱が作られています(産熱)

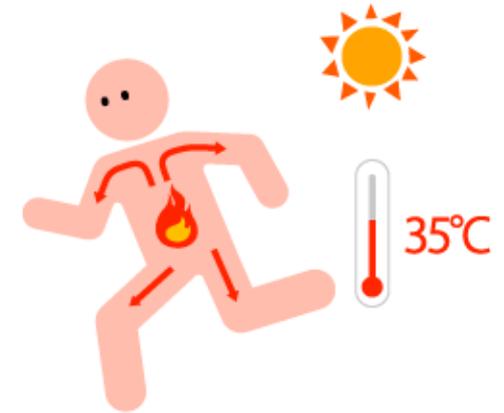


この熱を身体の外に逃がすことで(放熱)  
体温は36~37℃に保たれています

熱産生 > 熱放散 = 体温 ↑    熱産生 < 熱放散 = 体温 ↓



しかし、運動など身体を活発に動かすと  
筋肉でたくさんの熱が作られ、体温は上がります



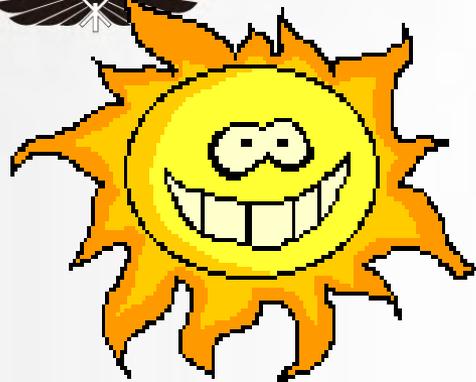
また、たとえ活発に身体を動かさなくても、暑いところにいたり  
日差しや照り返しで体温が上がる場合があります

運動で消費するエネルギーの約80%は熱になる

暑熱環境では体外から体内へ熱が負荷(暖められる)

熱中症からカラダを守ろう、大塚製薬 : <https://www.otsuka.co.jp/health-and-illness/heat-disorders/>

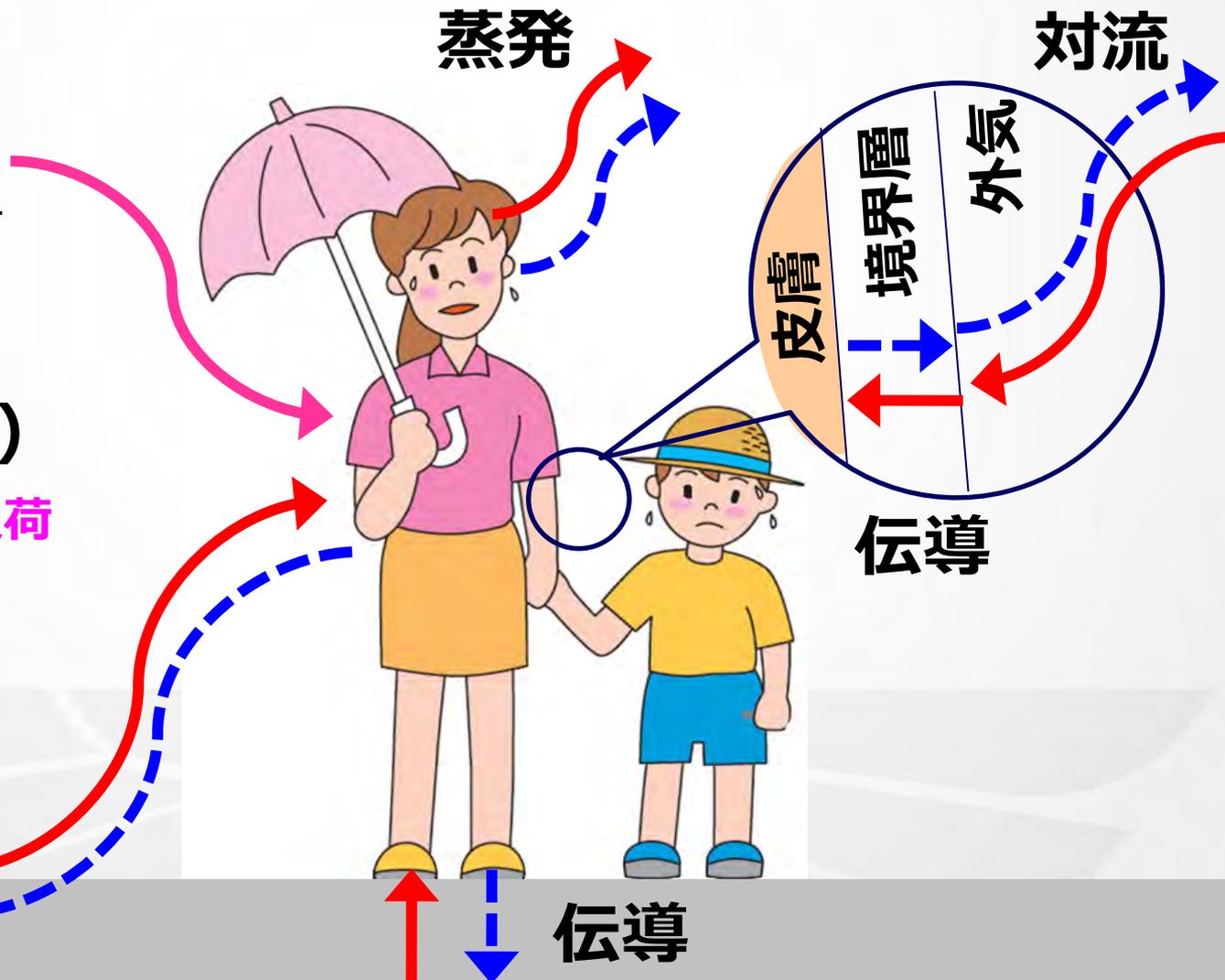
# 環境と身体の熱の移動



太陽からの  
放射（輻射）

気温に関わらず熱負荷

地面からの  
放射（輻射）



伝導

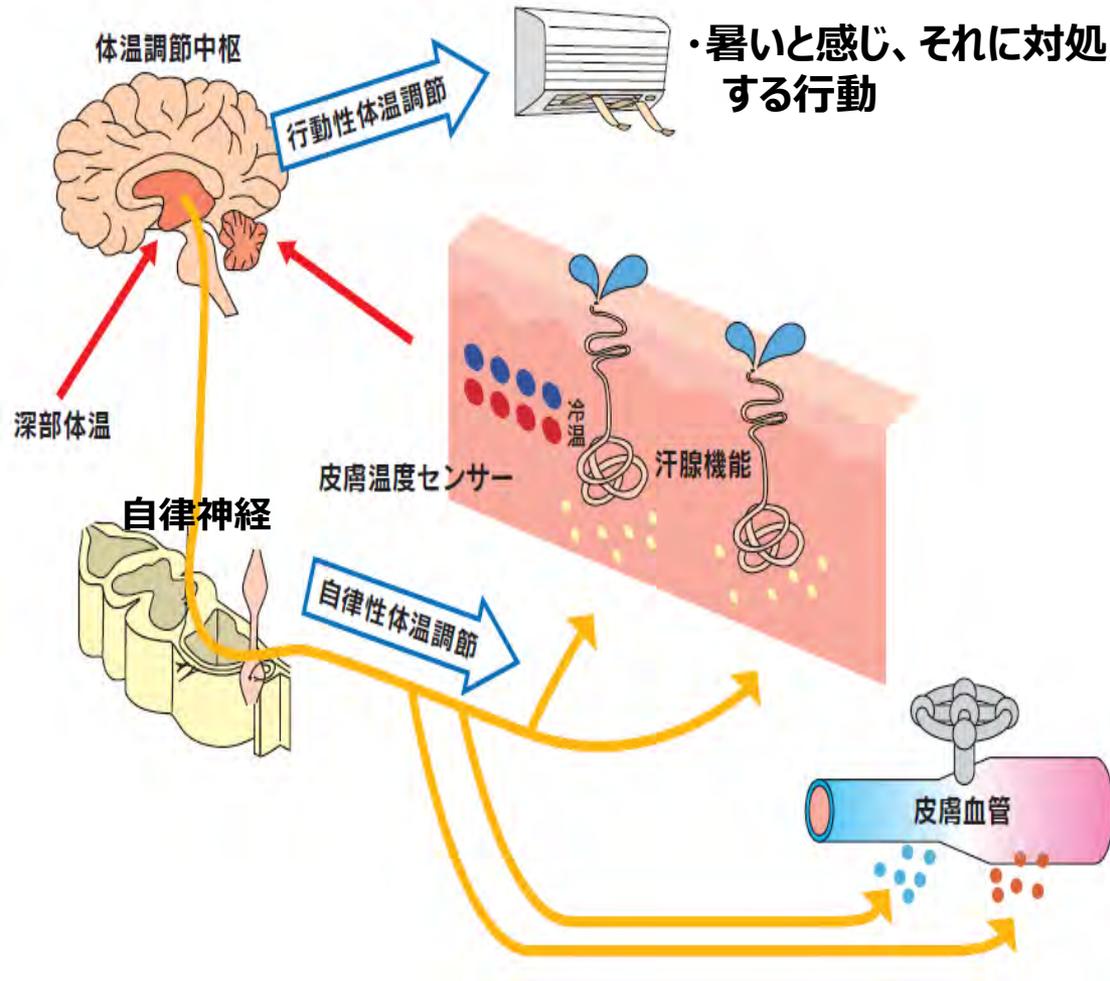
—→ 環境温 < 皮膚温（外気温、約33℃以下）：常に熱放散

—→ 環境温 > 皮膚温（外気温、約33℃以上）：常に熱負荷、熱放散は蒸発のみ



# 暑熱環境における体温調節

UNIVERSITY



熱中症環境保健マニュアル2018より作成

自律性体温調節機能は、

- ・脱水によって減弱する
- ・暑熱順化トレーニングで向上する

## 発汗



著しく体温が上昇する時には汗をかくことでも体内の熱を外に逃がします

- ・蒸発による熱放散を増加
- ・気温に関わらず熱放散できる
- ・蒸発しなければ熱放散しない
- ・湿度が高いほど熱放散しにくい

## 皮膚血管拡張



体温が上がると、身体の表面(皮膚の下)に流れる血液の量が増えて体内の熱を身体の外に逃がしやすくなります

- ・伝導・対流・放射による熱放散を増加
- ・気温が高いほど熱放散しにくい
- ・気温33°C以上ではほとんど無効



# 気温・湿度だけでなくWBGTを把握しよう

**WBGT（湿球黒球温度）：Wet Bulb Globe Temperature**

- ・「暑さ指標」
  - ・熱中症を予防のため1954年にアメリカで提案された指標
  - ・単位は気温と同じ摂氏度（℃）で示される
  - ・人体と外気との熱のやりとり（熱収支）に着目した指標
- ①気温、②湿度、③日射・輻射の3つを取り入れた指標

暑さ指数  
(WBGT)

=



1

温度の効果

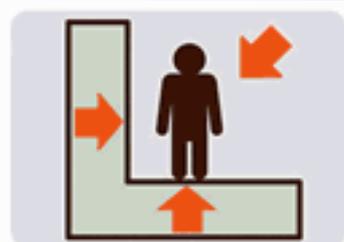
:



7

湿度の効果

:



2

輻射熱の効果

熱中症環境保健マニュアル2014より作成

WBGT（屋外） =  $0.1 \times \text{乾球温度} + 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度}$

WBGT（屋内・日射なし） =  $0.7 \times \text{湿球温度} + 0.3 \times \text{黒球温度}$



# WBGTを考慮して暑熱対策を！

UNIVERSITY

## 熱中症予防運動指針

日本スポーツ協会「スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック」

WBGT ℃	湿球温度 ℃	乾球温度 ℃	運動は 原則中止	特別の場合以外は運動を中止する。特に子どもの場合には中止すべき。
31	27	35	<b>厳重警戒</b> (激しい運動は中止)	熱中症の危険性が高いので、激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。10～20分おきに休憩をとり水分・塩分を補給する。暑さに弱い人※は運動を軽減または中止。
28	24	31	<b>警戒</b> (積極的に休憩)	熱中症の危険が増すので、積極的に休憩をとり適宜、水分・塩分を補給する。激しい運動では、30分おきくらいに休憩をとる。
25	21	28	<b>注意</b> (積極的に水分補給)	熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。
21	18	24	<b>ほぼ安全</b> (適宜水分補給)	通常は熱中症の危険は小さいが、適宜水分・塩分の補給は必要である。市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。



- 1) 環境条件の評価にはWBGT（暑さ指数とも言われる）の使用が望ましい。
  - 2) 乾球温度（気温）を用いる場合には、湿度に注意する。湿度が高ければ、1ランク厳しい環境条件の運動指針を適用する。
  - 3) 熱中症の発症のリスクは個人差が大きく、運動強度も大きく関係する。運動指針は平均的な目安であり、スポーツ現場では個人差や競技特性に配慮する。
- ※暑さに弱い人：体力の低い人、肥満の人や暑さに慣れていない人など。



# WBGTを考慮して暑熱対策を！

UNIVERSITY

環境省 熱中症予防情報サイト: <http://www.wbgt.env.go.jp/>

English | 中文简体 | 中文繁体 | 한국어 | 모바일版 | 携帯版



## 熱中症予防情報サイト

ホーム 全国の暑さ指数 熱中症警戒アラート 暑さ指数について 熱中症対策 普及啓発資料 関係府省庁の取組

お知らせ一覧 | メンテナンス情報 | お問い合わせ [平日9:00~17:00] TEL:045-450-5833

### お知らせ

令和3年度の暑さ指数（WBGT）の情報提供を、4月28日（水）より開始いたします。  
実施期間は10月27日（水）までの予定です。今年度より新たに開始する熱中症警戒アラート、及び熱中症警戒アラートのメール配信サービス、また暑さ指数のメール配信サービス、及び電子情報提供サービスについても、同じ期間ご利用になれます。

### トピックス

#### 新しい生活様式と熱中症予防

新しい生活様式における熱中症予防行動  
[詳細はこちら]

#### TOKYO 2020 オリンピック・パラリンピック 競技会場別暑さ指数

東京オリンピック・パラリンピック  
競技会場別暑さ指数  
[詳細はこちら]

### 全国の暑さ指数（実況と予測）



## 暑さ指数（WBGT）の情報提供 2021年4月28日～10月27日

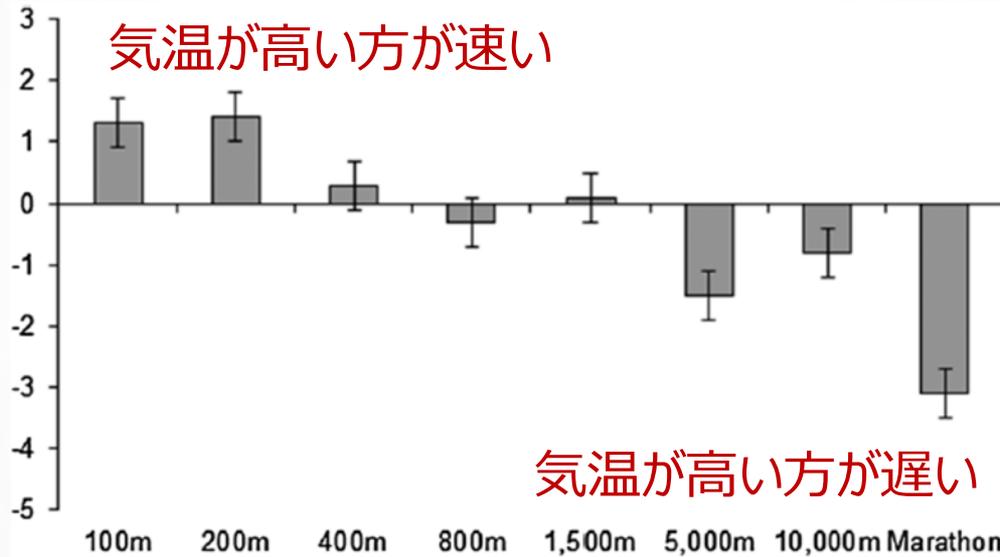
- ① WBGTの実測値（11地点）と実況推定値（829地点）
- ② 今日・明日・明後日の3時間ごとのWBGTの予測値（840地点）
- ③ 熱中症警戒アラート
- ④ 熱中症警戒アラートのメール配信サービス
- ⑤ 暑さ指数のメール配信サービス
- ⑥ 電子情報提供サービス



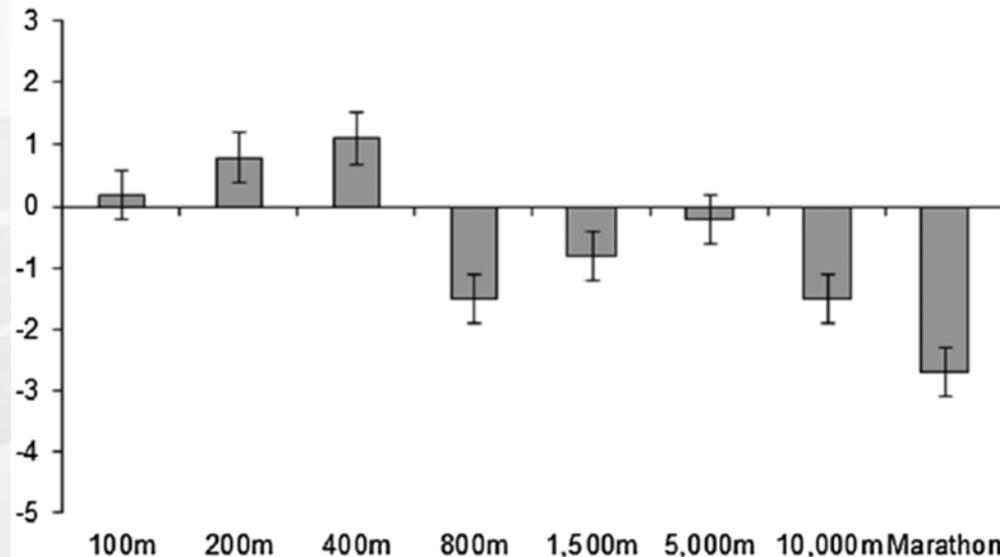
# 気温が競技パフォーマンスに及ぼす影響

パフォーマンス低下率  
25°C以上 vs 25°C未満

男性



女性





# 体温調節に伴う体液・循環調節系への影響

## 蒸散性熱放散

### 発汗



著しく体温が上昇する時には汗をかくことで体内の熱を外に逃がします

**脱水 体液量低下  
体液浸透圧上昇**

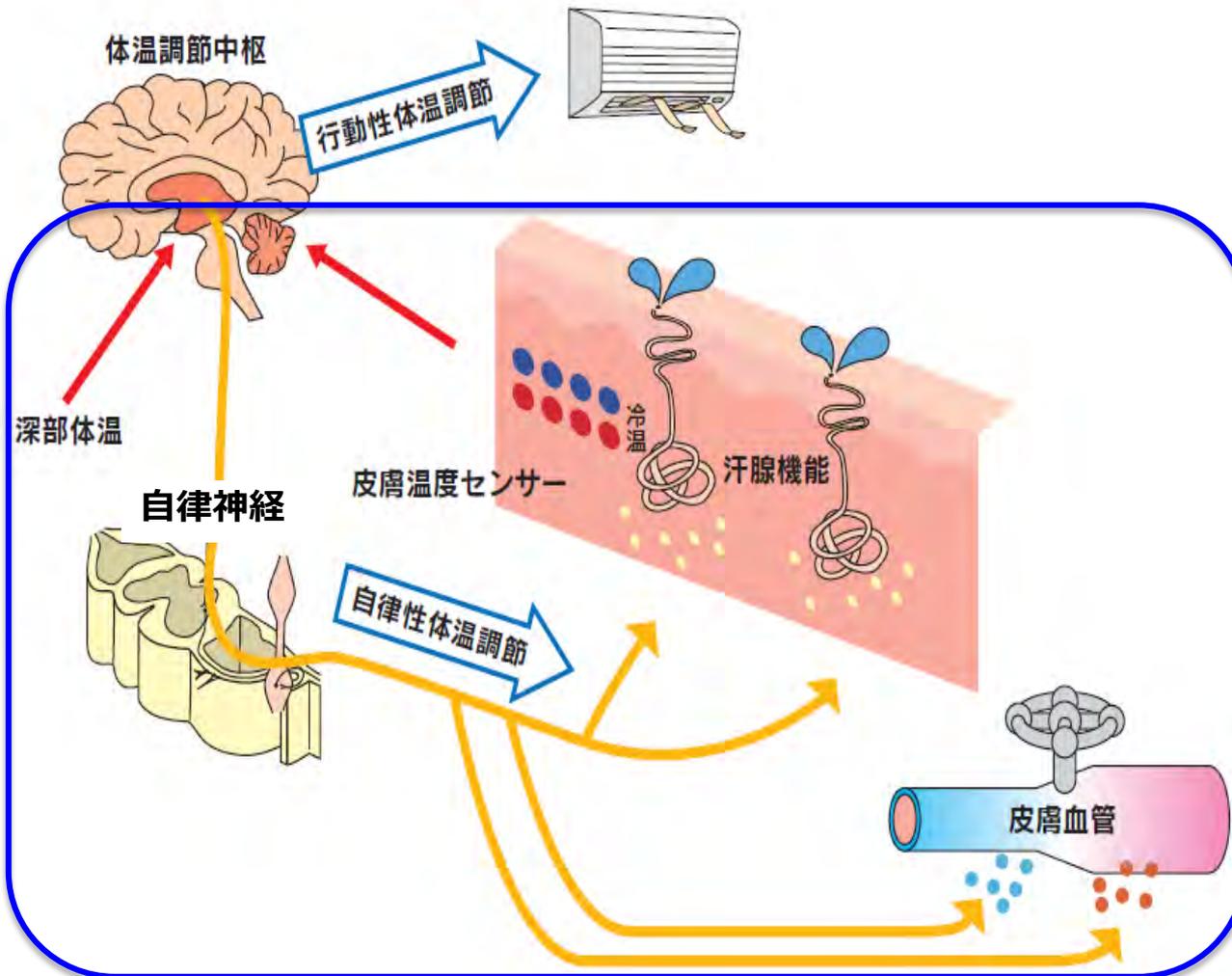
## 非蒸散性熱放散

### 皮膚血管拡張



体温が上がると、身体の表面(皮膚の下)に流れる血液の量が増えて体内の熱を身体の外に逃がしやすくなります

**循環血液量低下**



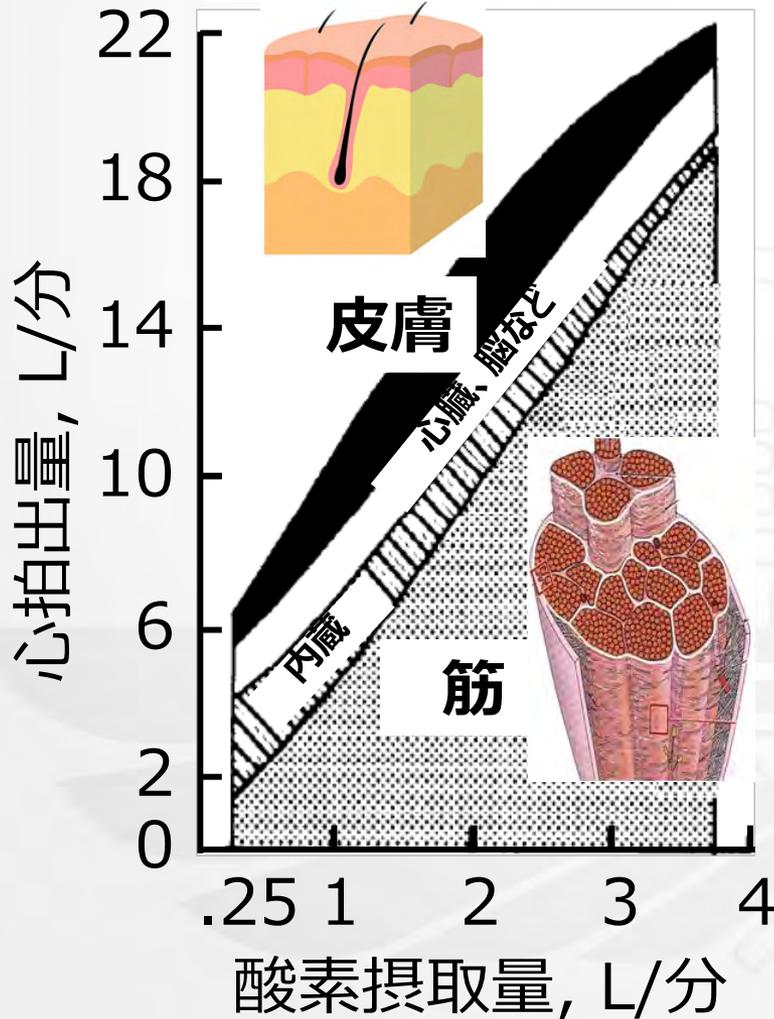
熱中症環境保健マニュアル2018より作成

**➡ 運動パフォーマンス低下・暑熱障害・熱中症**

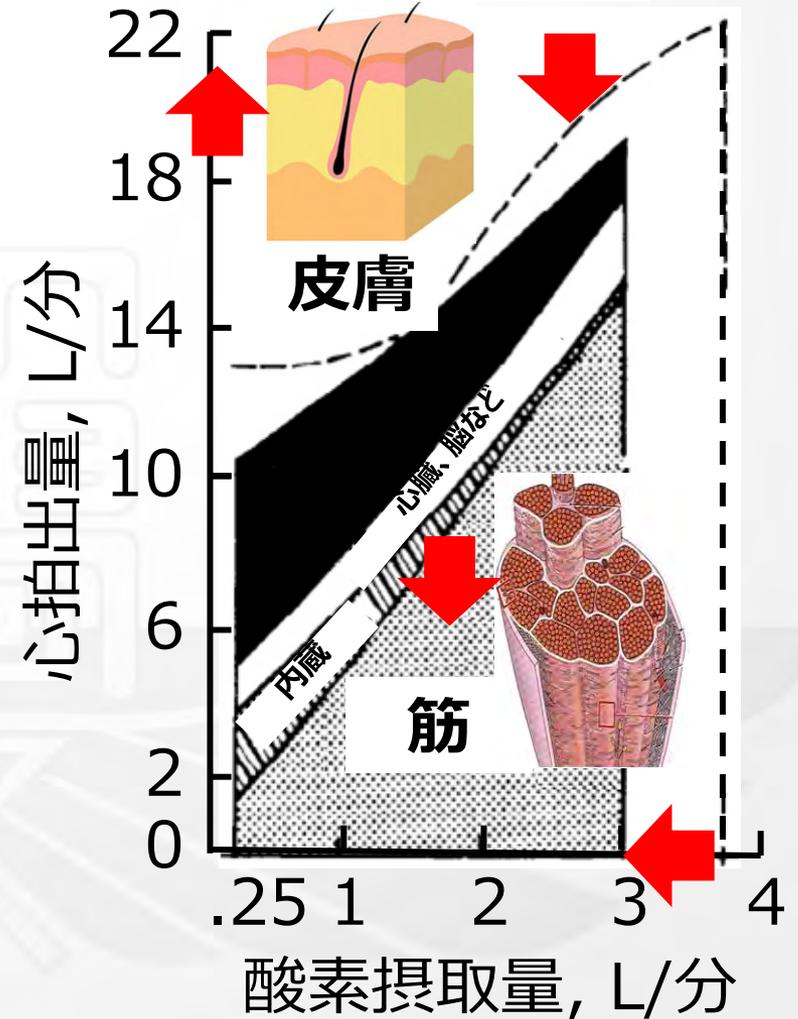


# 温熱環境下運動時の心拍出量と血流配分

## 涼環境



## 温熱環境





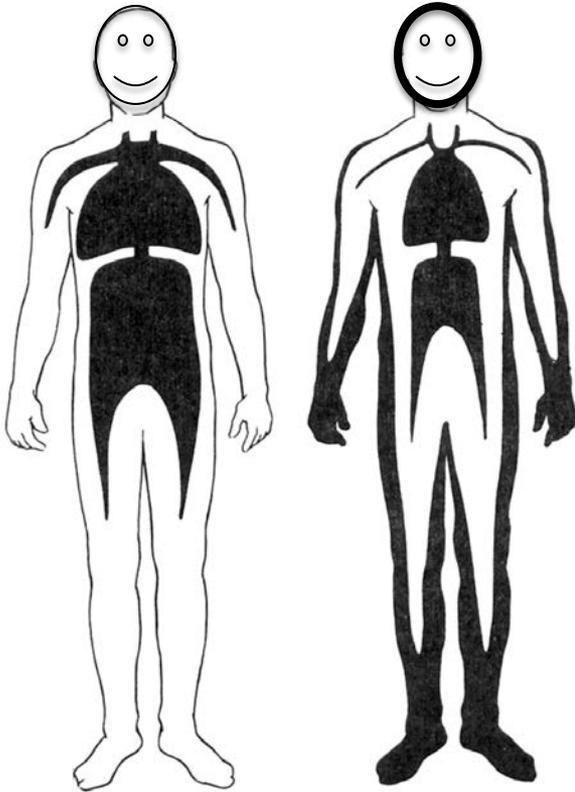
# 暑熱環境下運動時の生理応答

TY UNIVERSITY

## 涼環境 VS 暑熱環境

涼

暑熱



Rowell, 1993より作成

※体温の上昇に伴い

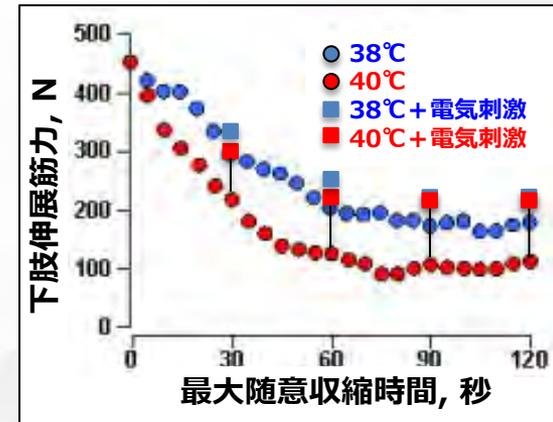
- 換気量が増加  
⇒動脈血CO<sub>2</sub>分圧低下  
⇒脳血管収縮
- 頭部表面血流量が増加  
⇒脳血流量が低下  
(熱失神)  
⇒脳高次機能が低下
- 中枢神経系が抑制  
⇒筋力も低下

- さらに、発汗によって脱水すると…  
これらの生理応答は増悪する！

様々な競技で  
パフォーマンス低下



その時、脳に十分な血液が送られず酸欠状態になり  
めまいや立ちくらみを起こしたり、意識を失うことがあります



Nybo and Nielsen, J Appl Physiol  
91: 1055-1060, 2001より作成



# 熱中症対策の基本

## ✓ 暑さを避ける

気温・湿度・WBGTのチェック

天気予報・注意報のチェック

適切な温度・湿度の管理（エアコンの使用）

日差しを避ける

熱のこもらない服装

## ✓ 無理をしない

初期症状を見逃さない

## ✓ 脱水を避ける

こまめな水分・塩分の補給

## ✓ 体温の上昇を抑える

適切なカラダの冷却

## ✓ 暑さに慣れる



# 熱中症の初期症状を知ろう！

- めまい・顔色が悪い・失神
- 筋肉痛・筋肉の硬直
- 手足・口のしびれ
- 気分の不快
- 気が遠くなる
- 脈が速い
- 多量の発汗

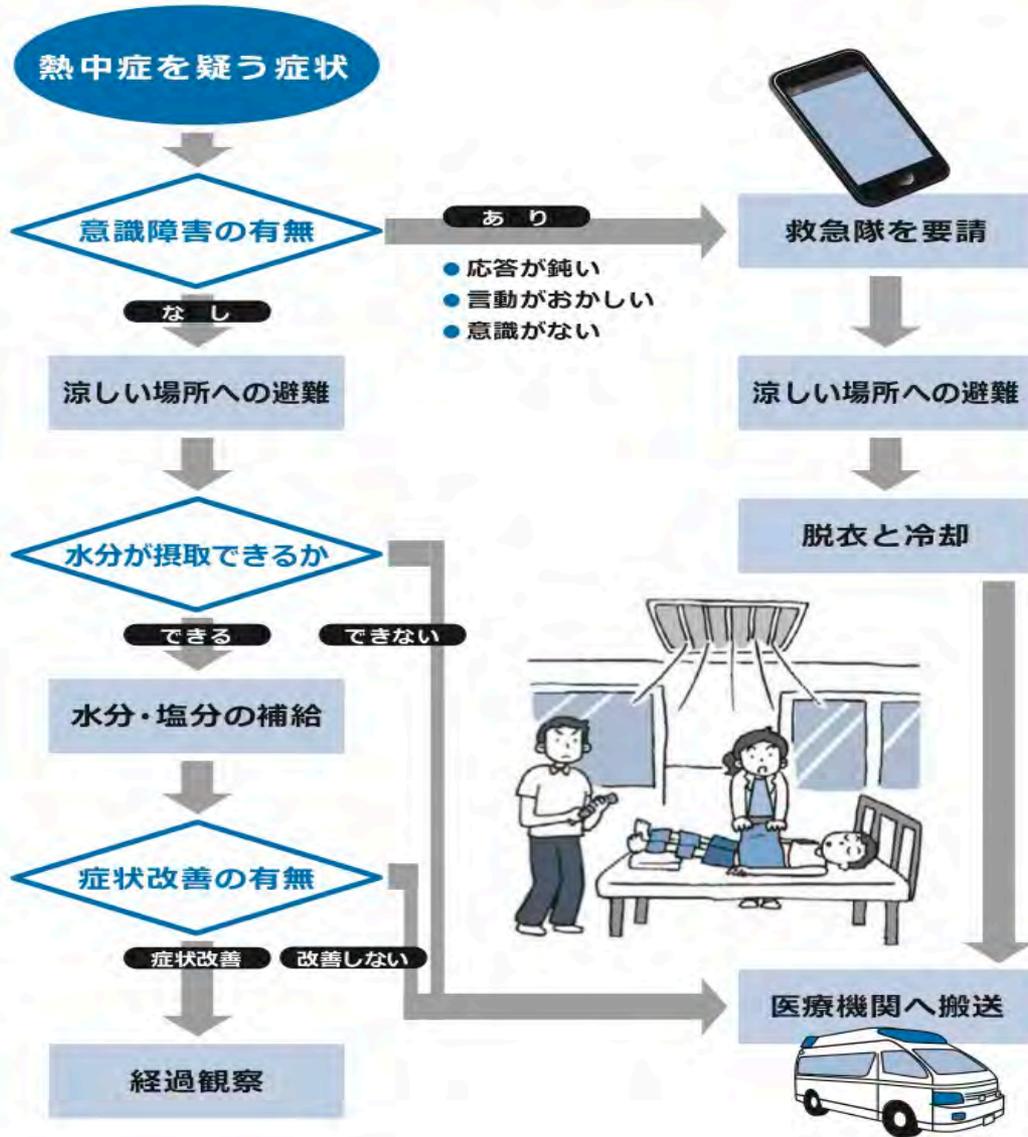


これらの症状があったらすぐに対応



CHECK

# 熱中症になってしまったら





# 現場で可能な方法を組み合わせせて 早急に冷却を開始し、救急隊の到着まで継続

医療スタッフが対応可能な場合  
「氷水浴/冷水浴法」



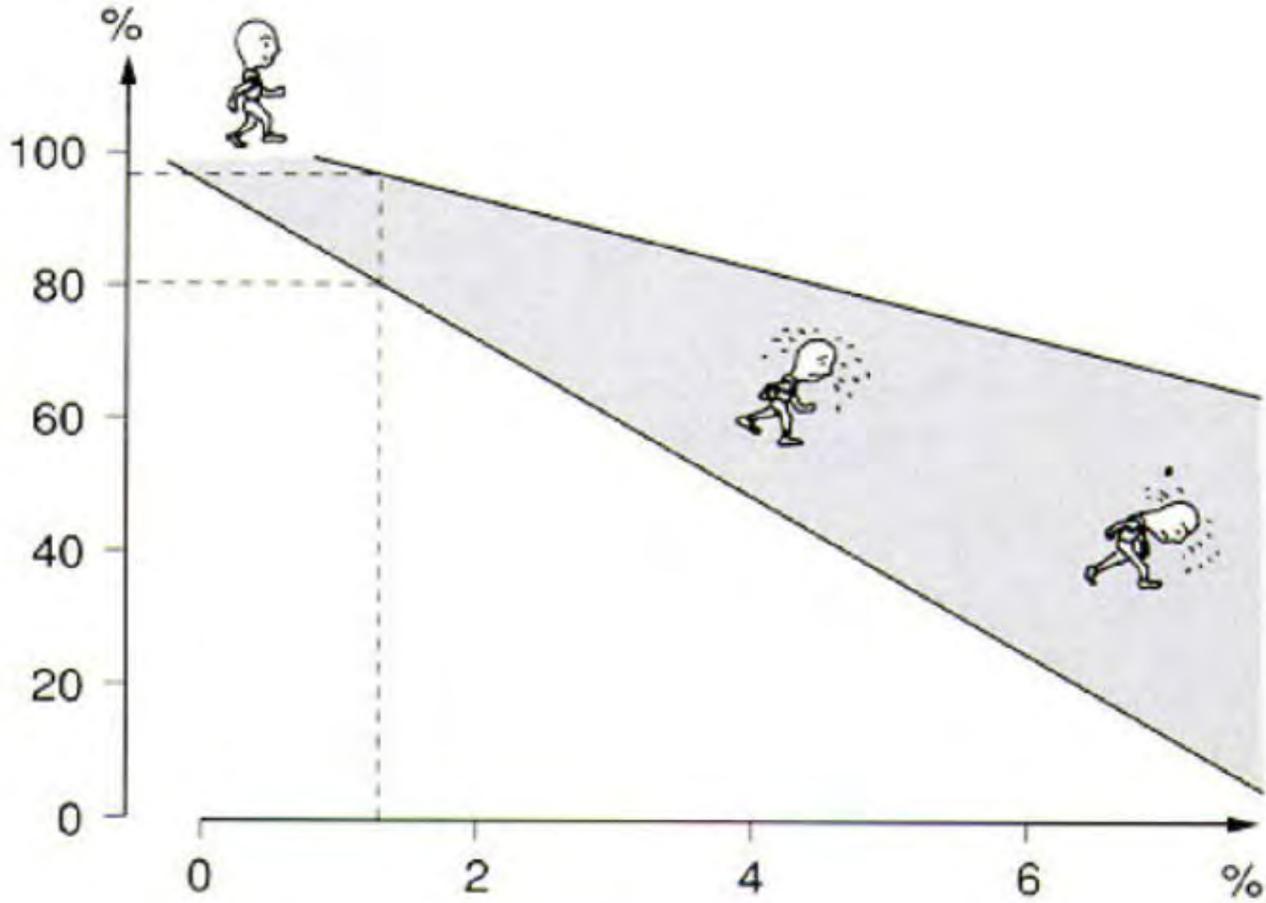
学校や一般のスポーツ現場  
「水道水散布法」

- ・ エアコン(最強)の利いた部屋
- ・ 氷水で濡らしたタオルを全身にのせ  
次々に取り換える
- ・ 扇風機も併用



# 発汗による脱水が2%以上になると 運動パフォーマンスが低下する

パフォーマンスの低下率

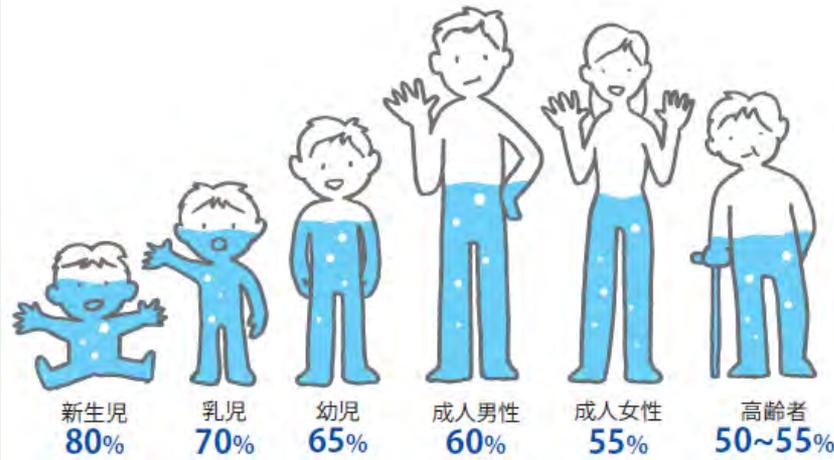


発汗による脱水 (体重減少率)

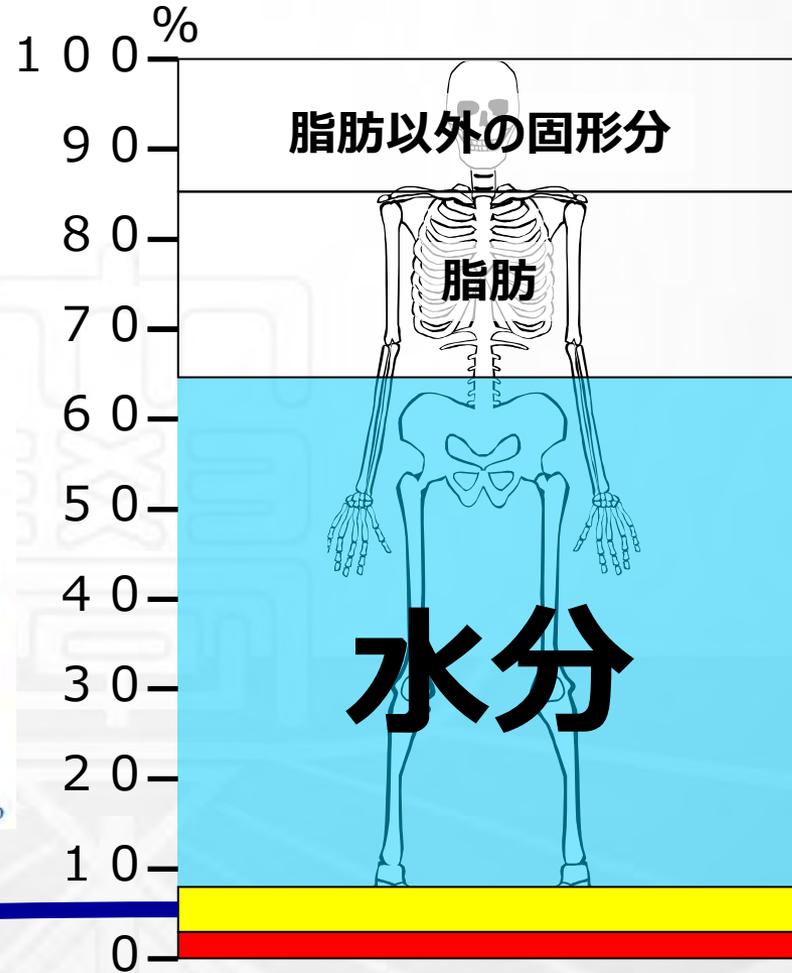


# 体液の量は体重の約何%？

- 1. 40 ~ 50%
- 2. 60 ~ 70%**
- 3. 80 ~ 90%



熱中症環境保健マニュアル2018



血液中の水分（血漿）は体重の約**5%**



# 体液や血漿の塩分濃度は？

1. 約 1 g / 1 L (0.1%)
2. 約 3 g / 1 L (0.3%)
3. 約 6 g / 1 L (0.6%)
- 4. 約 9 g / 1 L (0.9%)**



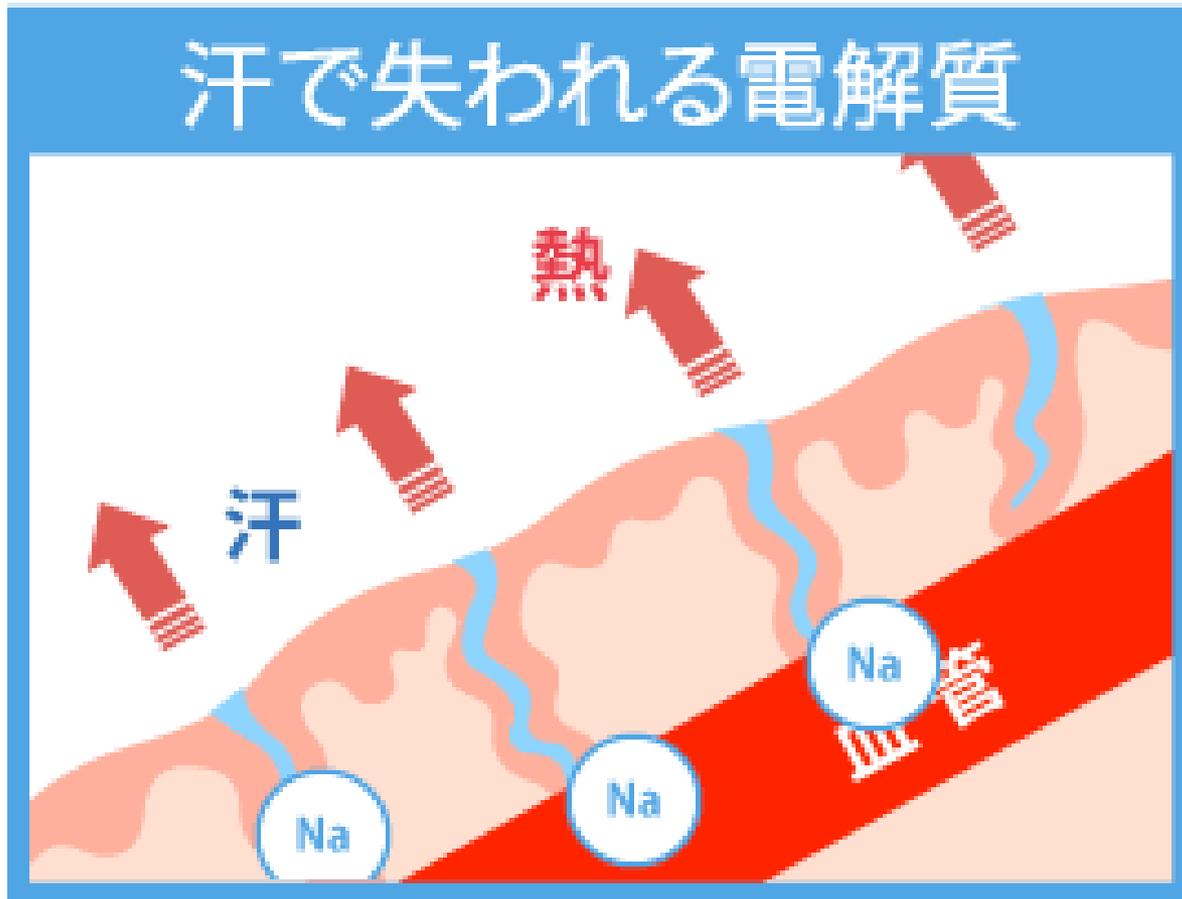


# 汗で失われる電解質

CITY UNIVERSITY

汗中の電解質は全くのムダ

汗で失われる電解質



汗で最も失いやすい電解質は

血液中に最も多いナトリウム、つまり塩分です

熱中症からカラダを守ろう、大塚製薬 : <https://www.otsuka.co.jp/health-and-illness/heat-disorders/>

# 汗の塩分濃度は血漿と比べて？

- ①. 低い
2. 同じ
3. 高い



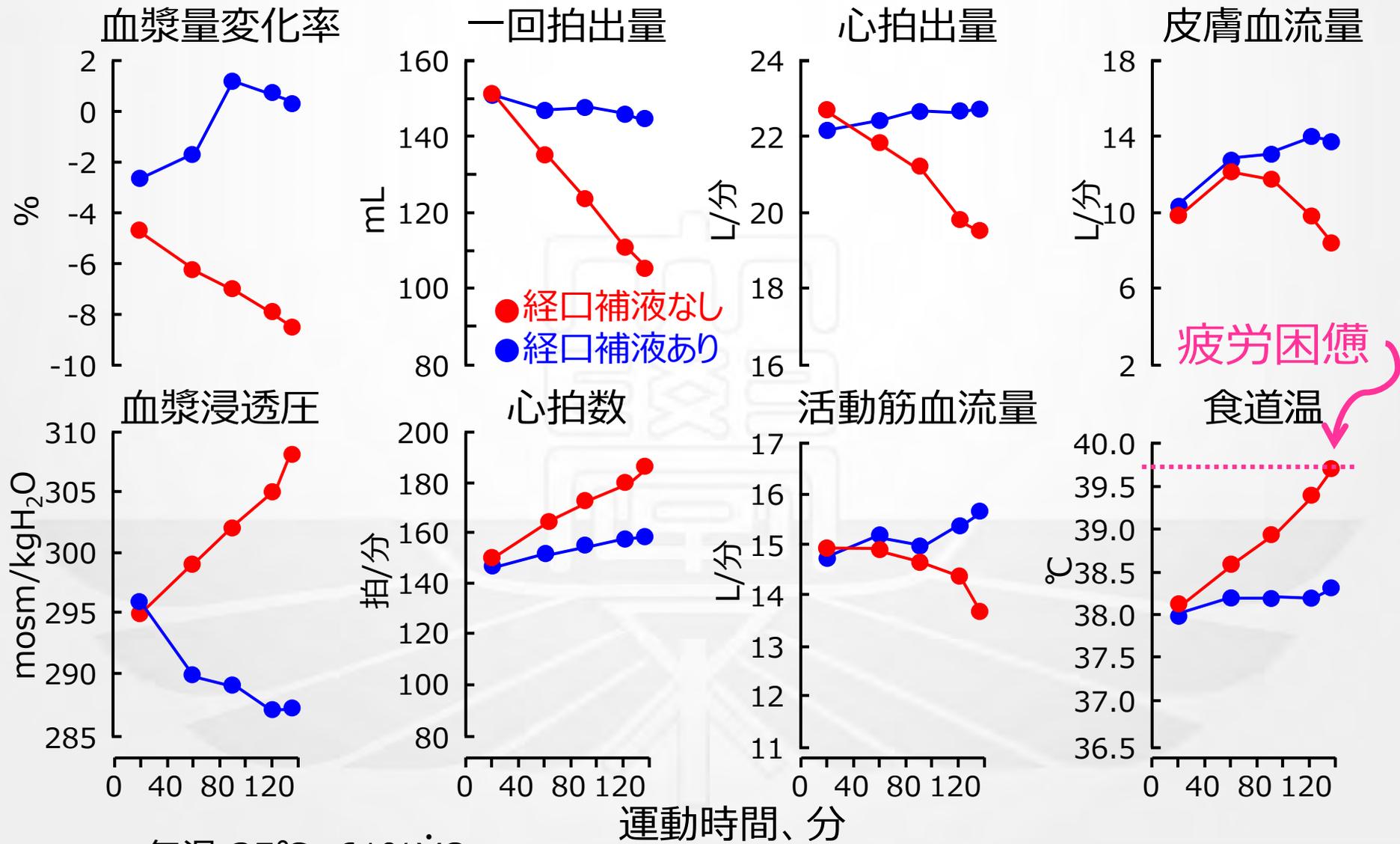
汗をかくと

- 体液や血漿の量が減少する
- 体液や血漿の塩分濃度（浸透圧）が上昇する

→ 温熱脱水



# 脱水に伴う一回拍出量、筋血流量、皮膚血流量が減少 深部温が運動パフォーマンスを向上させるが疲労困憊に至る



気温 35°C, 61% $\dot{V}O_{2max}$

Gonzalez-Alonso et al, J Physiol, 1998より作成

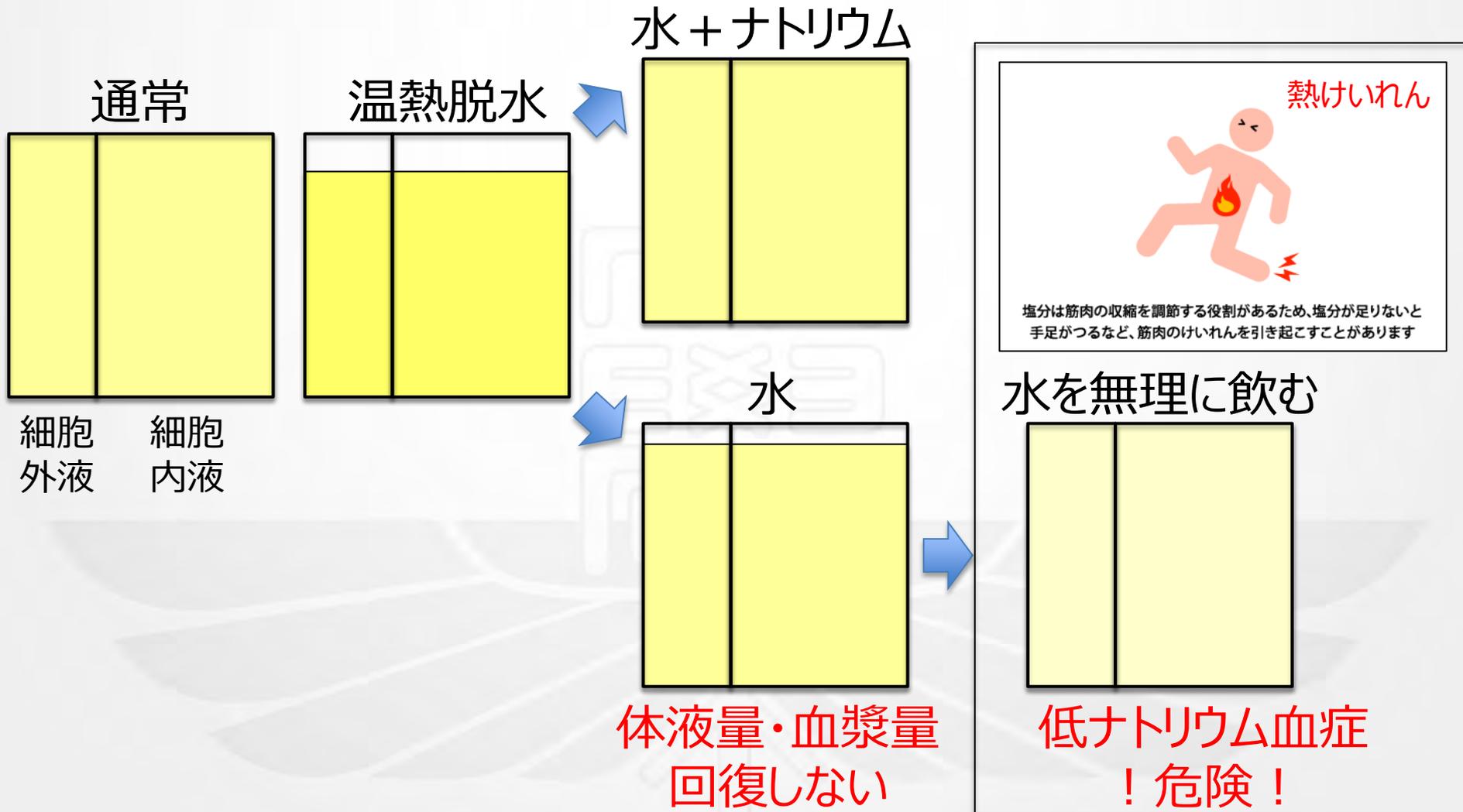
# 脱水を抑制するために なにを飲むべきか？



脱水の抑制、脱水からの回復には、  
糖質・電解質溶液  
(0.1~0.2%食塩水 + 4~8%程度の糖  
質溶液：スポーツドリンクなど) が有効



# 温熱脱水時に水のみを飲むと…



脱水時には水分 + 塩分を必ず摂取する

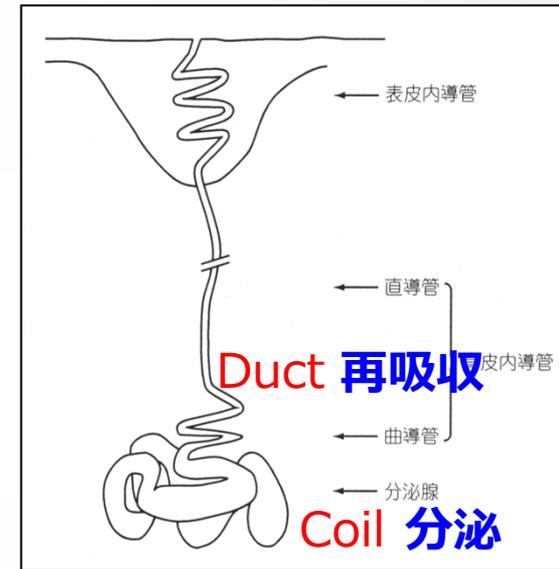


# 汗の塩分濃度は一定ではない！

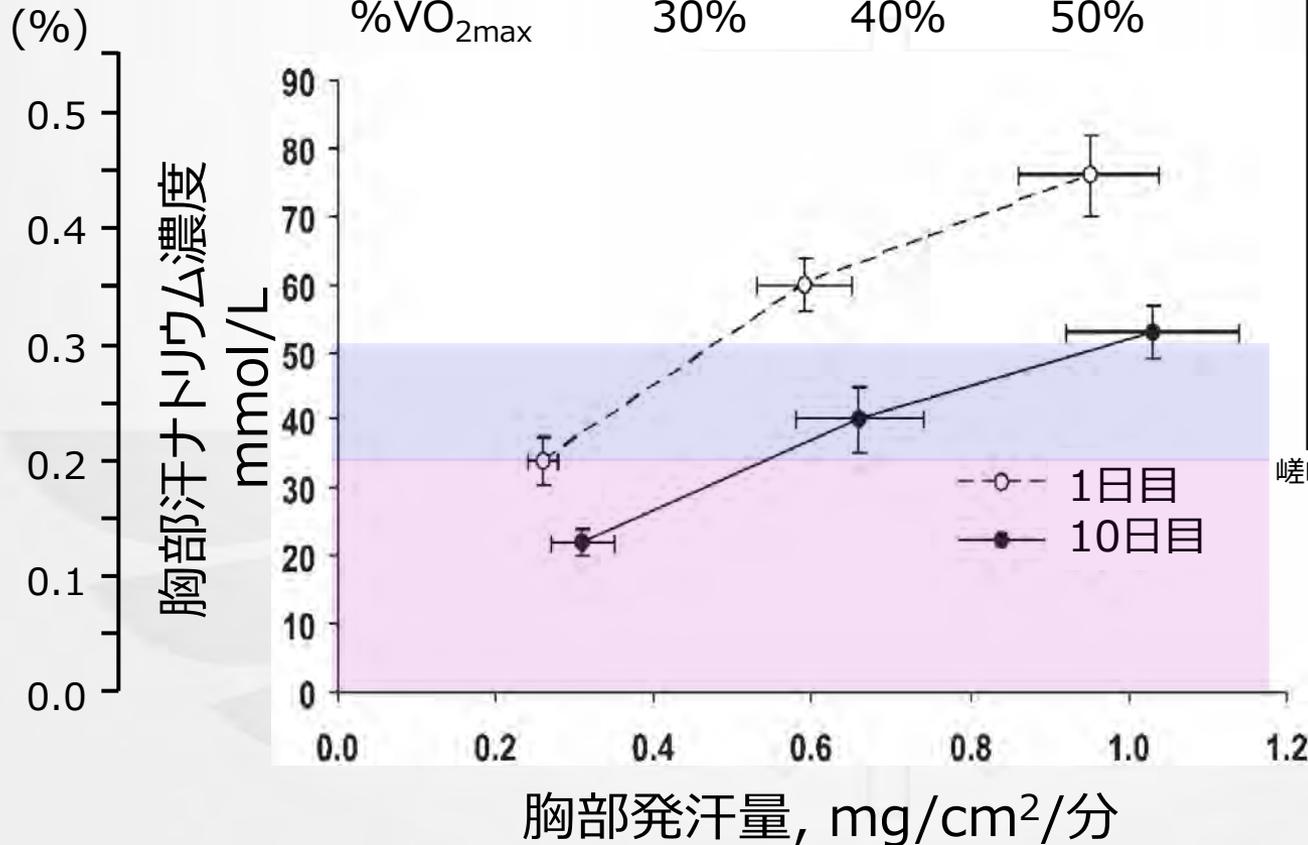
## 発汗量が多い程、暑熱順化していない程高い

運動 (30分)	1回目	2回目	3回目
環境温	36℃	40℃	42℃
相対湿度	40%	40%	60%
%VO <sub>2max</sub>	30%	40%	50%

### エクリン汗腺



嵯峨ら, 最新皮膚科学大系, 2002より作成



汗の塩分濃度

胸部汗ナトリウム濃度



# どうして経口補水液なのか？

塩分濃度0.3%の汗を2ℓかく



6gの塩分がカラダから失われる



塩分濃度0.1%  
水分2ℓ補給

2gの塩分を補給  
(4g不足)

1.3ℓの体液不足



塩分濃度0.3%  
水分2ℓ補給

6gの塩分を補給  
脱水の回復



★多量発汗時、長時間運動時、暑さに慣れていない時  
特に、経口補水液が有効！



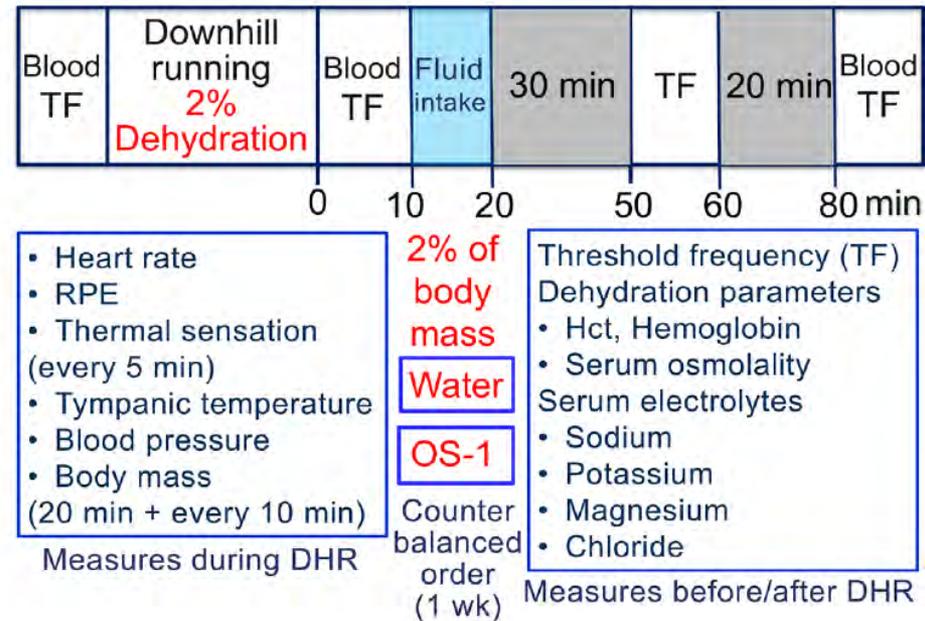
# 脱水状態 および 脱水状態における水分補給 が 筋痙攣の閾値に与える影響

Lau WY et al, , BMJ Open Sport & Exercise Medicine 2019;5:e000478

【対象】 健康成人10名

【方法】

- ① 暑熱環境下でのダウンヒルランニングを行い、体重の2%減少の脱水状態を生じさせる
- ② 汗により失われた量と同量のOS-1又はミネラルウォーターを摂取させ、飲料の違いが血液データおよび電気刺激による筋痙攣の起こりやすさ\*に及ぼす影響を調査



\* 下肢三頭筋に対し、次第に周波数を上げながら電気刺激をくりかえしていくと、筋痙攣を生じる。そのメカニズムを用いて、筋痙攣が起こる周波数の最小値（閾値）を筋痙攣の起こりやすさの指標として用いた。筋痙攣がおこる周波数が低下すれば、筋痙攣が起こりやすくなったことを、逆に筋痙攣が起こる周波数が上昇すれば、筋痙攣が起こりにくくなったことを示している。



# 脱水状態 および 脱水状態における水分補給 が 筋痙攣の閾値に与える影響

Lau WY et al, , BMJ Open Sport & Exercise Medicine 2019;5:e000478

ミネラルウォーター（MW）摂取後80分で、血清浸透圧、ナトリウム、クロールは、エクササイズ前（脱水前）に比べ有意に低下し、OS-1摂取群に比べ有意に低値を示した

**Table 1** Changes (mean±SD) in Hct and Hb, and serum concentration of sodium, potassium, magnesium and chloride before (pre), and immediately (0) and 80 min following DHR for the spring water (water) and electrolyte water (OS-1<sup>®</sup>) intake at 10 min after DHR

		Pre	0	80	ANOVA
<b>Hct (%)</b>	Water	47.3±2.7	48.2±2.1	47.6±1.8	F=2.37
	OS-1	46.3±1.6	47.8±2.0*	45.6±1.1	p=0.12
<b>Hb (g/dl)</b>	Water	15.3±1.1	15.9±0.9*	15.4±0.7	F=2.91
	OS-1	15.5±0.8	16.1±0.7*	15.1±1.2	p=0.08
<b>Osmolarity (mOsm/kg H<sub>2</sub>O)</b>	Water	290.9±5.4	296.2±3.5*	285.0±3.4*	F=7.73
	OS-1	292.3±5.4	296.2±3.5*	294.0±2.8	P=0.004†
<b>Sodium (mmol/L)</b>	Water	141.7±1.5	142.3±1.9	138.4±1.7*	F=33.85
	OS-1	141.8±0.9	142.6±1.4	141.8±1.0	P=0.001†
<b>Potassium (mmol/L)</b>	Water	4.5±0.4	4.4±0.3	4.0±0.4*	F=1.51
	OS-1	4.5±0.4	4.4±0.4	4.2±0.4	p=0.24
<b>Magnesium (mmol/L)</b>	Water	0.88±0.02	0.87±0.02	0.84±0.02*	F=1.35
	OS-1	0.88±0.04	0.86±0.04	0.85±0.05*	p=0.28
<b>Chloride (mmol/L)</b>	Water	101.0±1.1	102.6±2.3*	99.5±2.1*	F=19.51
	OS-1	101.9±1.3	103.7±1.5*	103.3±1.5*	P=0.001†

\*significant (p<0.05) difference from the prevalue.

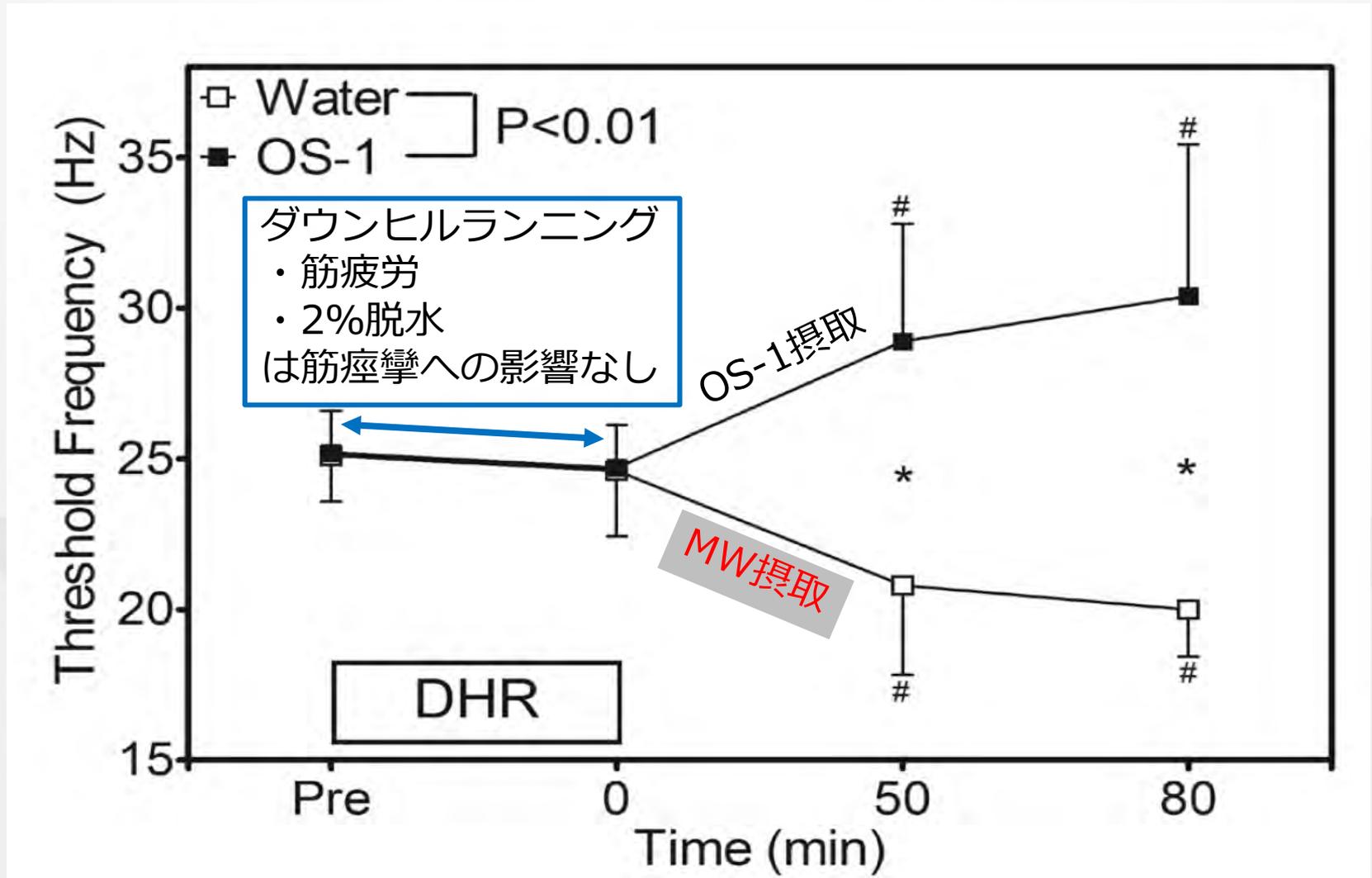
†significant (p<0.05) difference between conditions.

DHR, downhill running; Hb, haemoglobin; Hct, haematocrit.



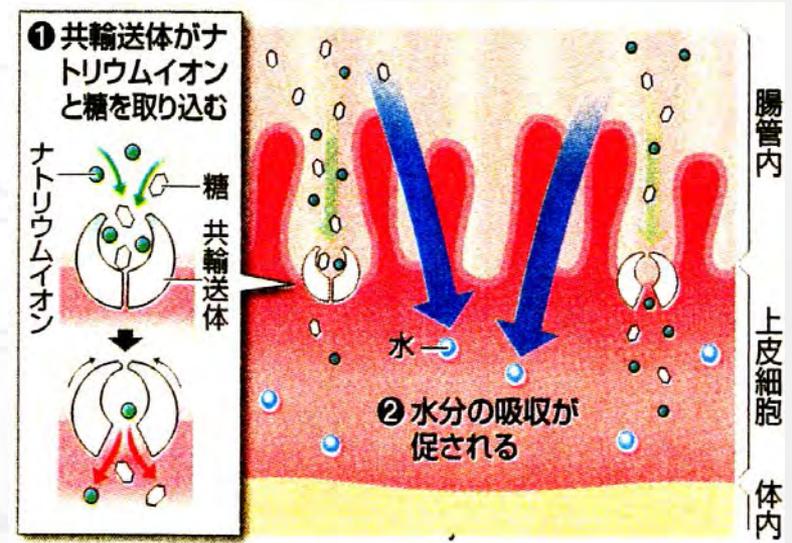
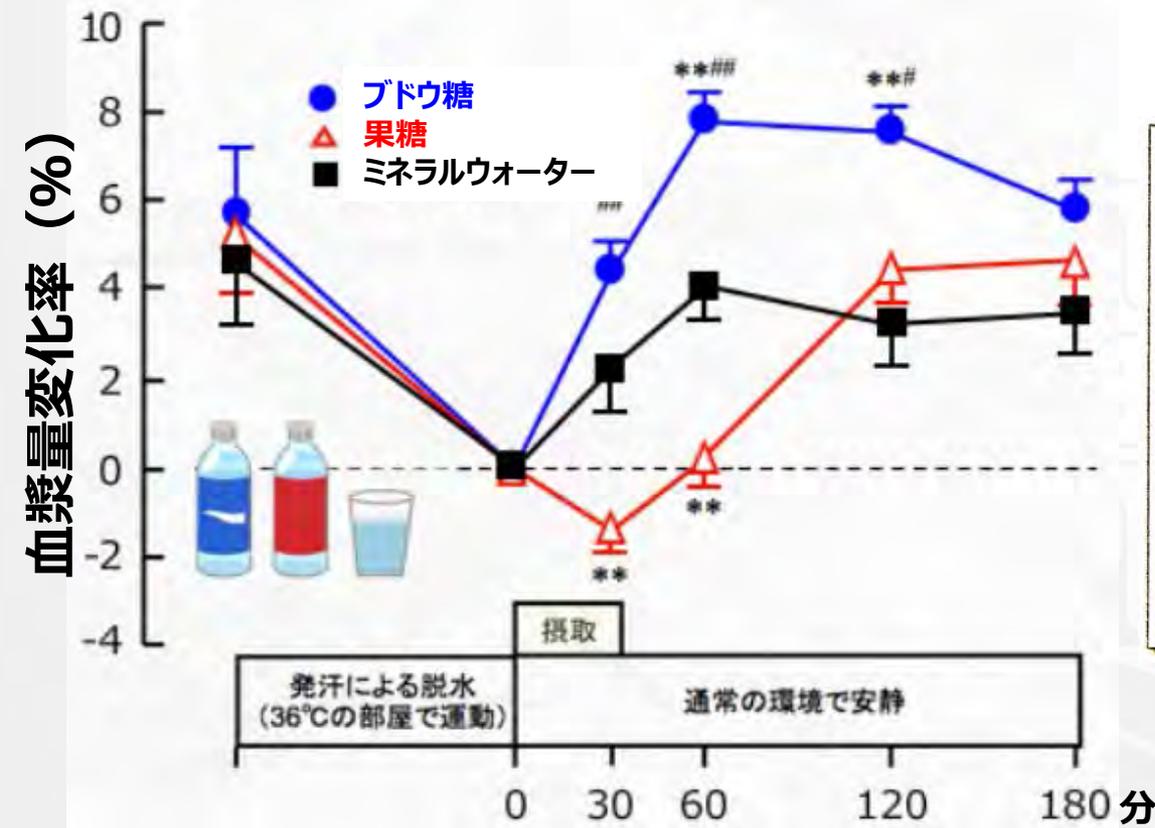
# 脱水状態 および 脱水状態における水分補給 が 筋痙攣の閾値に与える影響

Lau WY et al, , BMJ Open Sport & Exercise Medicine 2019;5:e000478





# 糖質(ブドウ糖)と一緒に摂ると、 小腸での塩分と水分の吸収が促進する

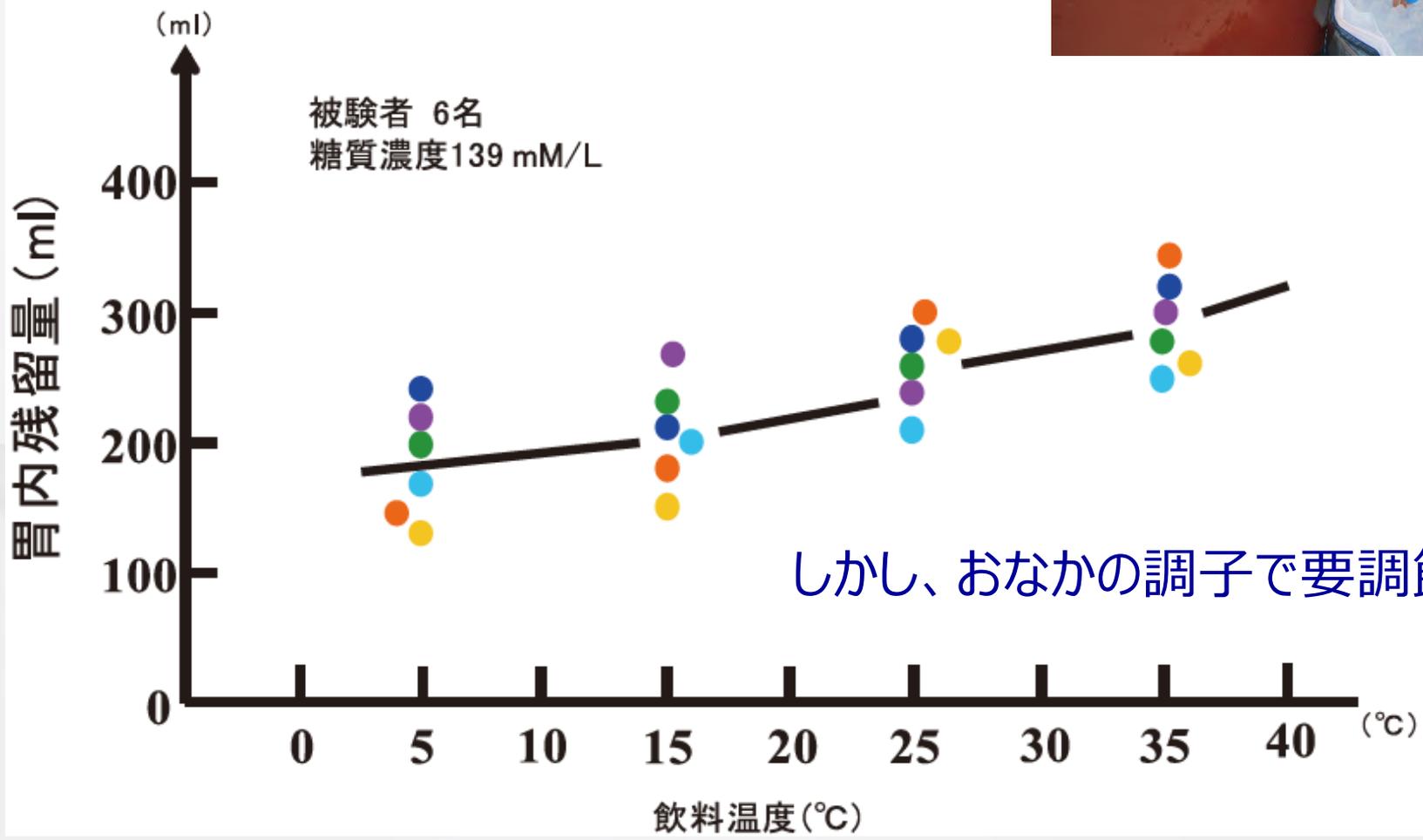


森本武利先生資料

田畑、体育の科学、2012より作成



# 冷たい飲料 (5~15°C) の方が胃に溜まりにくい



しかし、おなかの調子で要調節



# 脱水抑制に望ましい水分摂取法

- 塩分と糖質を含む溶液が有効：日常生活や軽い運動時には水やスポーツドリンクなどで十分だが、多量発汗、暑熱順化する前、長時間・高強度運動時には、塩分を必ず補給、特に、経口補水液が有効
- 糖質は、果糖（フルクトース）よりブドウ糖（グルコース）が良い
- のどが乾く前からこまめに摂取
- 水、汗よりも塩分濃度が低いものを摂取するときは、口渴感を指標とし、無理に飲み過ぎない
- 冷たい飲料（5～15℃）が良い
- 普段からどの程度の脱水がおこるのかをある程度知っておき（体重の変化）、体重の2%以上の脱水を避ける
- 脱水の傾向に合わせて、経口補液の組成や量を調整



## シニアへの配慮

- シニアでは脱水時の口渇感が減弱しており、さらに、水分を体内に保持す機能も低いいため、口渇感のみを頼りにせず、脱水量を考慮した水分・塩分の補給に心がけましょう

## ジュニアへの配慮

- 定期的に休息と給水タイムを設ける
- 十分に水分補給できる環境を整え、大人と同様に口渇感を指標として給水させましょう

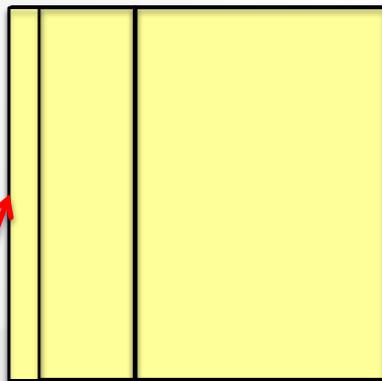


# 汗塩分濃度は個人差が非常に大きい

## 汗塩分濃度が低いほど血漿量が維持される

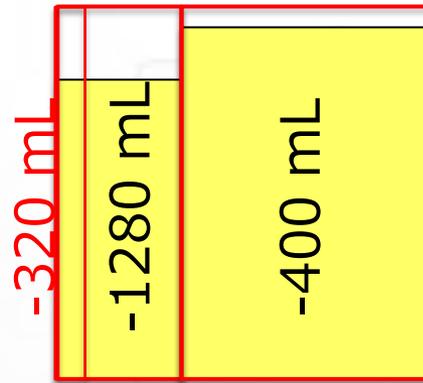
UNIVERSITY

発汗 2 L

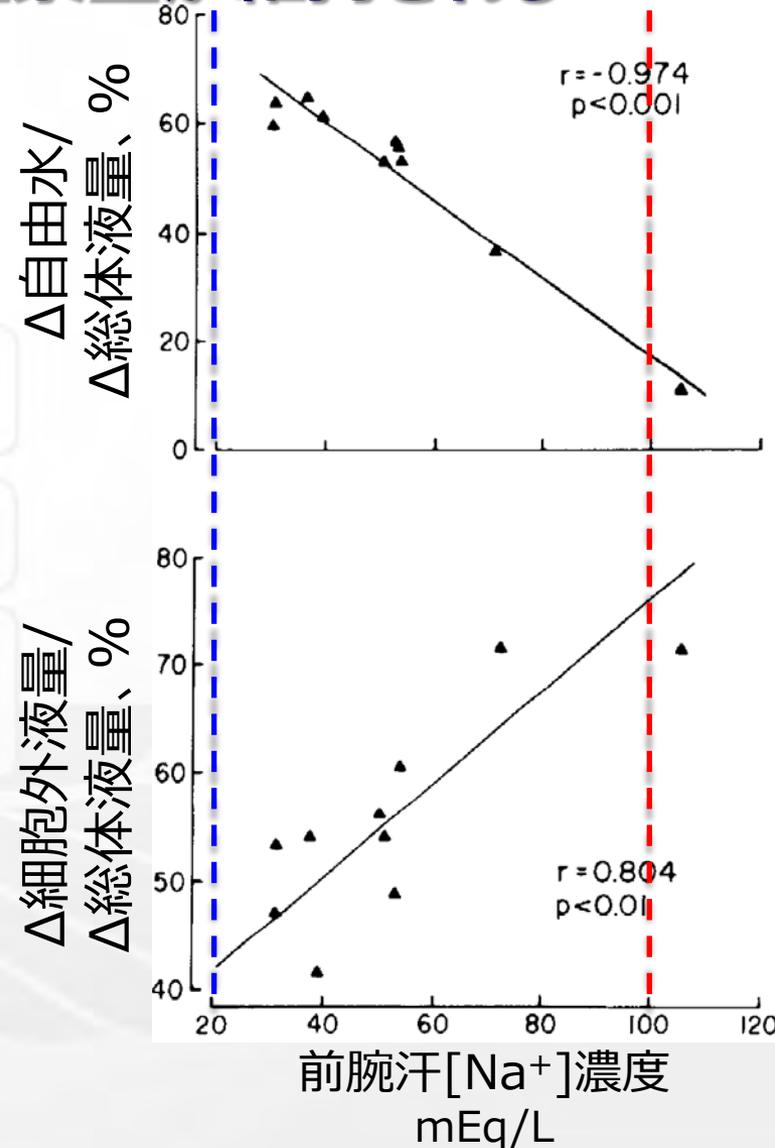
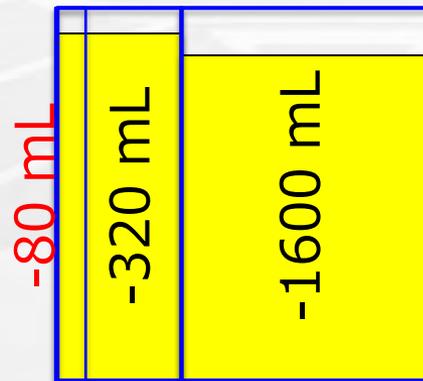


細胞外液 細胞内液

汗塩分  
[Na<sup>+</sup>]濃度  
100 mEq/L



20 mEq/L

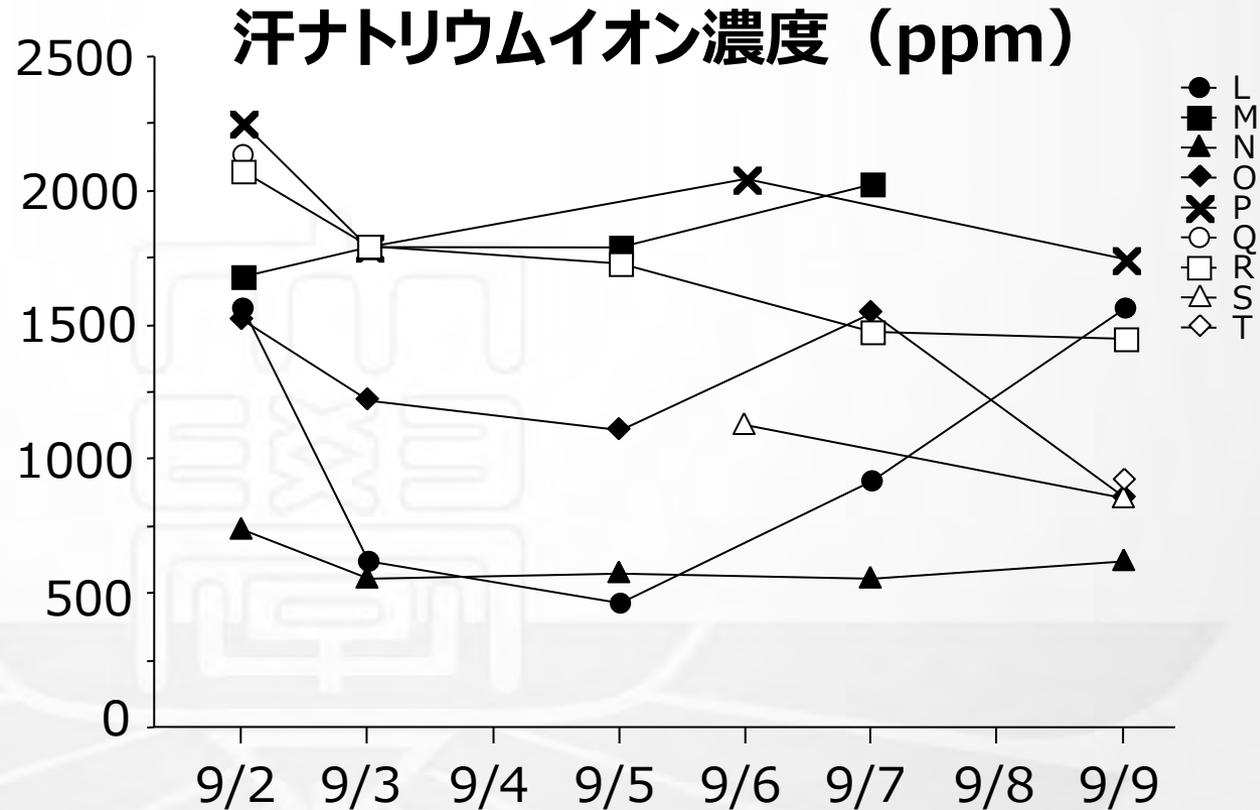


Nose et al, J Appl Physiol, 1988より作成



# 汗中の電解質濃度の測定

## マラソンナショナルチーム



岡崎ら、陸上競技研究紀要、2015

**個人差を考慮して給水量・組成を  
決定する必要がある**



全身クライオセラピー

冷水浴

アイススラリー

アイスベスト

ネッククーラー

冷風

氷嚢

← 冷却効果は高いが実用的ではない

冷却効果は低いが実用的  
→ 競技者のための暑熱対策ガイドブック



# スポーツ活動時における 実践的な身体冷却方法とその特徴

冷却方法		冷却効率		実用性				簡便性	運動能力	備考
		核心	皮膚	運動前	運動中	休憩時	運動後			
外部冷却	アイスバス	◎	◎	○	—	△	◎	△	○	冷却直後のスプリント運動や筋発揮に負の影響あり
	アイスパック	△	◎	△	△	◎	◎	◎	△	冷却効率はアイスバスの1/10程度
	クーリングベスト	△	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	運動中着用できるが、重量が気になる場合がある
	送風	△	○	△	—	◎	○	○	△	霧吹き/水噴射との組み合わせ可能、屋外でも使用可能
	頭部・頸部冷却	△	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	運動中使用できるが、核心までは冷えないので熱中症に注意
	手掌冷却	△	○	◎	—	◎	○	◎	○	温熱感覚に好影響、様々なスポーツ競技で実施可能
内部冷却	水分補給	○	△	◎	◎	◎	◎	◎	○	脱水予防やエネルギー補給が可能
	アイスラリー	◎	△	◎	△	◎	◎	◎	◎	電解質/糖質補給と冷却効果を組み合わせることができる

公益財団法人日本スポーツ協会，スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック2019

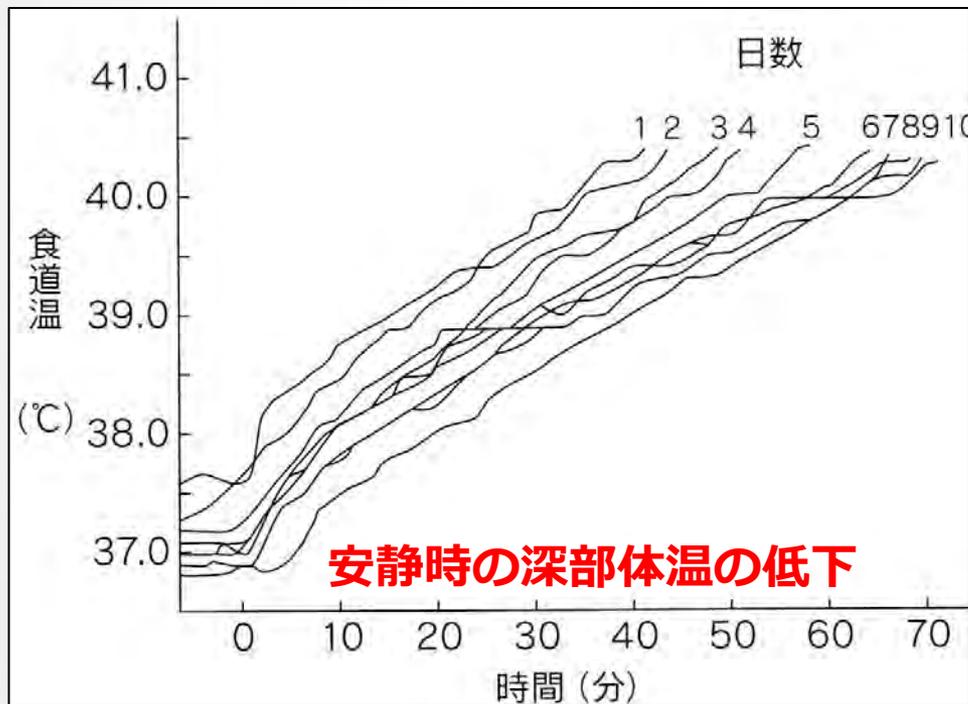
**◎ 可能な外部冷却と内部冷却を複数組み合わせて用いる**



# 暑熱環境下での運動で暑熱順化

UNIVERSITY

## 暑熱下での運動継続時間の延長

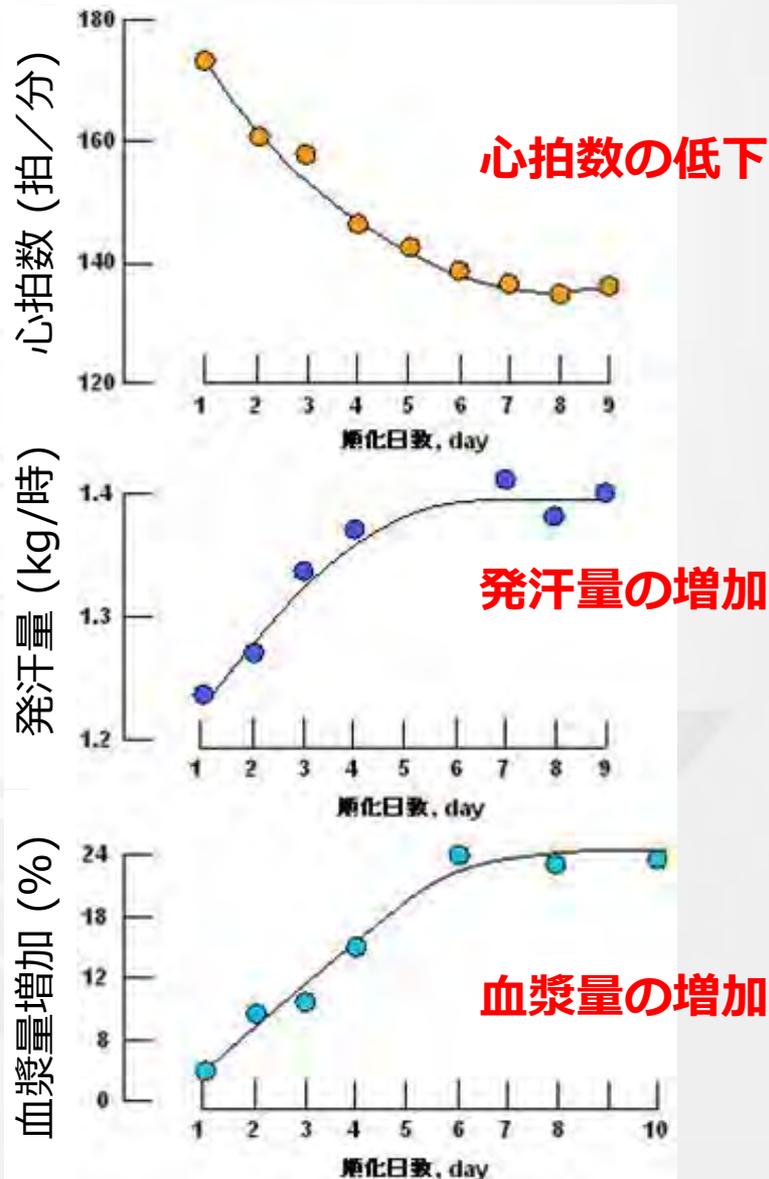


安静時の深部体温の低下

環境温： $40^{\circ}\text{C}$ 、最大酸素摂取量の60%  
（ややきつい）運動遂行不可能時までの  
自転車運動10日間連続で実施

Nielsen et al, 1993より作成

暑熱環境下での運動(30~1時間程度)  
1週間から10日程度で暑熱順化



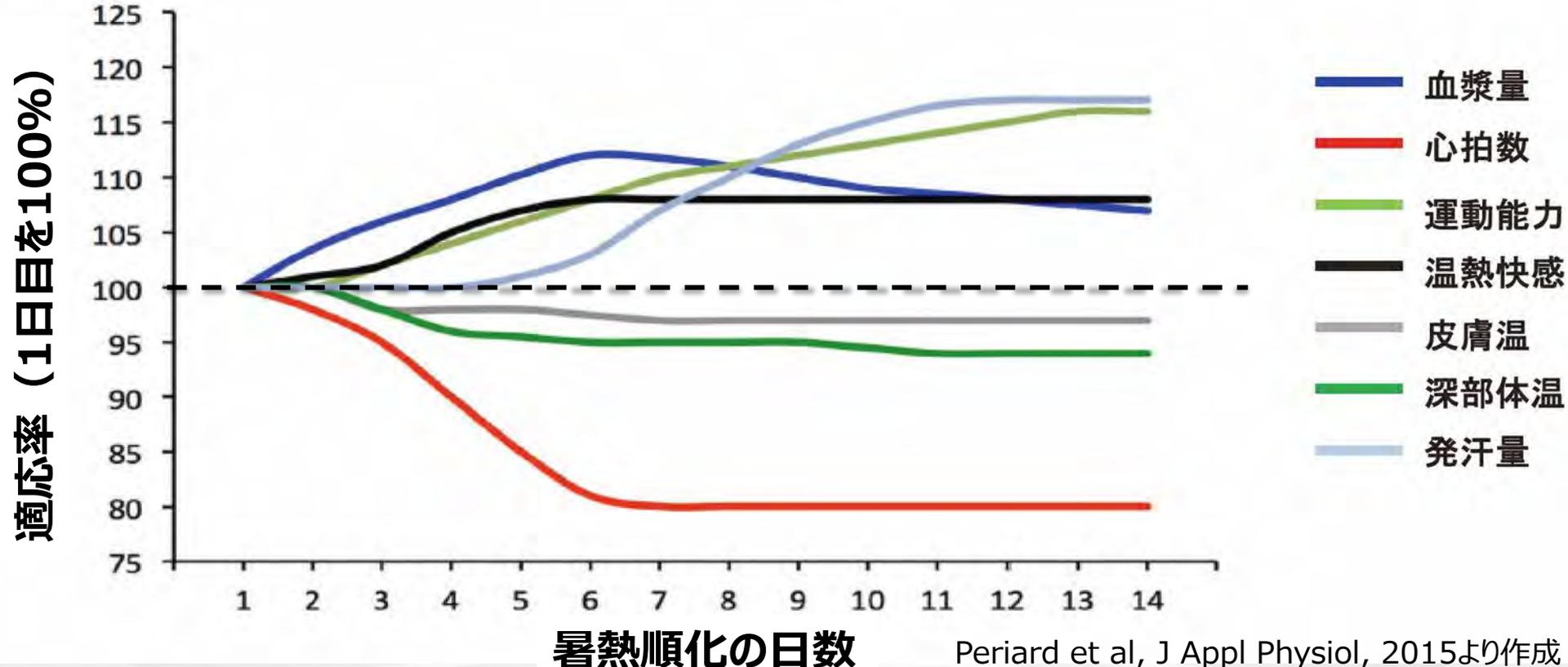
心拍数の低下

発汗量の増加

血漿量の増加



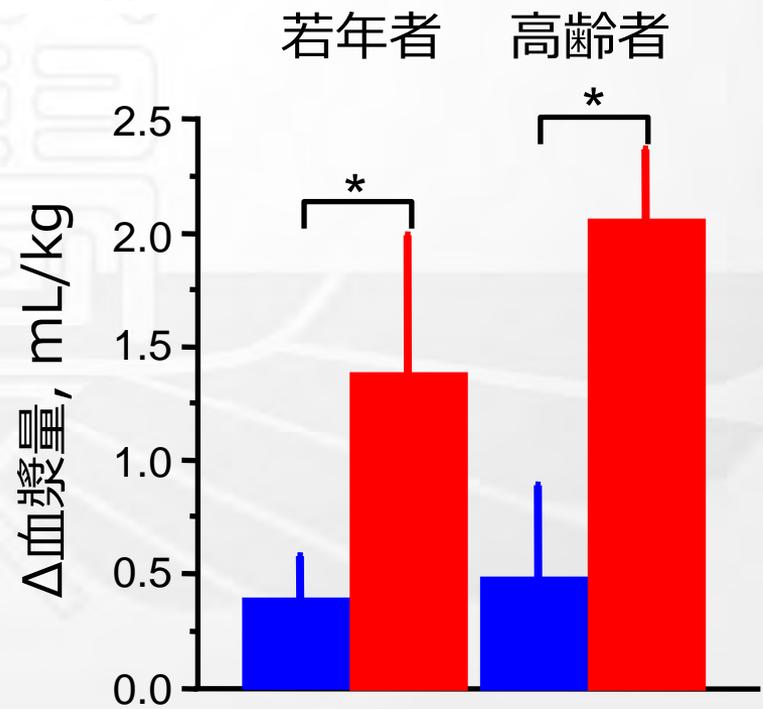
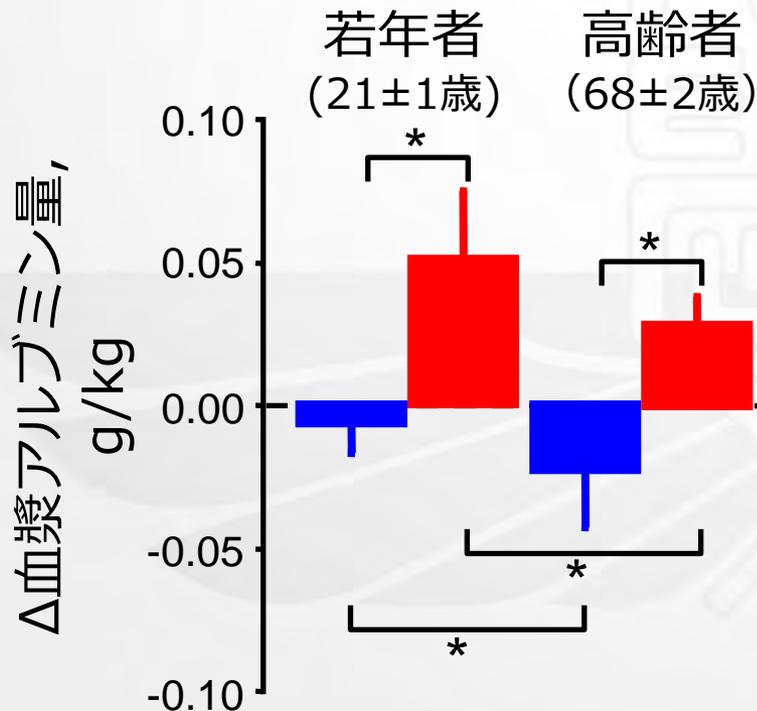
# 暑熱順化による身体諸機能の適応



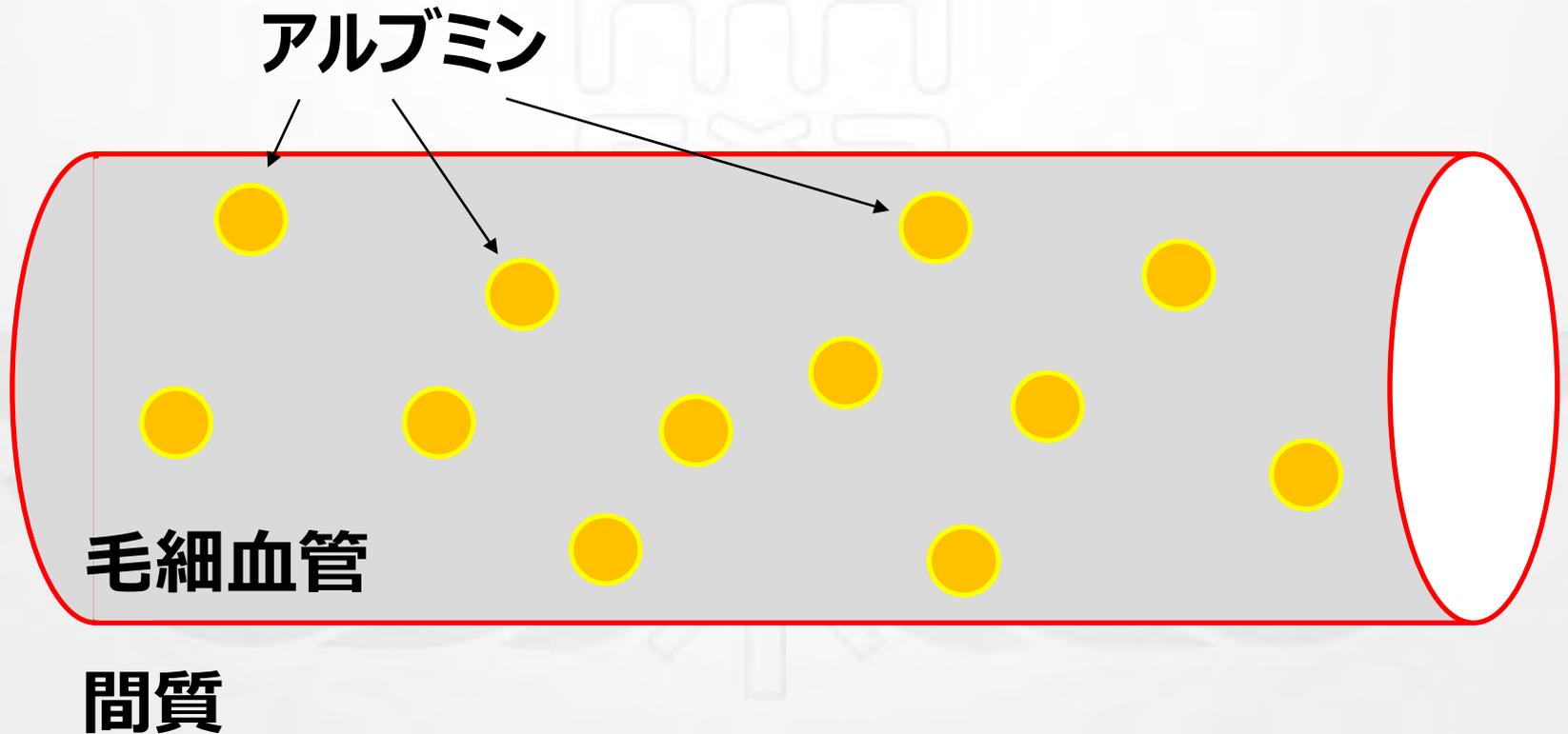
- 開始3日程度から変化が現れる
- 通常、連日実施で、7日～10日間程度で効果が定常
- 10日～2週間程度で、暑熱順化完了



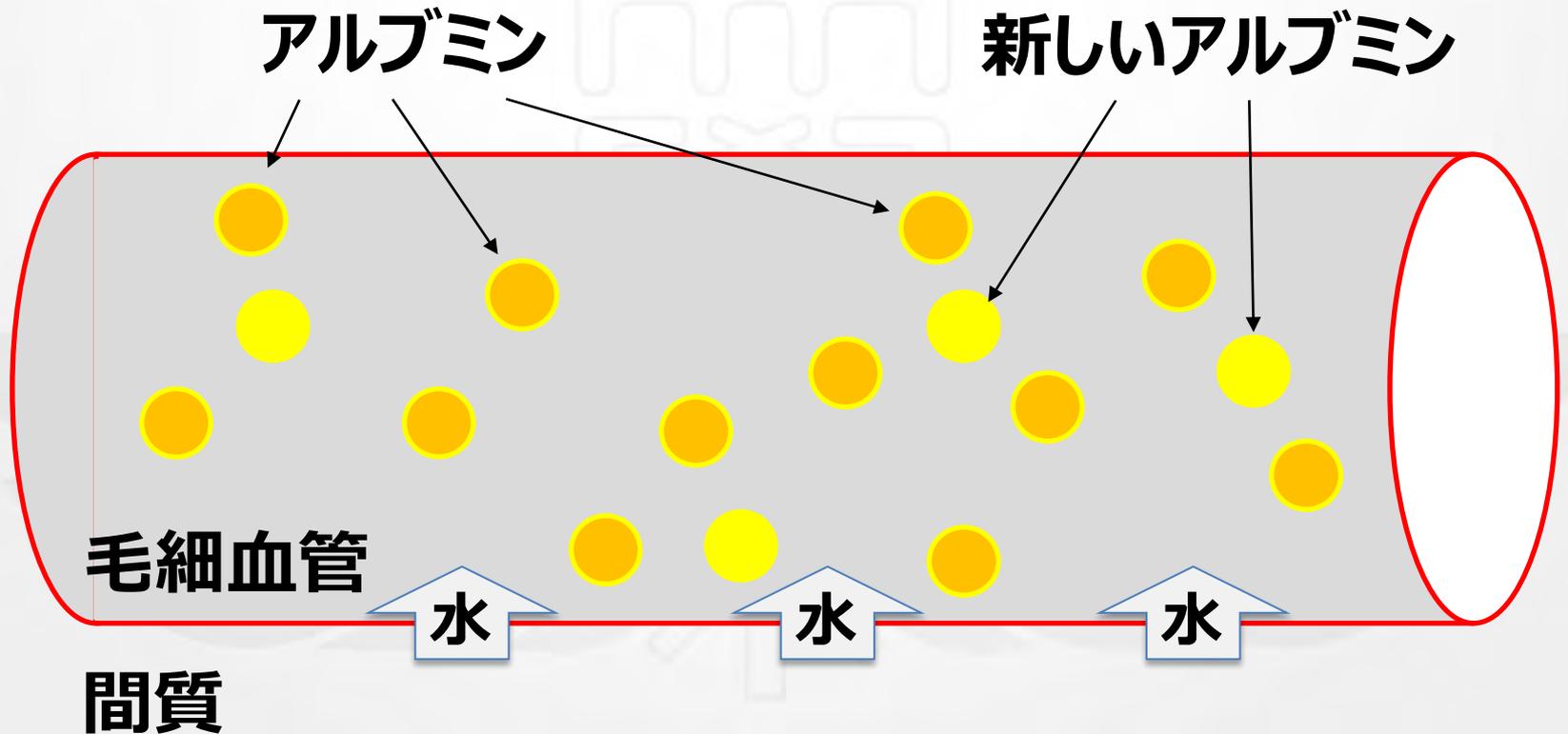
# 血漿量は、運動直後の蛋白質・糖質摂取 によって効果的に増加する（1回の運動でも）



# 血漿アルブミン量は血管内に水分を保持する役割を果たしている



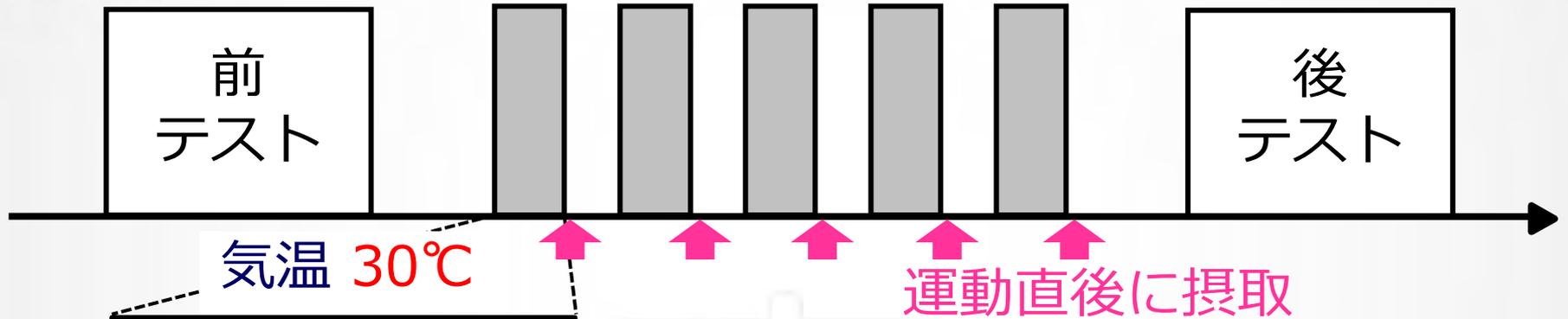
# 血漿アルブミン量が増えると 血管内に水分が増える（血漿量が増える）





# 暑熱順化を促進する

CHUBU CITY UNIVERSITY



自転車こぎ運動  
30分/日  
70% VO<sub>2max</sub>



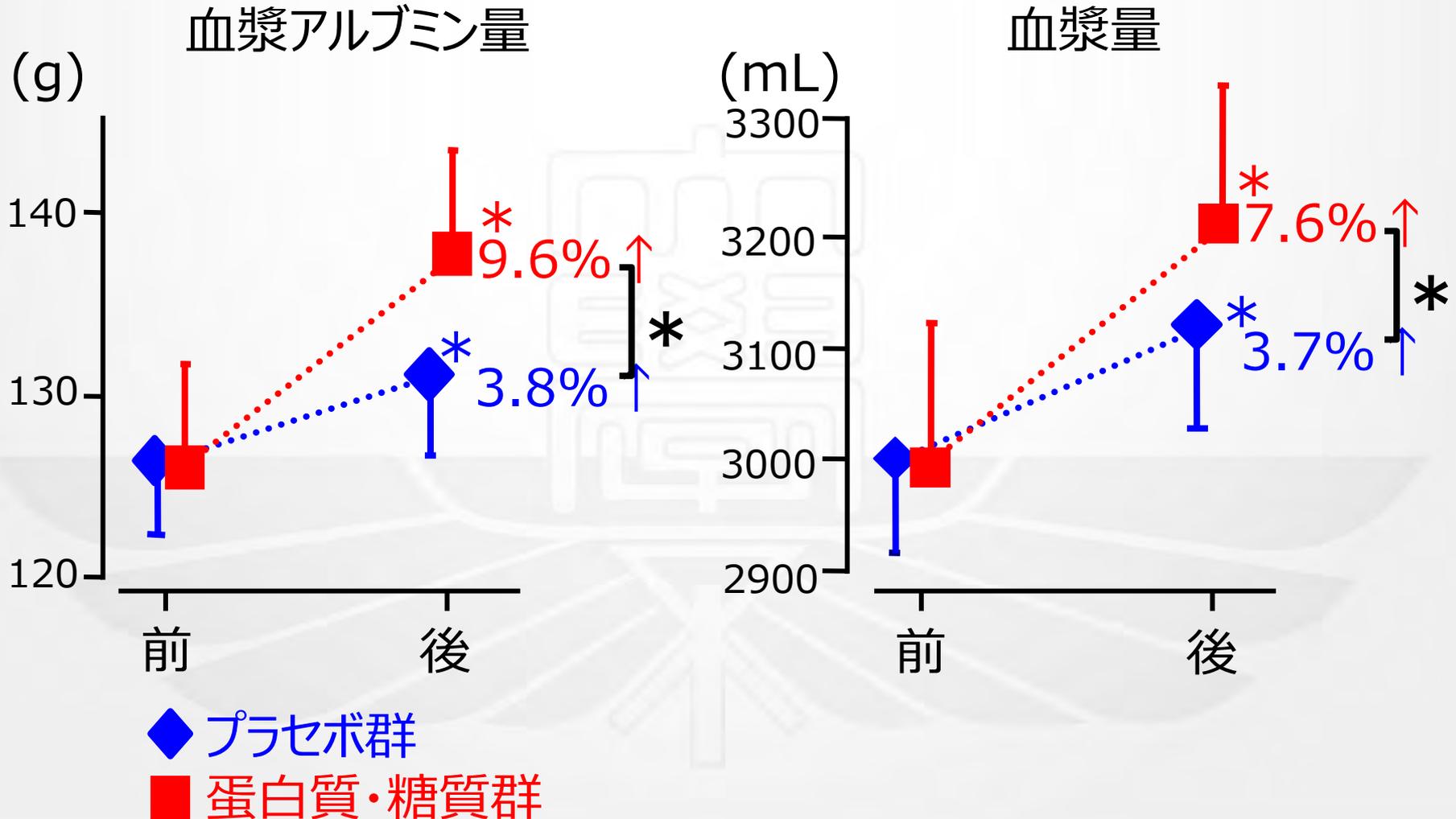
プラセボ群  
0.93 kcal/kg  
0 g 蛋白質/kg



蛋白質・糖質群  
3.6 kcal/kg  
0.36 g 蛋白質/kg



# トレーニング中の蛋白質・糖質摂取によって 血漿アルブミン量・血漿量の増加が亢進する

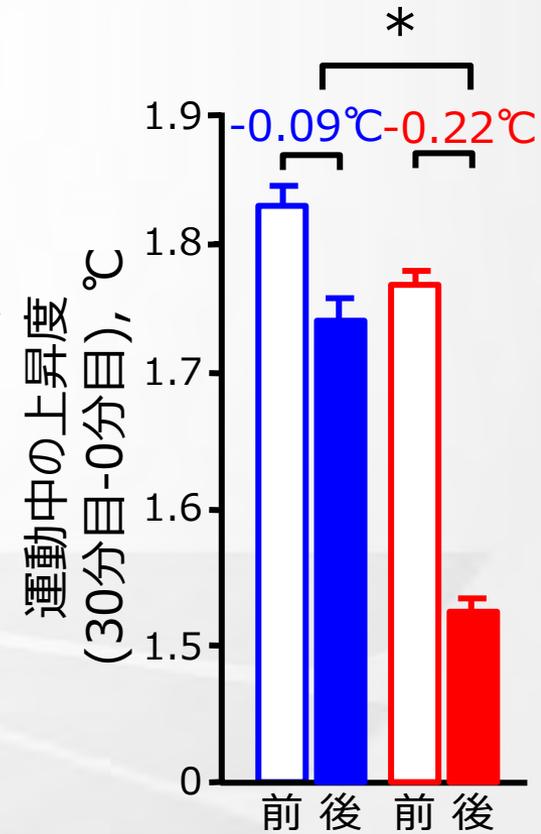
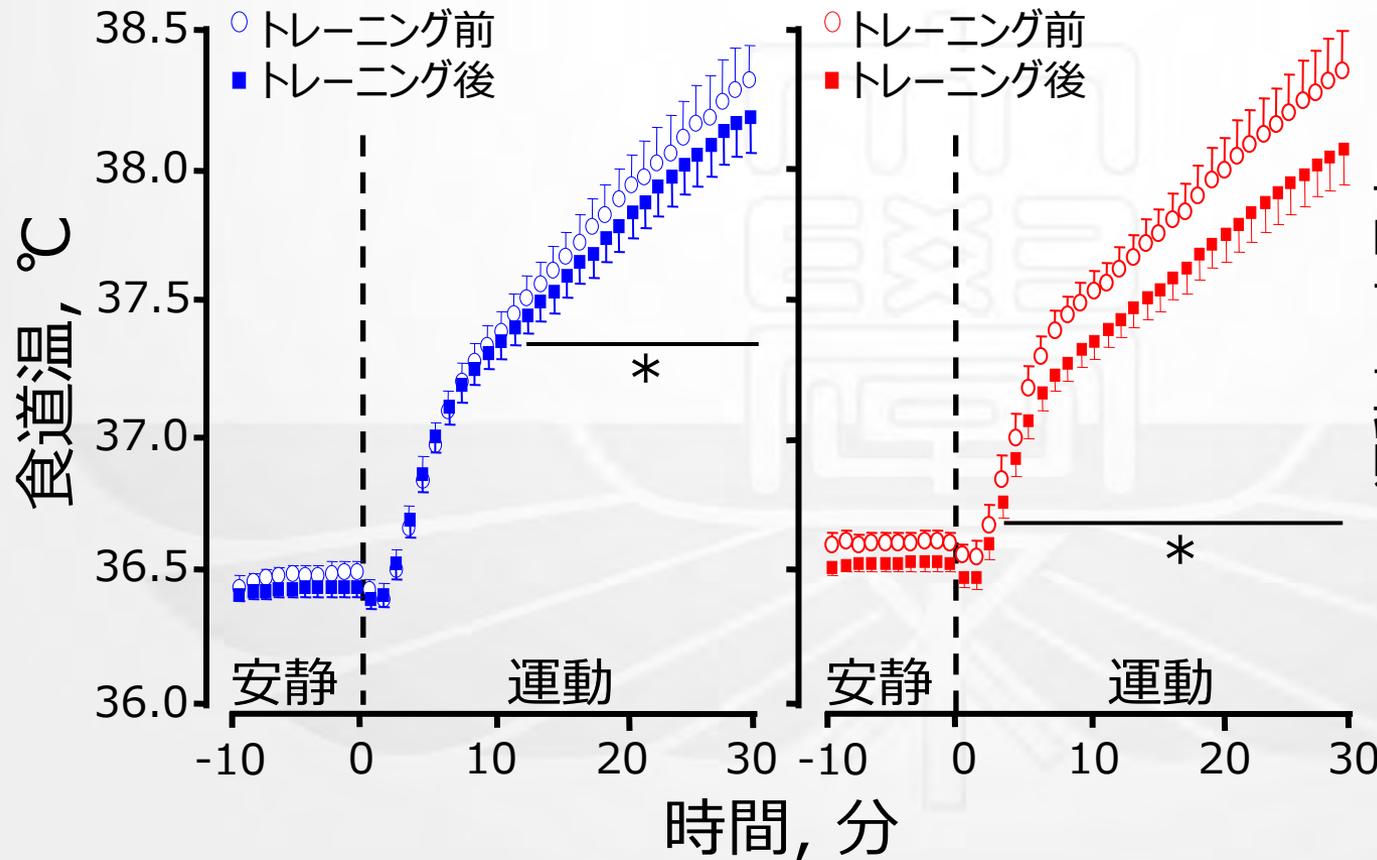




# 血漿量の増加に伴う熱放散反応の亢進によって運動中の体温上昇が低下する

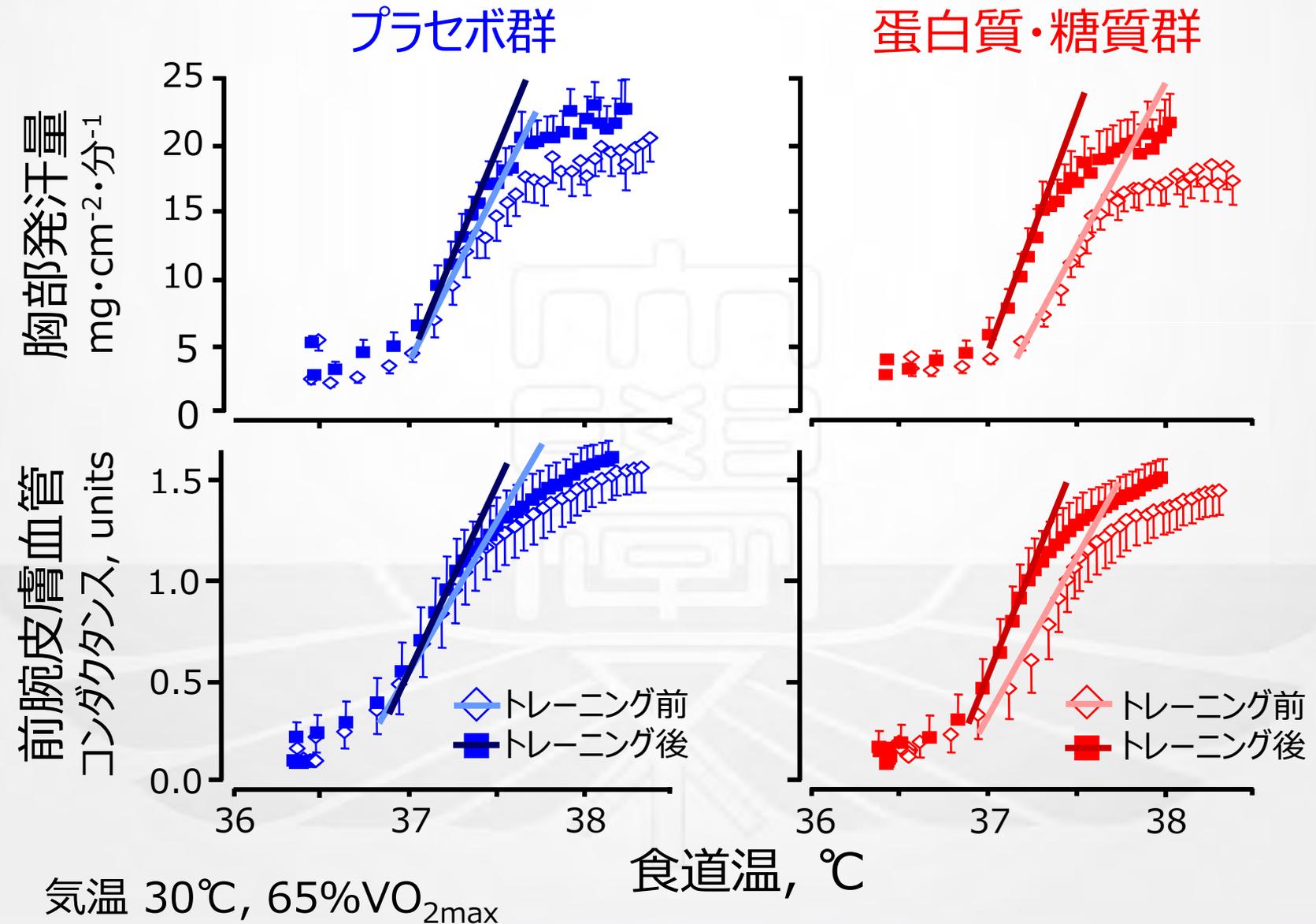
プラセボ群

蛋白質・糖質群





# 血漿量の増加に伴い熱放散応答が亢進する





# 暑熱対策に有効な方法

暑熱順化  
トレーニング



&



蛋白質(0.2~0.4 g/kg)  
糖質(0.3~0.6 g/kg)

体力・運動パフォーマンスの向上にも有効