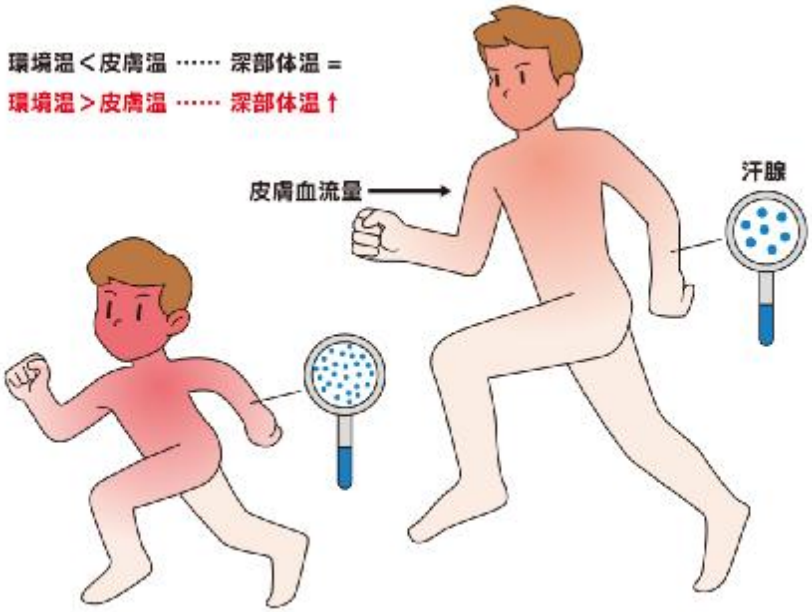
2023/05/17
暑さ対策セミナー
おおさか気候変動適応センター
大阪府立環境農林水産総合研究所

子どもの熱放散反応特性と熱中症予防策



井上　芳光
大阪国際大学 名誉教授

地球温暖化
ヒートアイランド

熱中症の増加

世界，日本，東京の夏（6月～8月）における
平均気温差（1900年から）

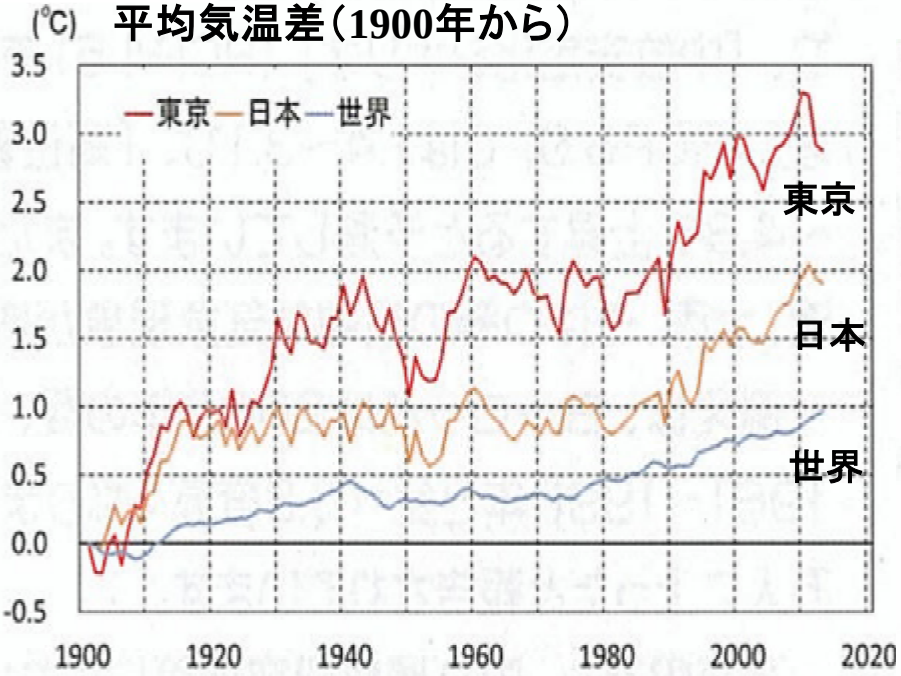


図1-17　世界，日本，東京の夏（6月～8月）の平均気温偏差
（1900年からの偏差）（気象庁資料から，5年移動平均）
熱中症環境保健マニュアル　2018，環境省

日本の熱中症死亡者数（1968年～2016年）

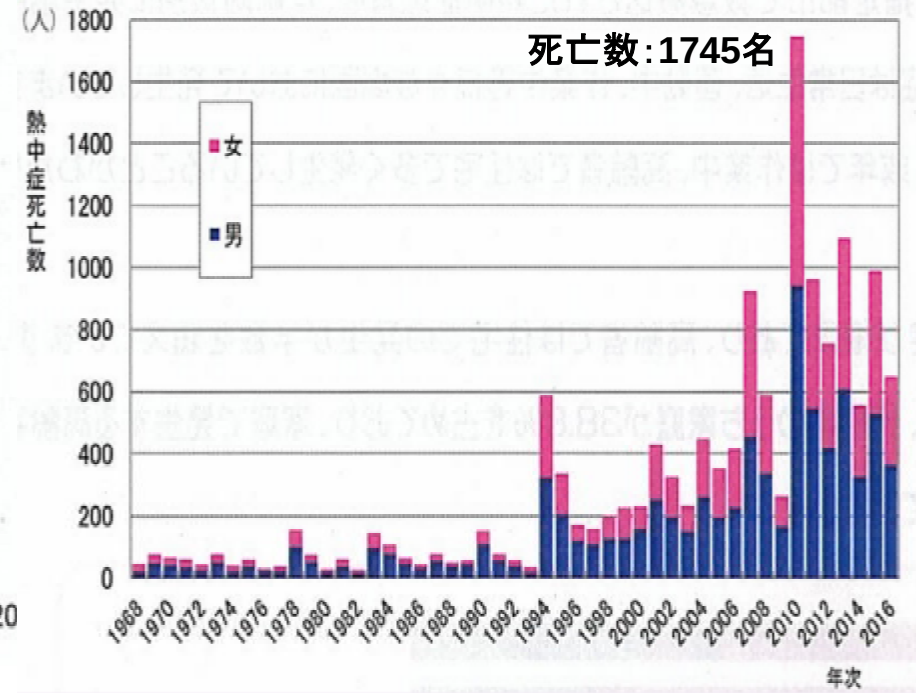


図1-9　年次別男女別熱中症死亡者数（1968年～2016年）
熱中症環境保健マニュアル　2018，環境省

死亡者数：　高齢者が80%
発生率：　子ども（小中学生）が高い

年齢を考慮した熱中症予防策

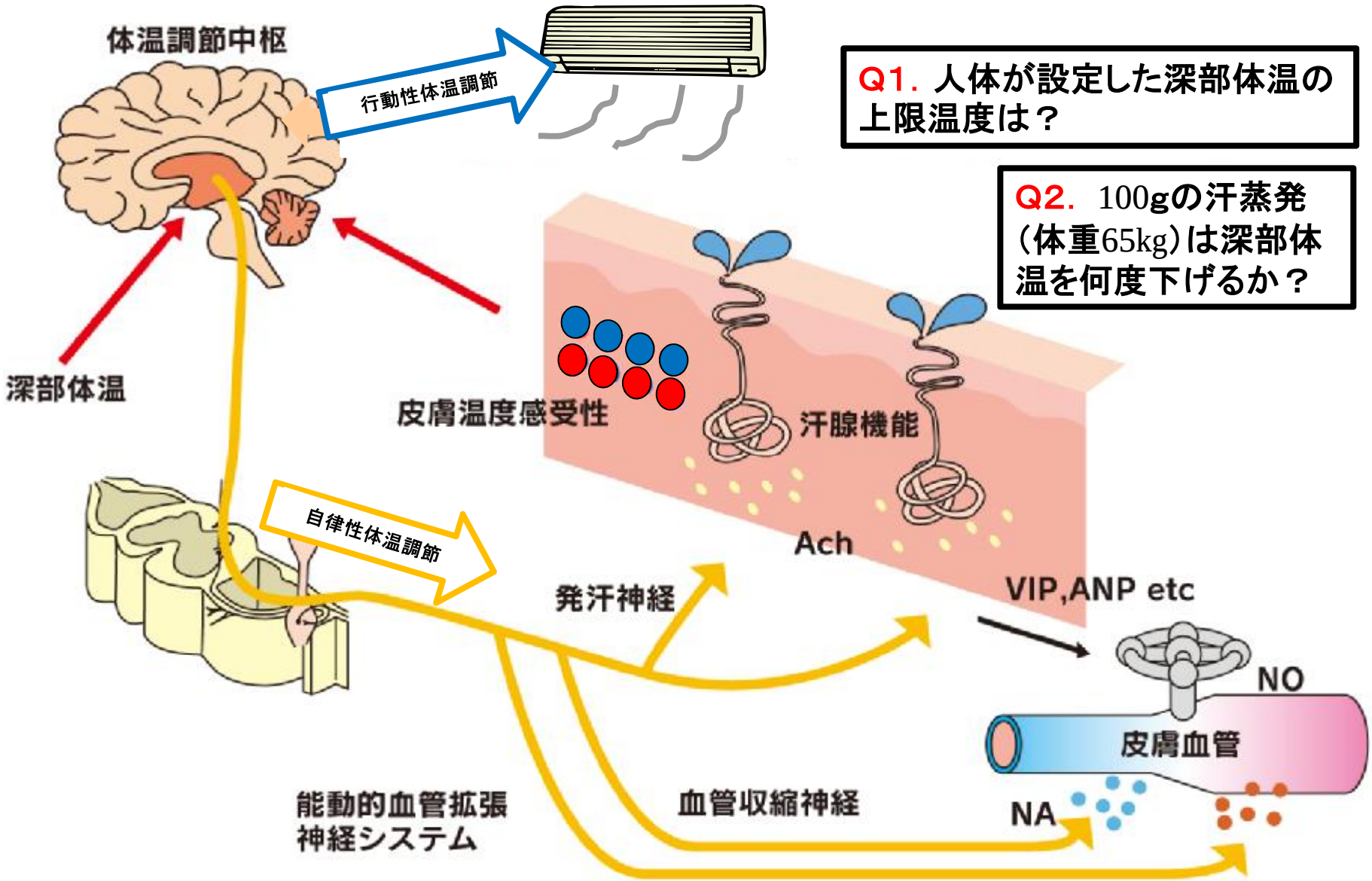
熱中症の病型・症状

暑さによって生じる障害の総称

熱失神	熱けいれん	熱疲労	熱射病
めまいや 失神など	痛みをともなう 筋けいれん	脱力感、疲労感、 めまい、頭痛、 吐き気など	意識障害から 進行すると 昏睡状態に

症状によっては死に至る場合もあるため注意!

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」より作成



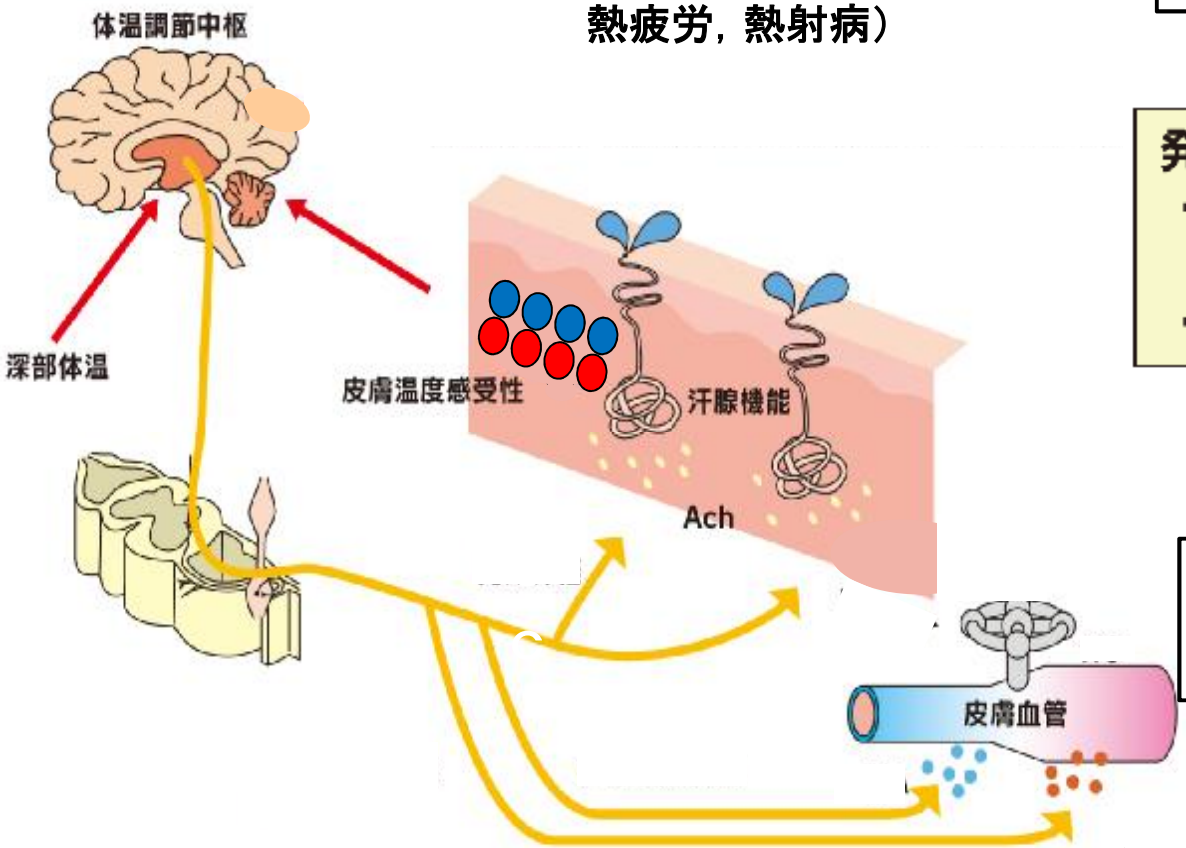
Q1．人体が設定した深部体温の上限温度は？

Q2．100gの汗蒸発（体重65kg）は深部体温を何度下げるか？

体温調節システムの模式図　（井上　2004）

体温調節システムと熱中症

（熱失神，熱けいれん，
熱疲労，熱射病）



熱けいれん

発汗量↑
・体内水分量↓
（血液量）
・体内の塩分↓

脱水

熱疲労
脱力感、疲労感、
頭痛、吐き気

熱射病
意識障害
体温調節機能
不全

循環不全

皮膚血流量↑
・一回拍出量↓
・心拍数↑
（循環血液量の低下）

血圧低下
（脳血流の低下）

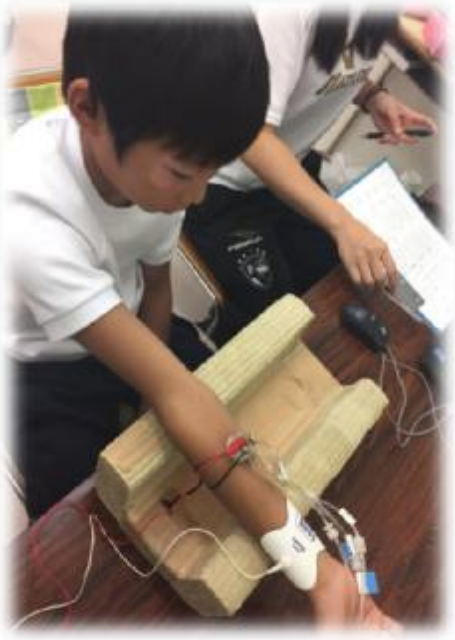
熱失神

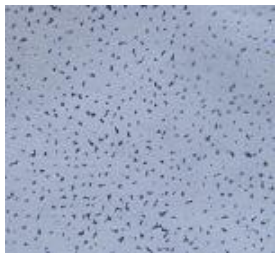
子どもは汗っかき？（実験風景）

下肢温浴

自転車運動

イオントフォレーシス
（発汗促進剤投与）

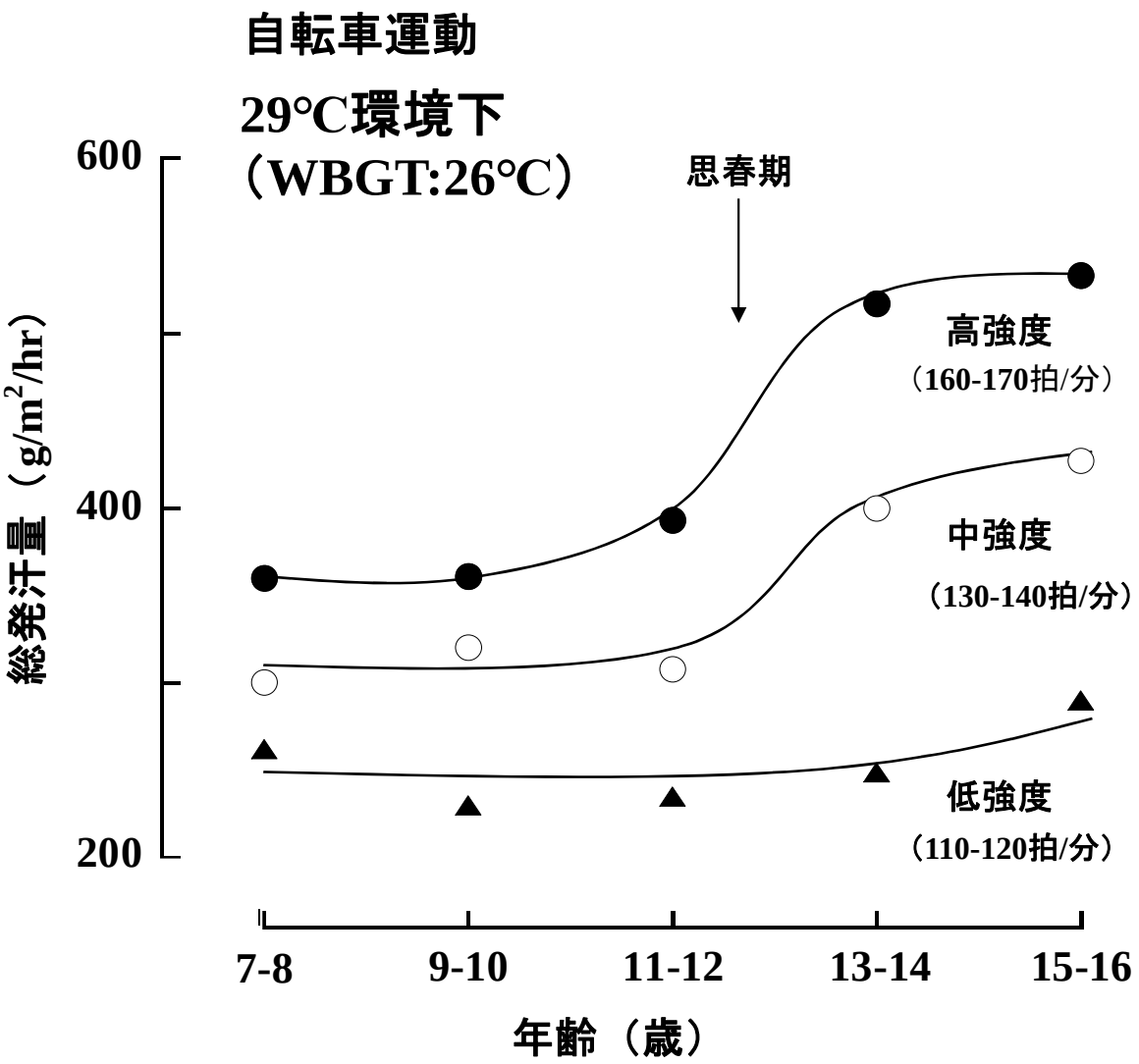




ヨウ素でんぷん法
（汗腺数の測定）

カプセル換気法
（発汗量の測定）

レーザードップラー血流計
（皮膚血流量の測定）



1．思春期前児童の発汗機能は未発達である

2．発汗機能は思春期を境に顕著に発達する

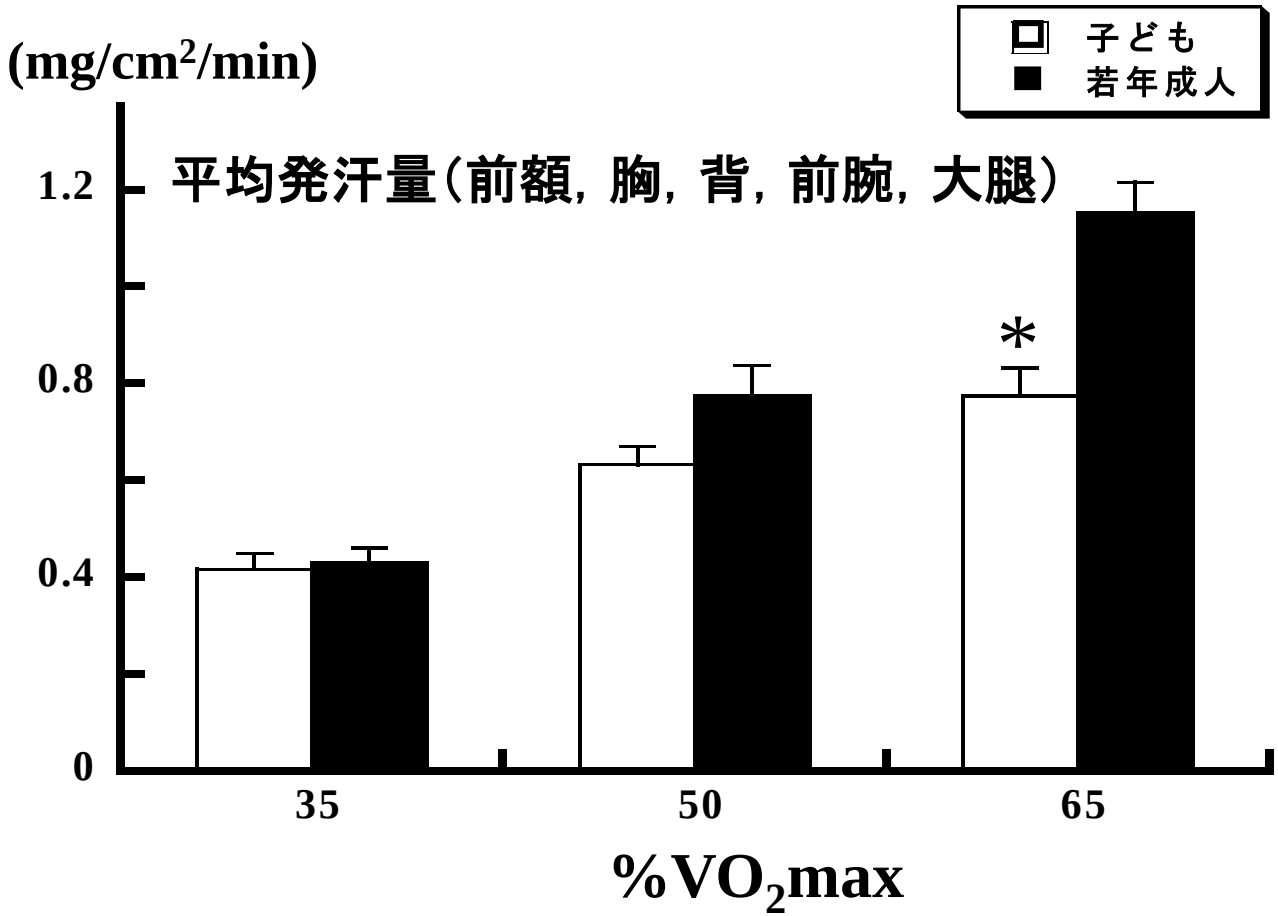
7～16歳男子における低・中・高強度運動時の総発汗量（体重減少量）

（Araki T *et al.* 1979； 井上2002 改変）

子どもの未発達な発汗機能は多量発汗が要求される条件下で顕著になる

28℃・45%RH（WBGT:23℃）
30分間，自転車運動

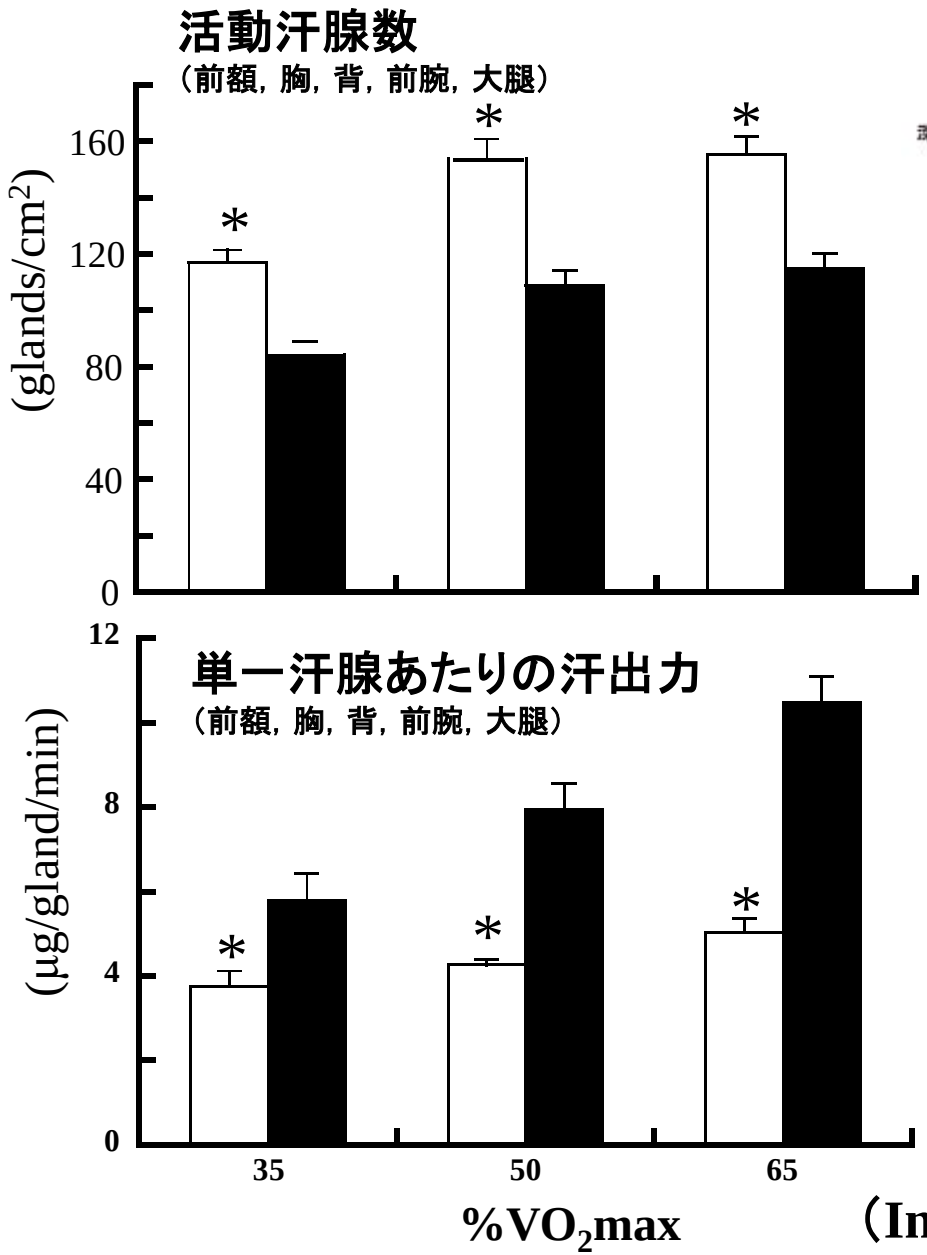
発汗量＝
活動汗腺数 x 単一汗腺あたりの汗出力

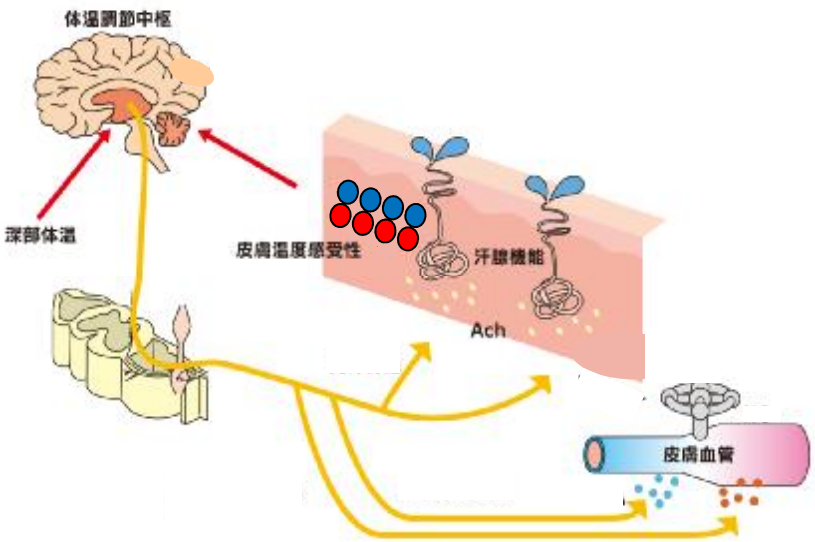


（11歳前後）

（Inoue Y *et al.* 2002）

28℃・45%RH（WBGT:23℃）
30分間，自転車運動



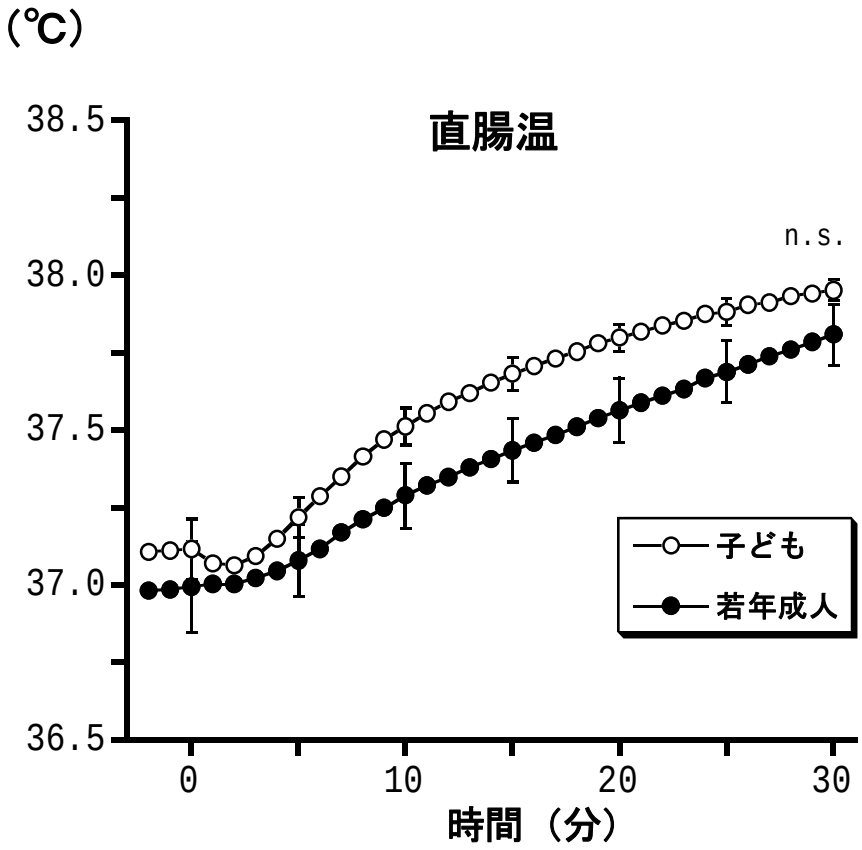


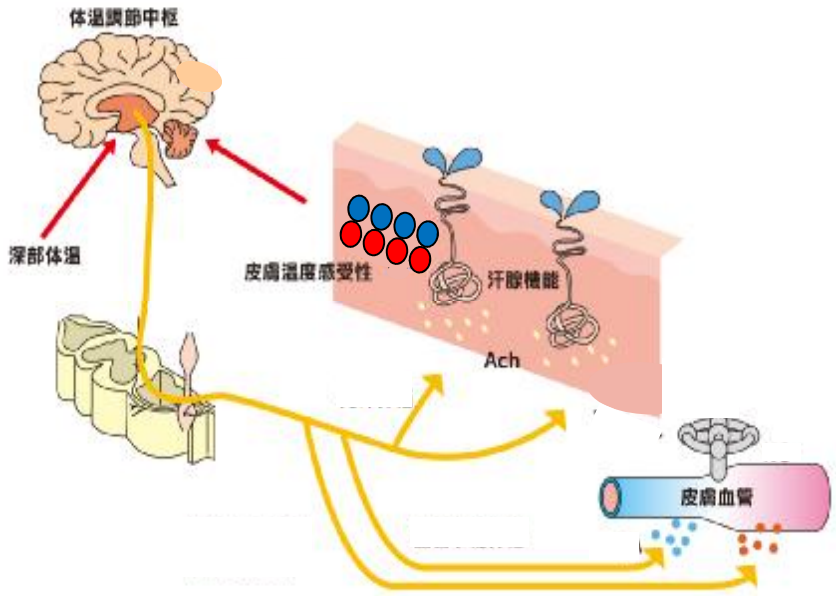
子どもの少ない発汗量は，活動汗腺数ではなく，低い単一汗腺あたりの汗出力（小さな汗腺サイズand/or低いコリン感受性を意味する）に起因する．

（Inoue Y *et al.* 2002）

28℃・45%RH（WBGT:23℃）
30分間の65%VO_2max自転車運動

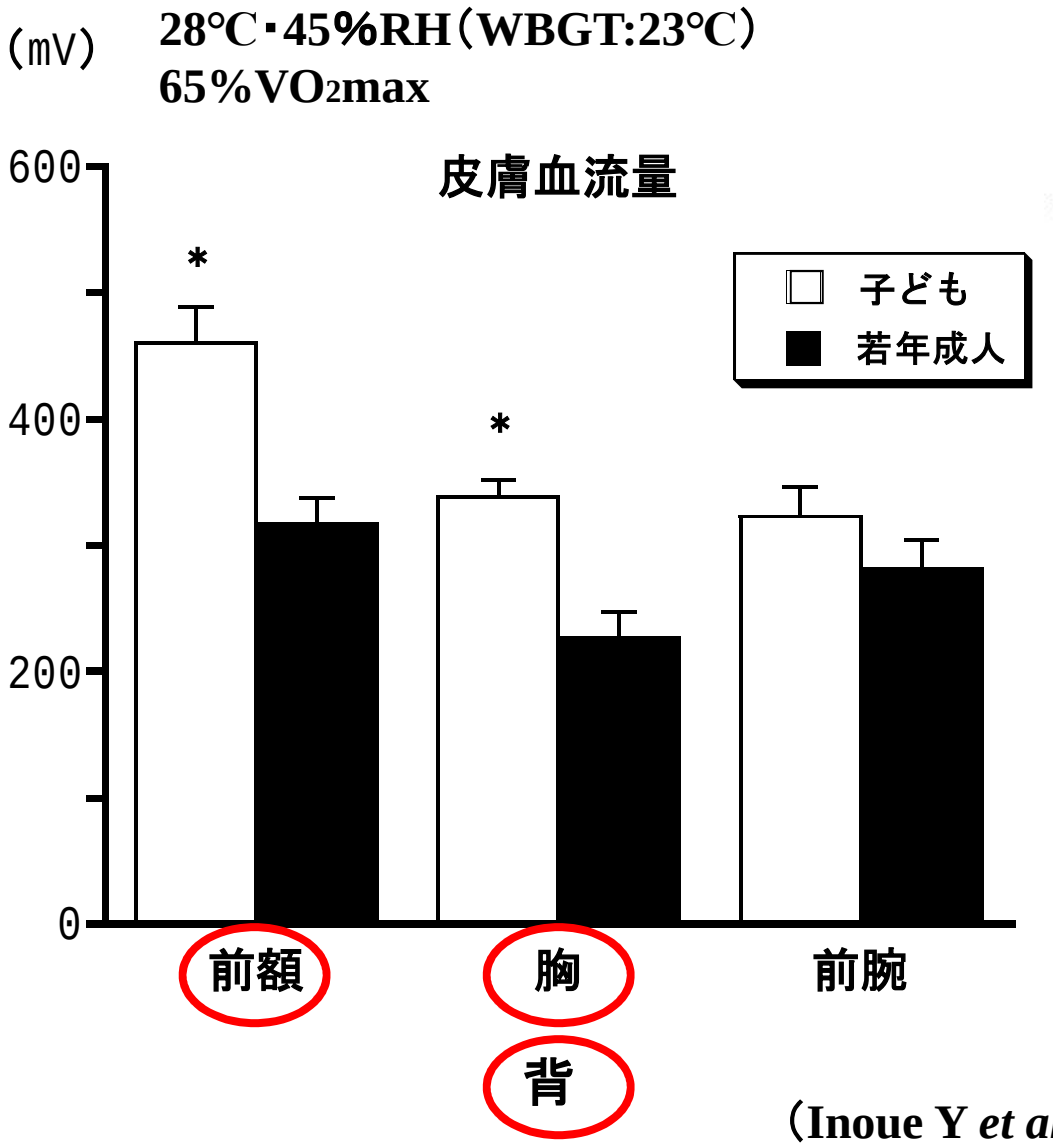
子どもは発汗機能が劣っているにもかかわらず，成人とほぼ同等に深部体温を調節できる.

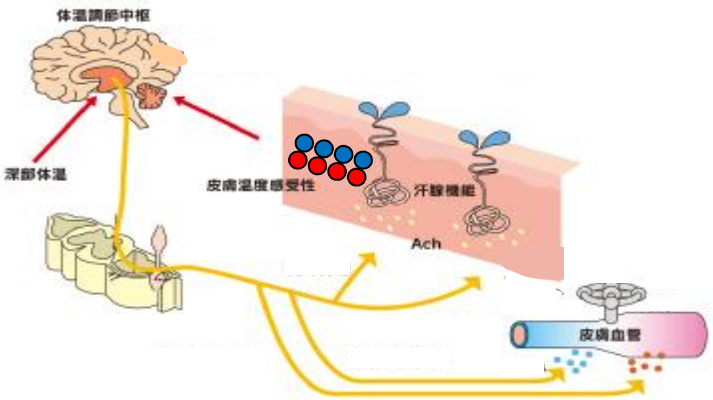




(Inoue Y. *et al.* 2002)

子どもは未発達な発汗機能を皮膚血管拡張で代償する





（Inoue Y *et al.* 2002）

子どもの体格特性

体表面積・・・体熱を放散するところ
体重・・・体熱を産生するところ

体表面積/体重比 （熱放散や熱獲得に影響）

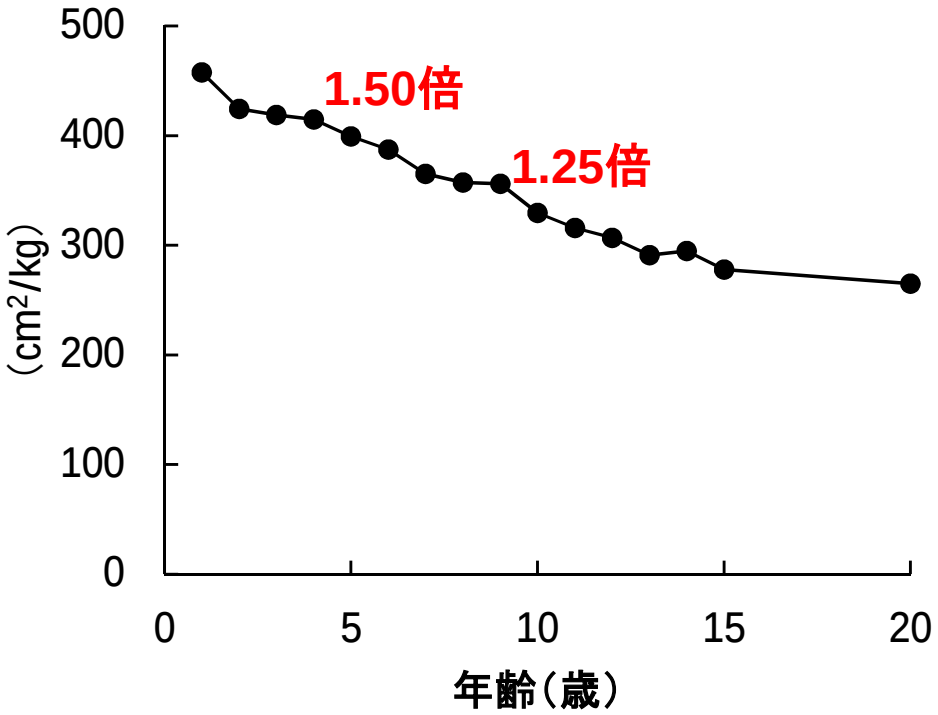
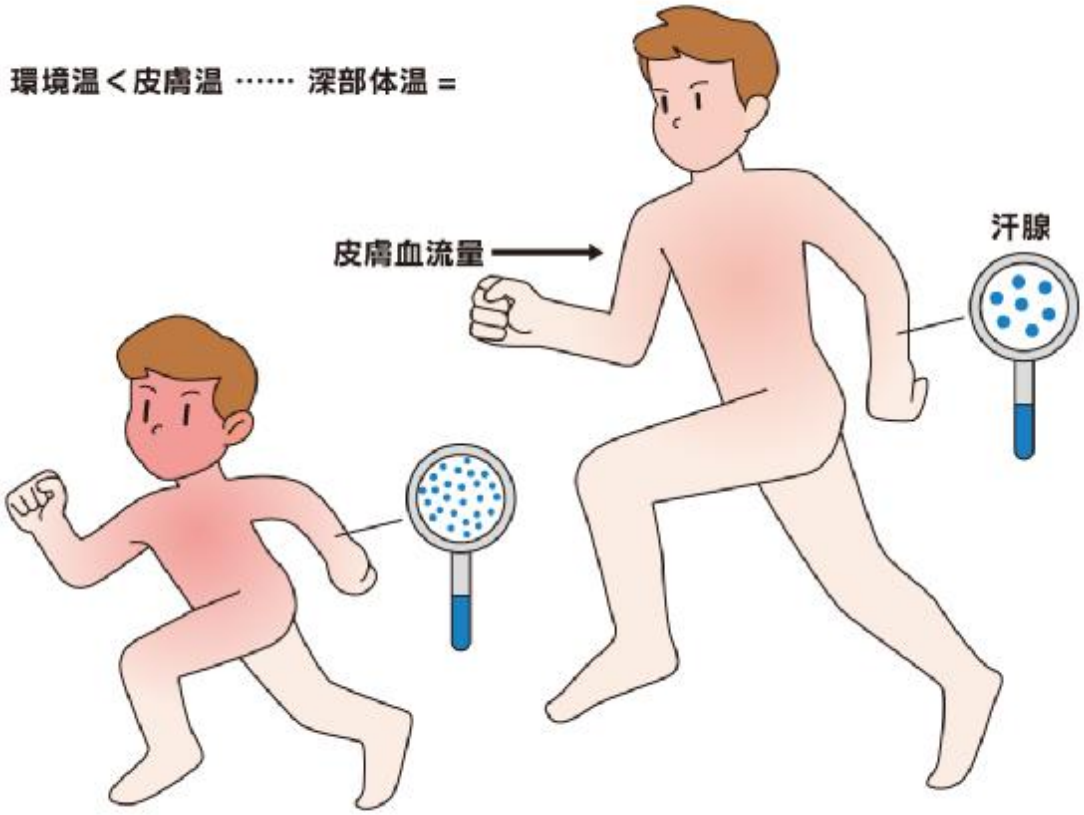


図　1歳～20歳男性の体表面積/体重比
（国民栄養調査，2018）

環境温＜皮膚温
子どもの身体は，物理的に大人より冷めやすい

環境温＜皮膚温

子どもは彼らの熱放散特性（未発達な発汗機能を皮膚血管の拡張で代償する）と体格特性（大きな体表面積/体重比）により深部体温を成人とほぼ同等に調節できる.



環境温＞皮膚温

・子どもの身体（大きな体表面積/体重比）は，物理的に熱しやすい

・未発達な発汗機能

↓

深部体温（生体負担）が大きい？？

vs．大学ソフトボール女子選手
（暑さ指数: 30.7 ℃，運動強度: 3192±235 steps/h ）

暑さ指数↓（28.7 ℃）

運動強度↓（1865±69 steps/h）

子ども（11歳前後）は，若年成人より軽度な内的・外的温熱刺激条件下で活動していた

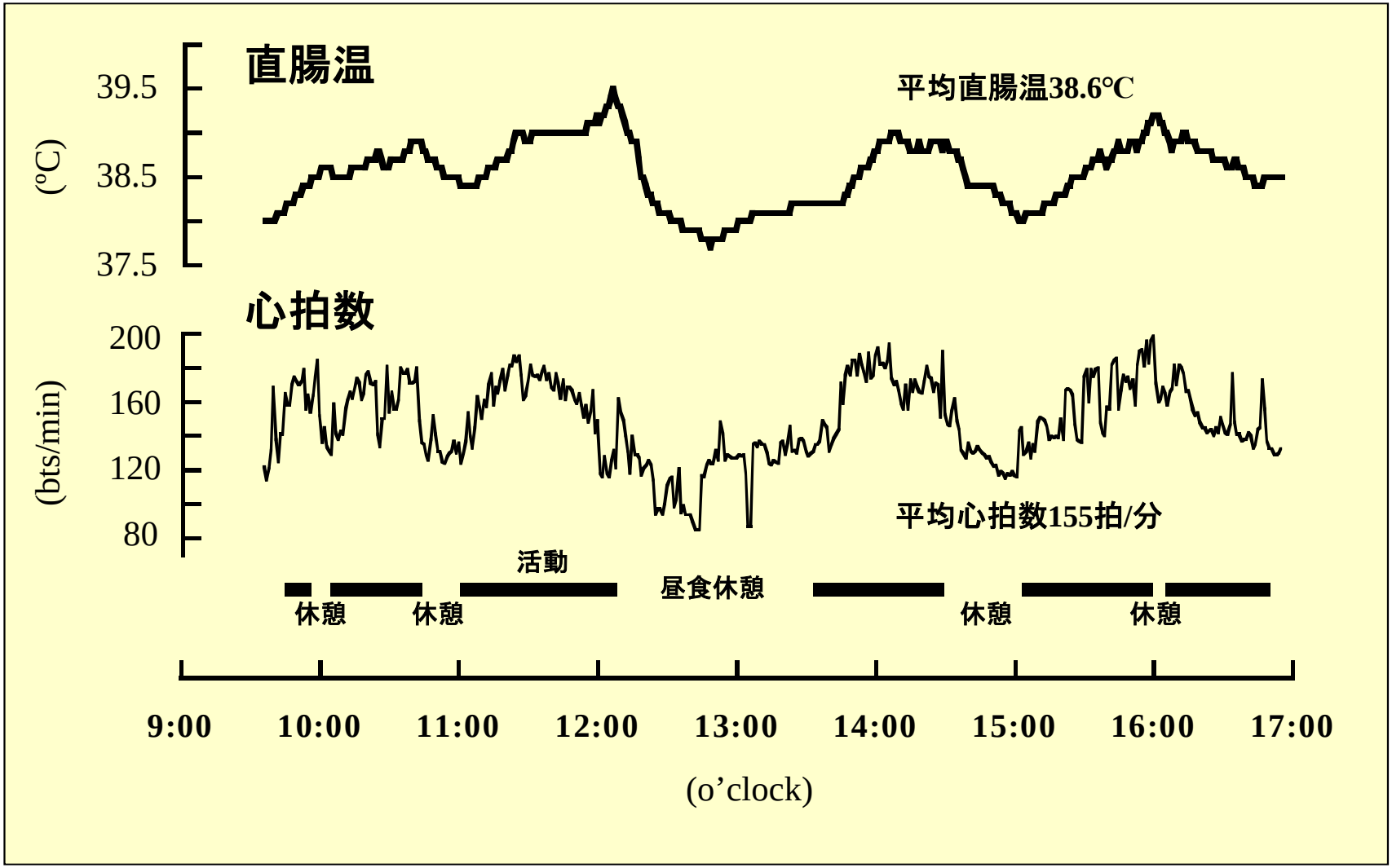
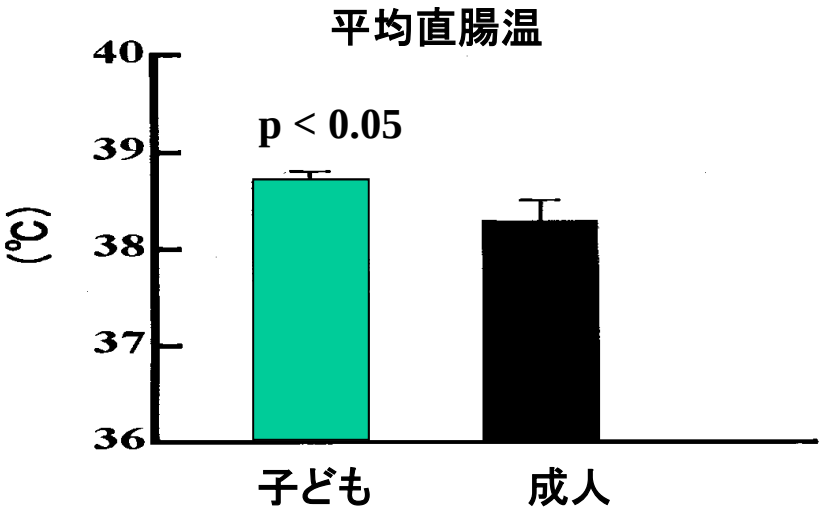
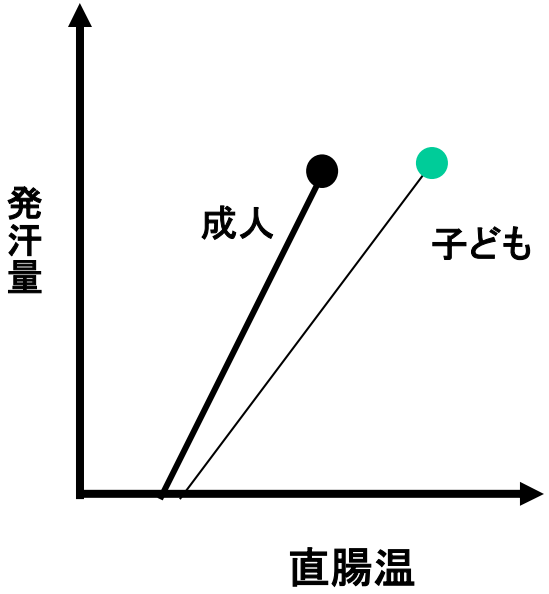
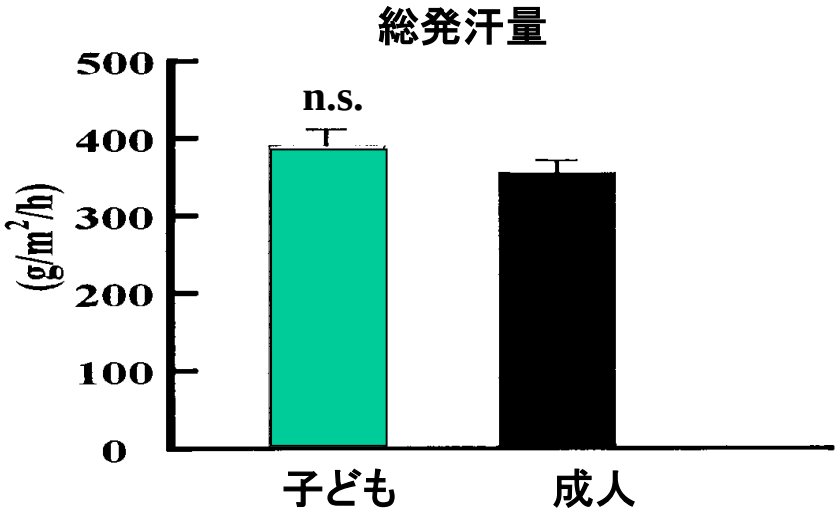


図1．少年野球練習時における直腸温と心拍数の経時的変化の一例 （Subj. KR）
（井上ら，2002）

真夏のフィールド実験（子ども vs 成人女子）



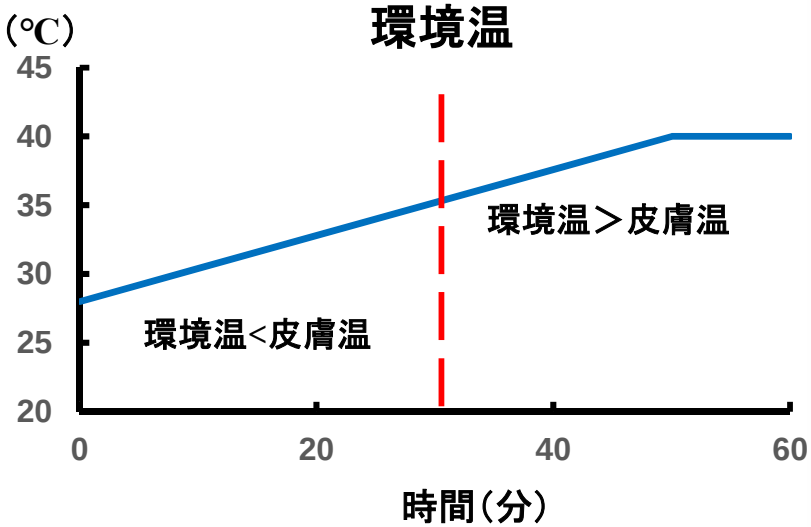




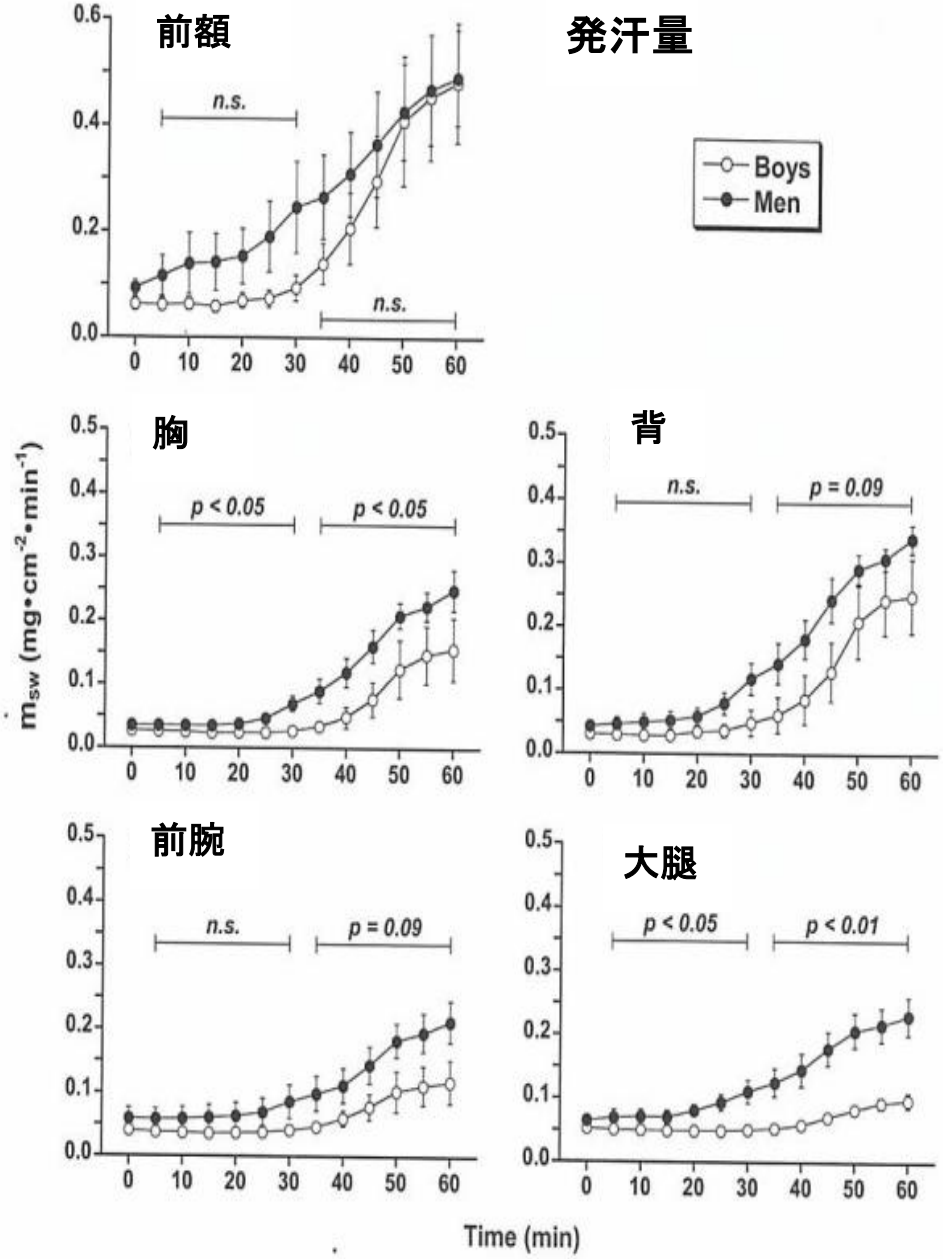
夏季におけるバスケットボール or 野球練習時の子ども（n=10）は，ソフトボール練習時の成人女子（n=6）より軽度な内的 or 外的温熱刺激下で活動していたにもかかわらず，直腸温は成人より高かった.

（井上ら，2002）

暑熱暴露実験
（WBGT 23➜33℃，9-11歳）



子どもの大きな生理的・主観的生体負担は，低い発汗量による低い蒸散性熱放散と大きな体表面積/体重比による大きな熱獲得に起因したものと考えられる.

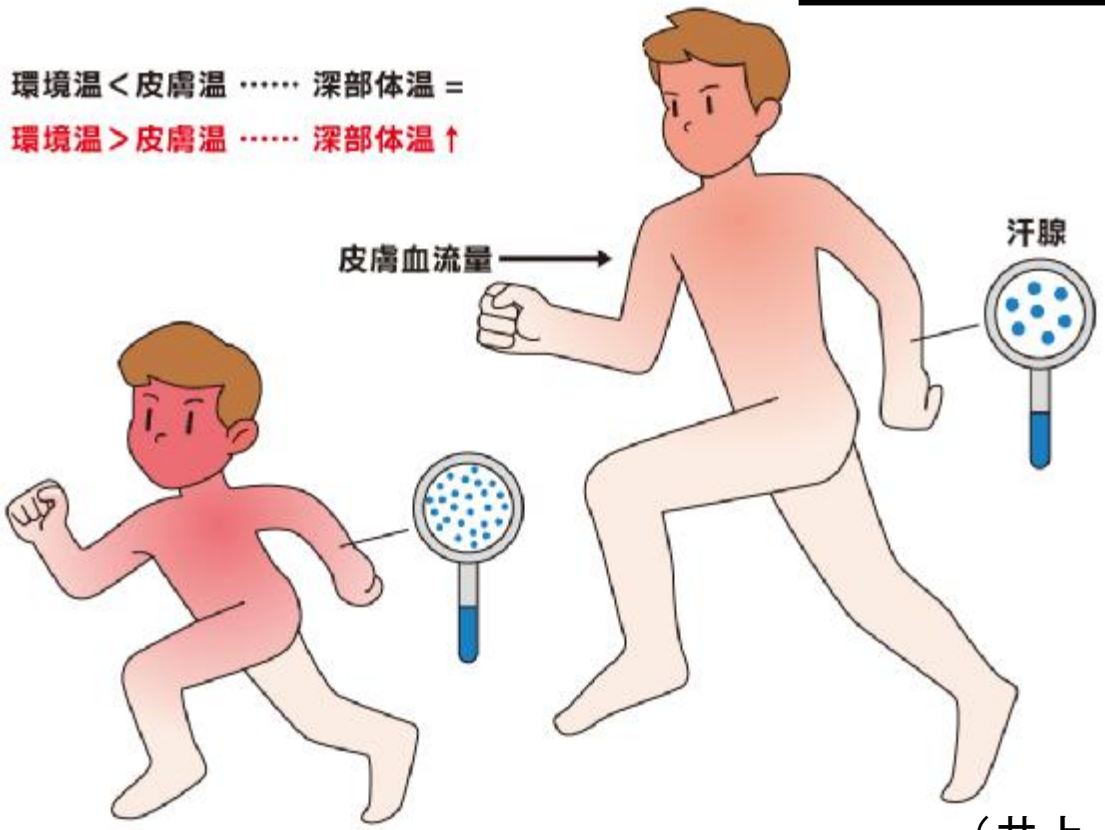


(Inoue Y *et al.* 2009)

発汗機能は未発達

体表面積／体重
子ども＞成人

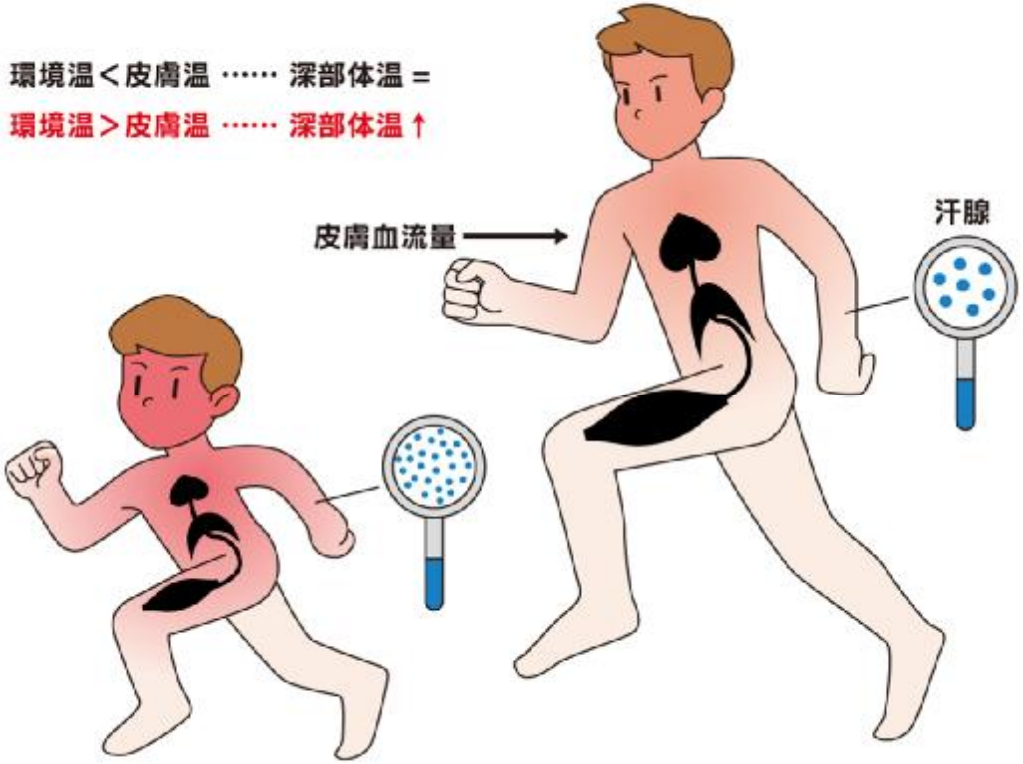
子どもが真っ赤な顔をして「汗っかき」にみえる場合には，温熱ストレス（深部体温上昇）が大きくなっていると捉えるべきである．



（井上　2002）

環境温＞皮膚温の条件では，子どもの大きな体表面積/体重比が熱獲得を促進するとともに，未発達な発汗機能が大きく影響し（この環境条件では汗の蒸発が唯一の熱放散経路），子どもの深部体温上昇が若年成人より大きくなる．そのため，真夏には子どもがより一層熱中症ハイリスクグループになる．

高温下での子どもの循環特性



高温暴露（サウナ70℃，20% RH，10分間）において，その終了直後に子ども（2～5歳，5～10歳）では顕著な血圧低下が観察されている（Jokinen et al. 1990）．

↓

これが子どもによく観察される熱失神の原因かもしれない．

皮膚血流量 ↑

一回拍出量・血液量 ↓

活動筋への血液量
（循環負担度が大きい） ↓

高温下運動時において子どもの運動パフォーマンスの低下が大きいことを部分的に説明しているかもしれない（Inoue et al. 2002）．

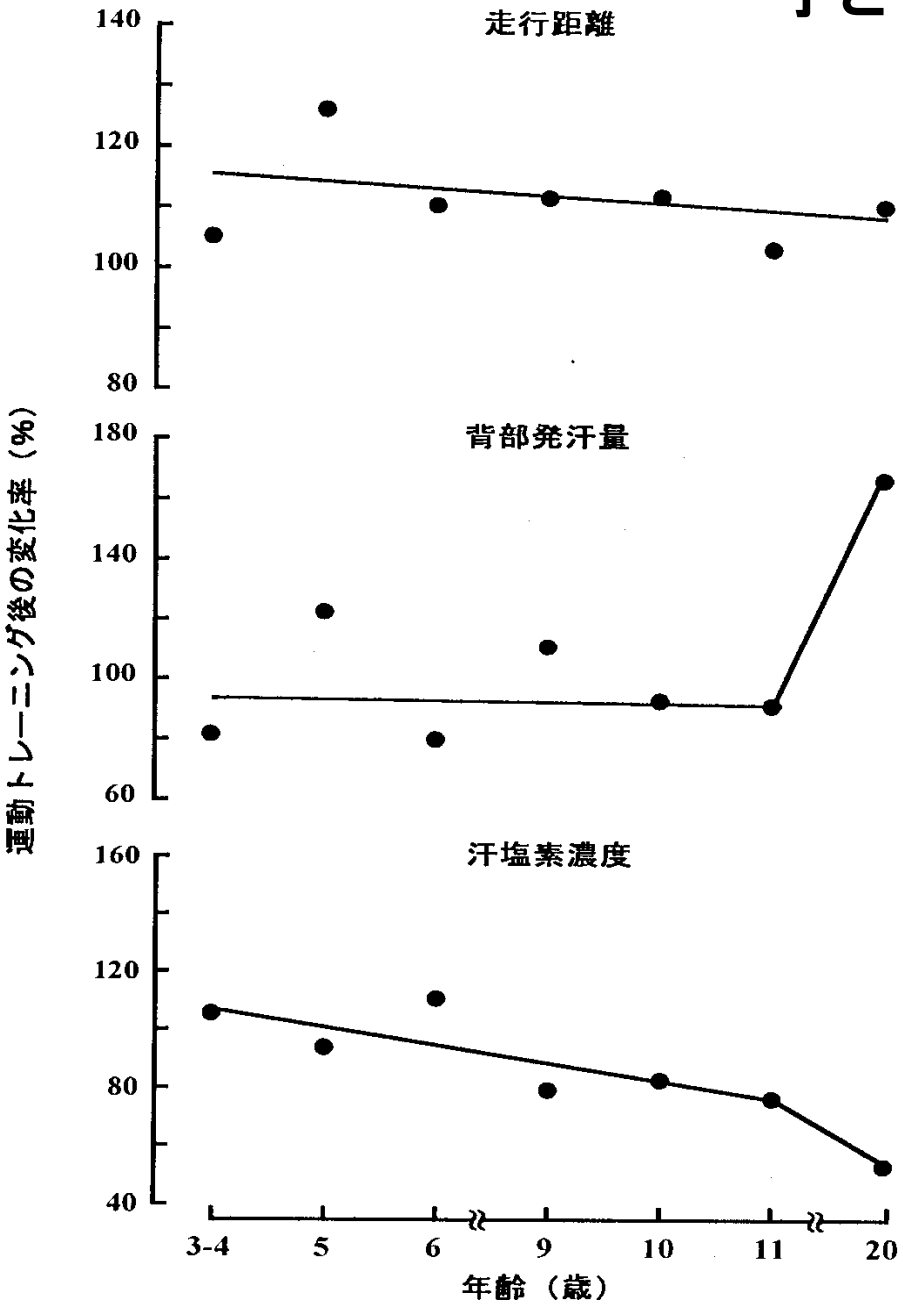
熱中症予防運動指針

WBGT℃	湿球温度℃	乾球温度℃		
31	27	35	運動は原則中止	WBGT31℃以上では、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。
28	24	31	厳重警戒（激しい運動は中止）	WBGT28℃以上では、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。運動する場合には、頻繁に休息をとり水分・塩分の補給を行う。体力の低い人、暑さになれていない人は運動中止。
25	21	28	警　戒（積極的に休息）	WBGT25℃以上では、熱中症の危険が増すので、積極的に休息をとり適宜、水分・塩分を補給する。激しい運動では、30分おきくらいに休息をとる。
21	18	24	注　意（積極的に水分補給）	WBGT21℃以上では、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。
			ほぼ安全（適宜水分補給）	WBGT21℃未満では、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が望ましい

2）乾球温度を用いる場合には、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

子どもの運動トレーニングと発汗能力



運動トレーニング（n=271）:
3～6歳児：500m走を2～5回/週，
8～16週間
9歳以上：5分間走を3～4回/週，
5～7週間

子どもの発汗機能は運動トレーニングで若干亢進したものの，大人ほど期待できないことを示す．

・循環に関連する指標には運動の効果が明らかにされている．

子どもにも日頃から適度に外遊びを奨励し，暑熱順化を促進させましょう

（運動の習慣化が将来的に発汗機能の亢進に結び付く）．

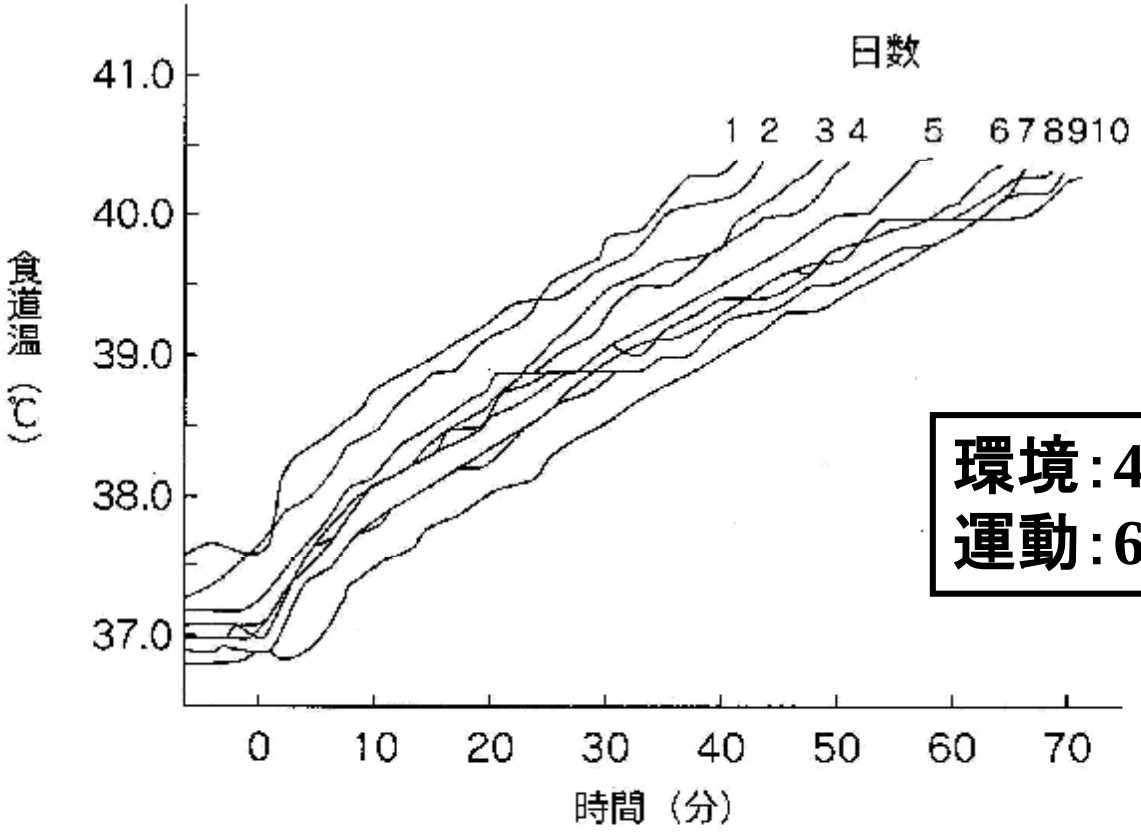
(Araki T et al. 1979; 井上　改変　2002)

急な暑さに要注意

熱中症事故は、急に暑くなったときに発生しています。夏の初めや合宿の初日、あるいは夏以外でも急に気温が高くなったような場合に熱中症が起こりやすくなります。急に暑くなったら、軽い運動にとどめ、暑さになれるまでの数日間は軽い短時間の運動から徐々に運動強度や運動量を増やしていくようにしましょう。

運動トレーニング　→　暑さに強くなる（暑熱順化）

図17　高温下での運動トレーニングと運動継続時間



(Nielsen et al.1993[25])

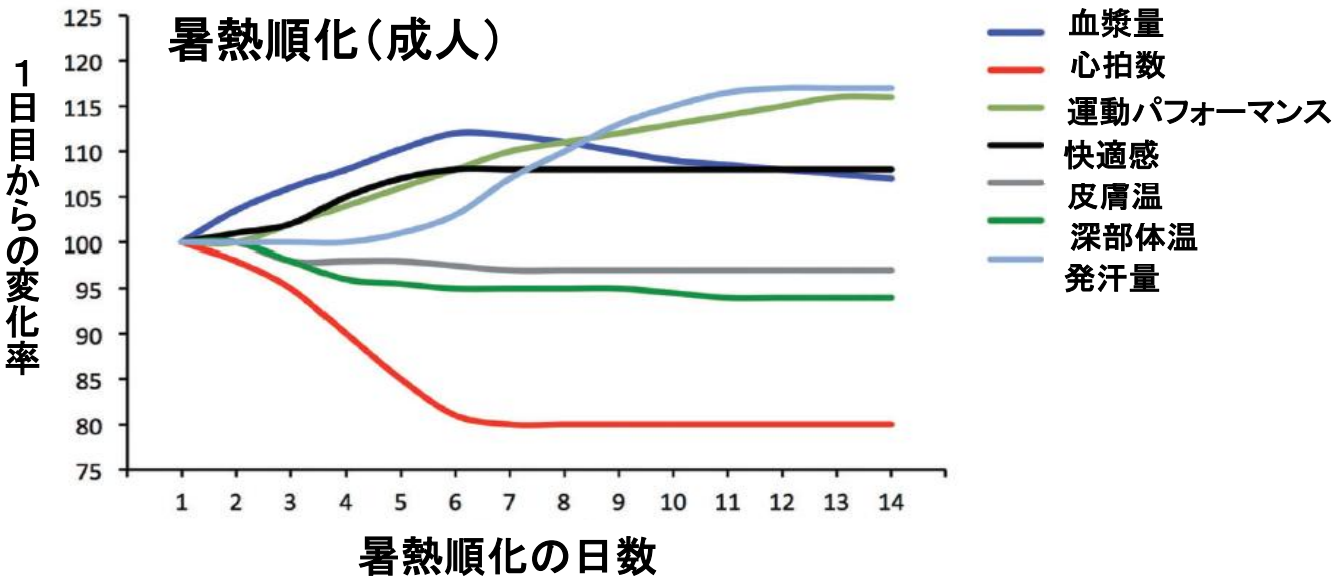
環境：40℃
運動：60％VO2max

子どもも暑さに適応する（暑熱順化）が，その速度は成人より遅い．

子どもの暑熱順化データ

（1）Bar-Or O（1980）：２週間，週３回の暑熱プログラム（43℃・21%RHでの軽運動）を負荷した結果，子どもの暑熱順化速度は成人より遅い．

（2）荒木　勉　ら（1990）：冬季と夏季における暑熱環境下の発汗量の季節差を検討した結果，その季節的変動は子ども（４歳児）が成人より小さかった．



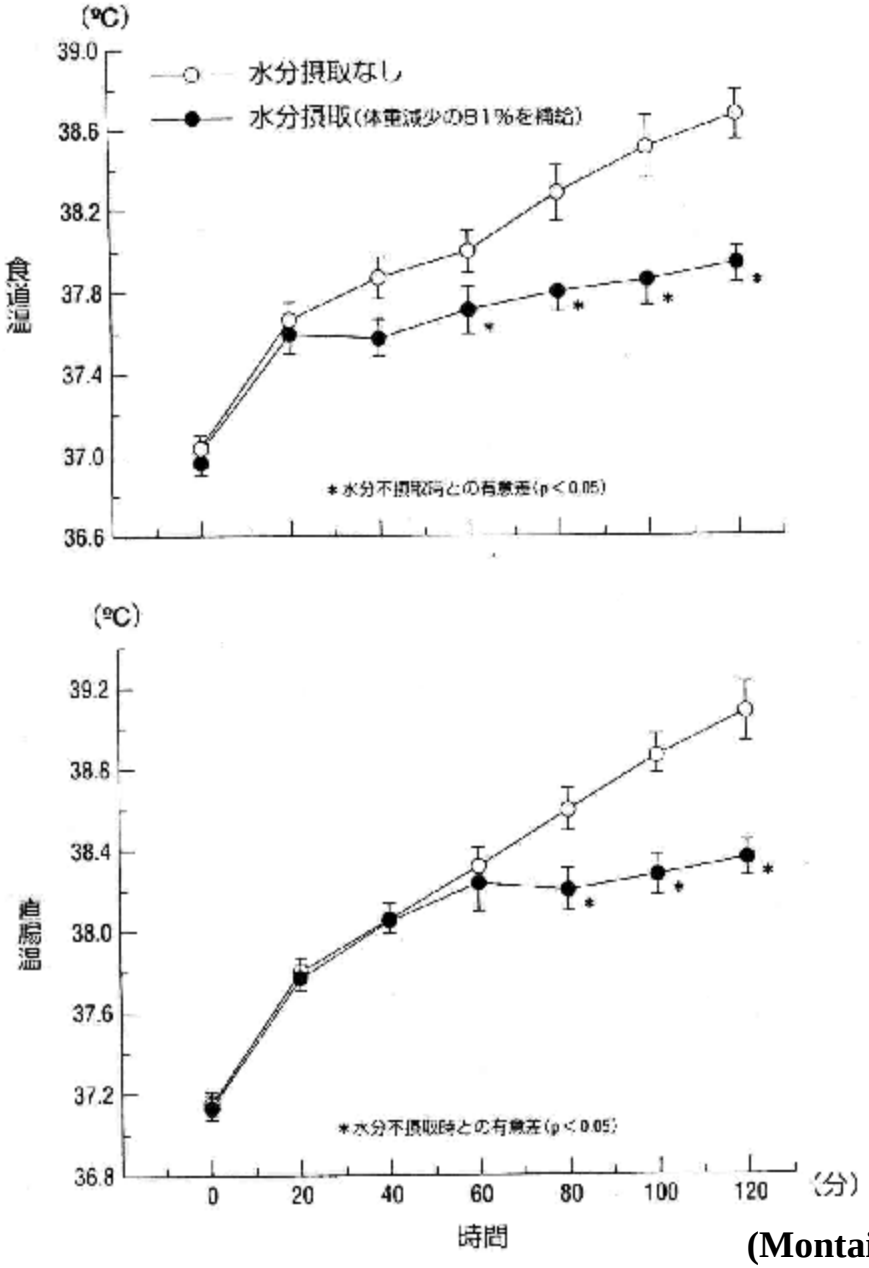
（Sawka et al. 2011)

失われる水と塩分を取り戻そう

暑いときには、こまめに水分を補給しましょう。汗からは水分と同時に塩分も失われます。スポーツドリンクなどを利用して、0.1～0.2%程度の塩分も補給するとよいでしょう。

水分補給量の目安として、運動による体重減少が2%をこえないように補給します。運動前後に体重をはかることで、失われた水分量を知ることができます。運動の前後に、また毎朝起床時に体重をはかる習慣を身につけ、体調管理に役立てることがすすめられます。

65%VO_2max (33℃, 50%RH)

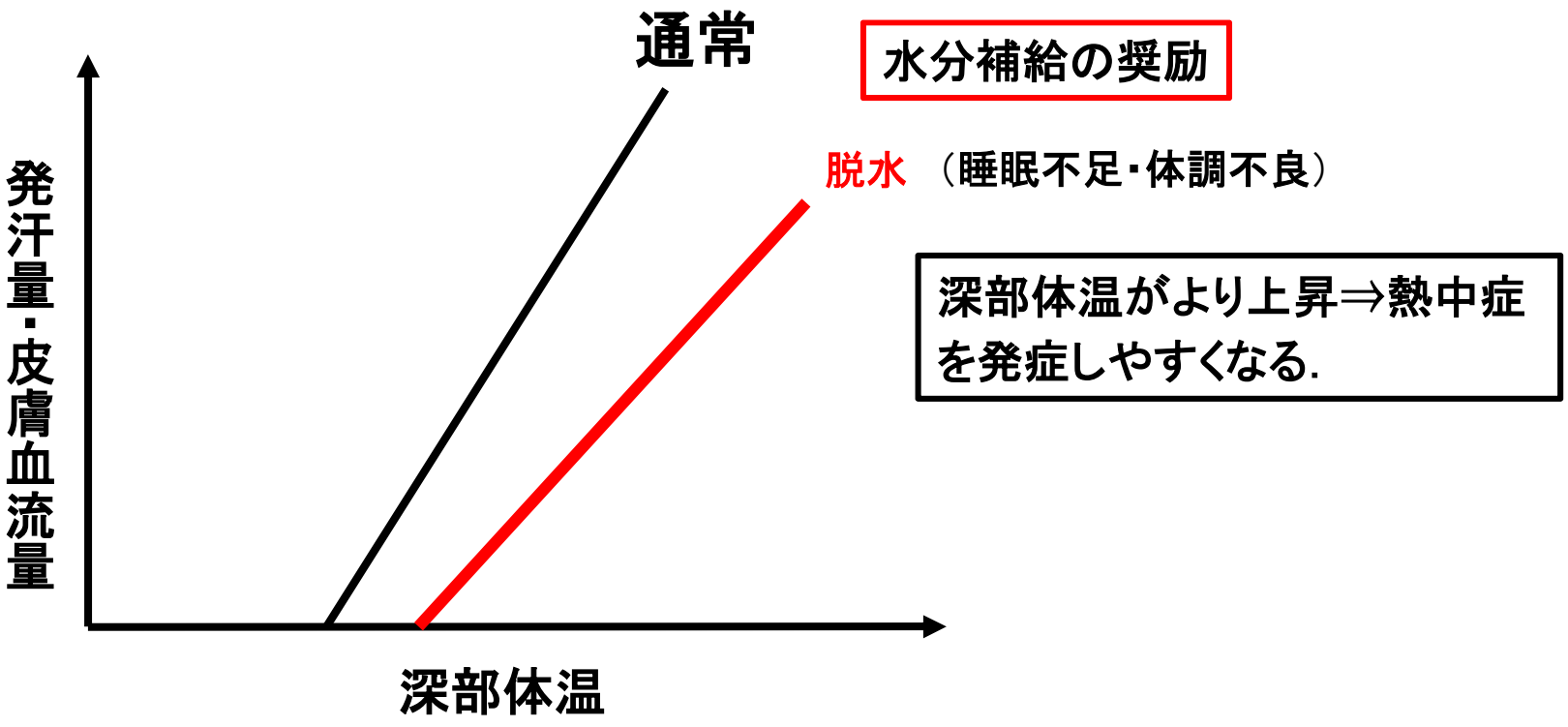


(Montain et al. 1992)

水分補給
↓
深部体温の上昇を抑制

総発汗量（体重減少量）の60-80%の水分補給が奨励されている（日本スポーツ協会）

こまめな飲水ほど直腸温の上昇を抑制する



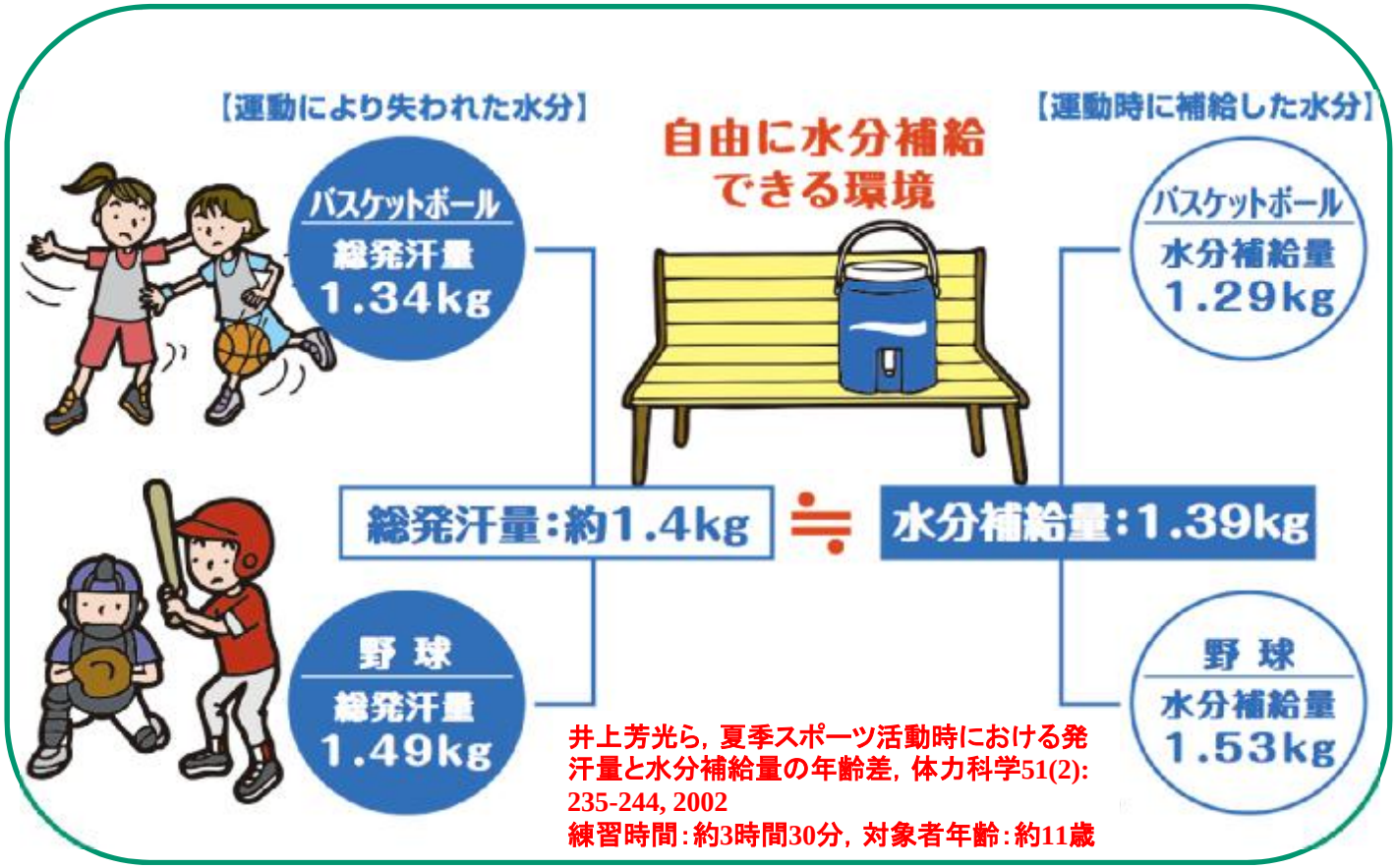
脱水，睡眠不足，体調不良に伴う発汗量・皮膚血流量の変化の模式図

子どもの水分補給

（スポーツ飲料の自由飲水）

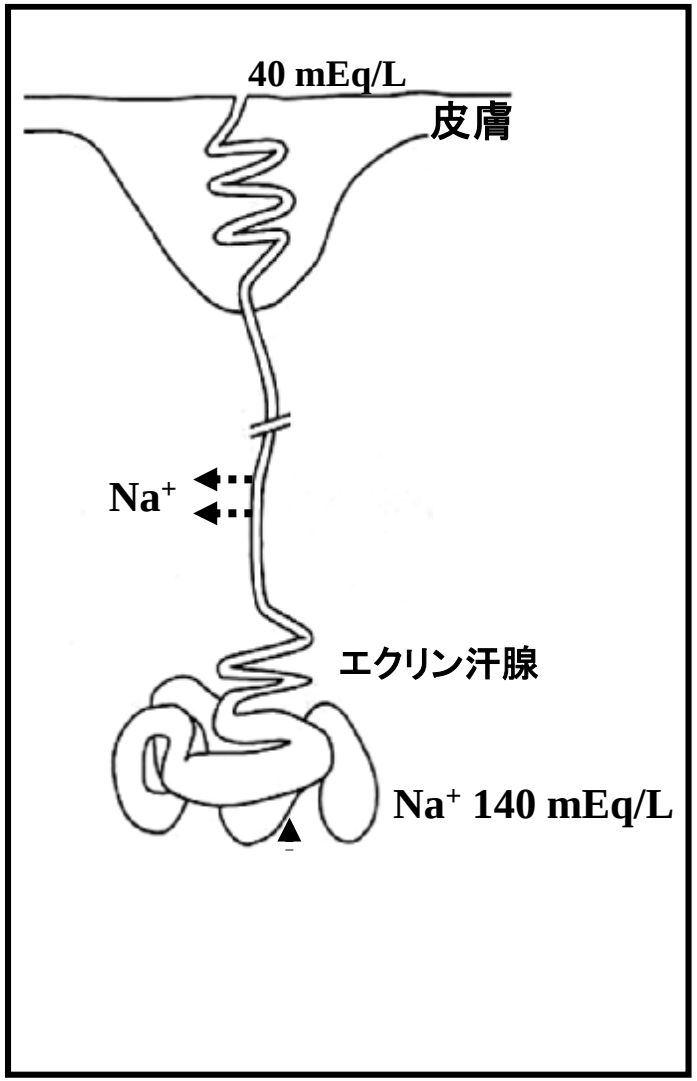
大人：発汗量の60-70％を
水分補給した

子どもの口渇感が劣っているとは考えられず，安全な日常生活のためには，口渇感に応じて自由飲水ができるように指導し，その能力を磨くべきです．



塩分補給の重要性

子どもは大人と同等の汗腺の塩分再吸収能力を有している



薄着スタイルでさわやかに

皮膚からの熱の出入りには衣服が関係します。暑いときには軽装にし、素材も吸湿性や通気性のよいものにしましょう。屋外で、直射日光がある場合には帽子を着用するとよいでしょう。防具をつけるスポーツでは、休憩中に衣服をゆるめ、できるだけ熱を逃がしましょう。

幼児は衣服の選択・着脱に関する適切な知識・行動を身につけていない.

こんな人は要注意！

y1

まとめ

1．子どもが熱中症になりやすい要因

（1）発汗機能が未発達

（2）体格的特徴（大きな体表面積/体重比）：環境温＞皮膚温

（3）暑熱順化・季節馴化が遅い

（4）循環調節（血圧）が未発達

2．子どもの熱中症を防ぐポイント （熱中症環境保健マニュアル2018，環境省）

（1）顔色や汗のかき方を観察しましょう

子どもを観察したとき，顔が赤く，ひどい汗をかいている場合には，深部体温がかなり上昇していると推察できるので，涼しい環境下で十分な休息を与えましょう．

（2）適切な飲水行動を学習させましょう

喉の渇きに応じて適度な飲水ができる（自由飲水）能力を磨きましょう．

（3）日頃から暑さに慣れさせましょう

日頃から適度な外遊びを奨励し，暑熱順化を促進させましょう．

（4）服装を選びましょう

幼児は衣服の選択・着脱に関する適切な知識・行動を身につけていない．そのため，保護者や指導者は熱放散を促進する適切な衣服を選択し，環境条件に応じて衣服の着脱を適切に指導しましょう．

スライド 32

y1 YI, 2023/05/17