

Regolazione della temperatura corporea

FGE aa.2015-16

ARGOMENTI

Bilancio del calore del corpo

Meccanismi di termogenesi e termolisi

Risposte fisiologiche al caldo e al freddo

Termoregolazione nel lavoro muscolare

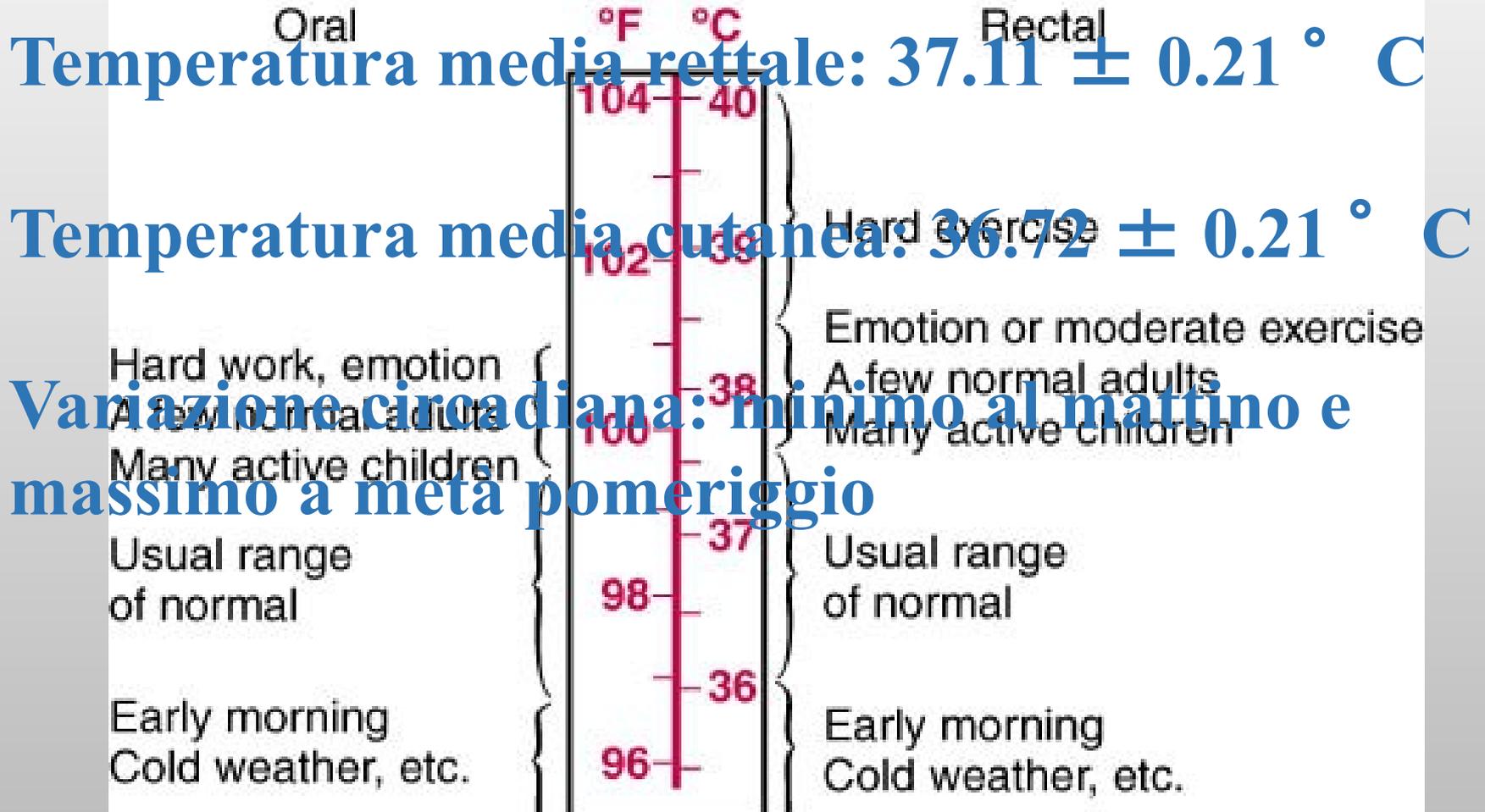
Equilibrio idrico e attività fisica

Acclimatazione al caldo e al freddo

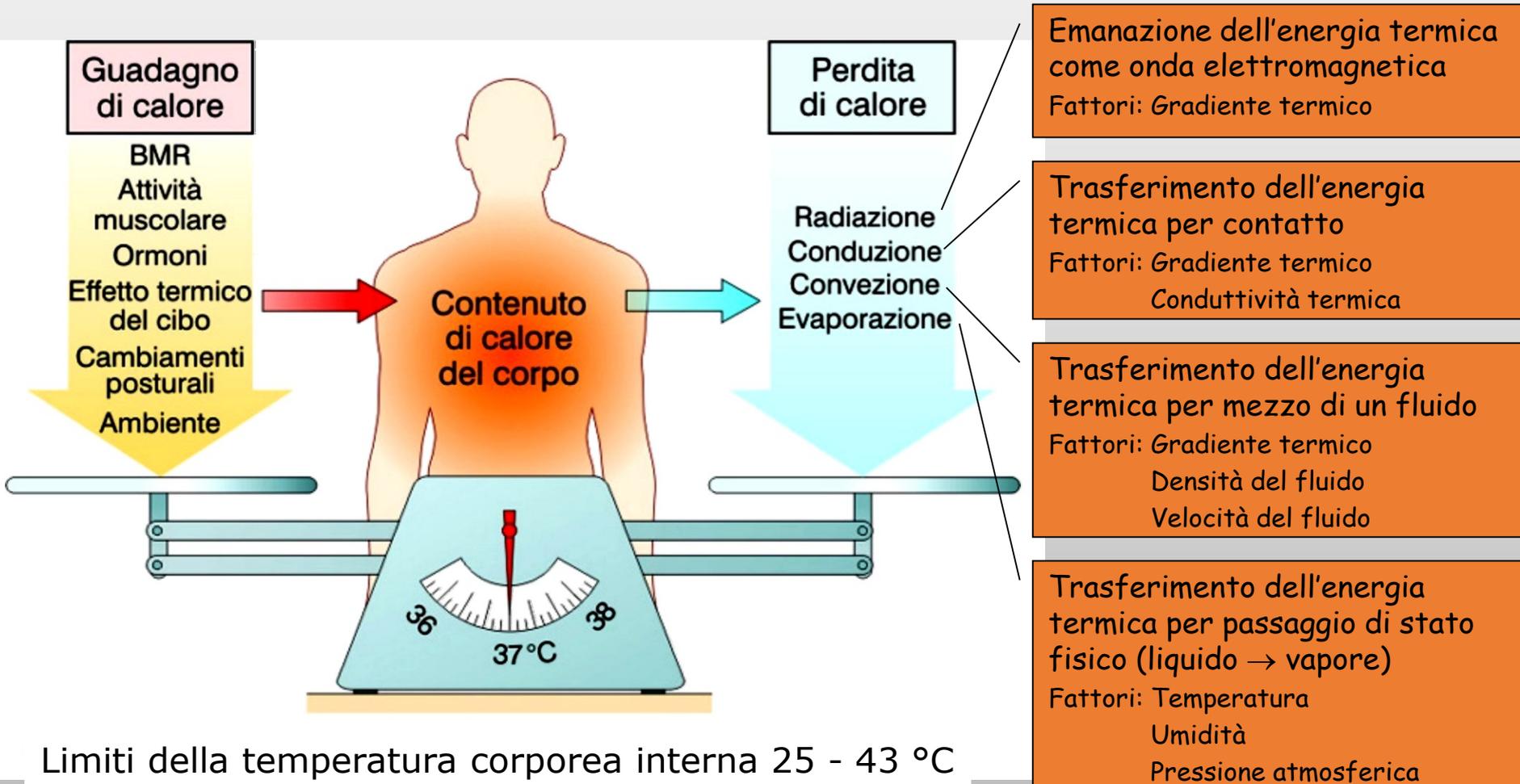
Introduzione

- Animali **poichilotermi**: la temperatura interna fluttua a seconda della temperatura ambiente
- Animali **omeotermi** (a sangue caldo): produzione e dispersione del calore sono regolate in modo da mantenere la temperatura interna entro limiti ristretti malgrado le condizioni ambientali varino entro un vasto ambito.

Temperatura normale dell' organismo



Bilancio del calore

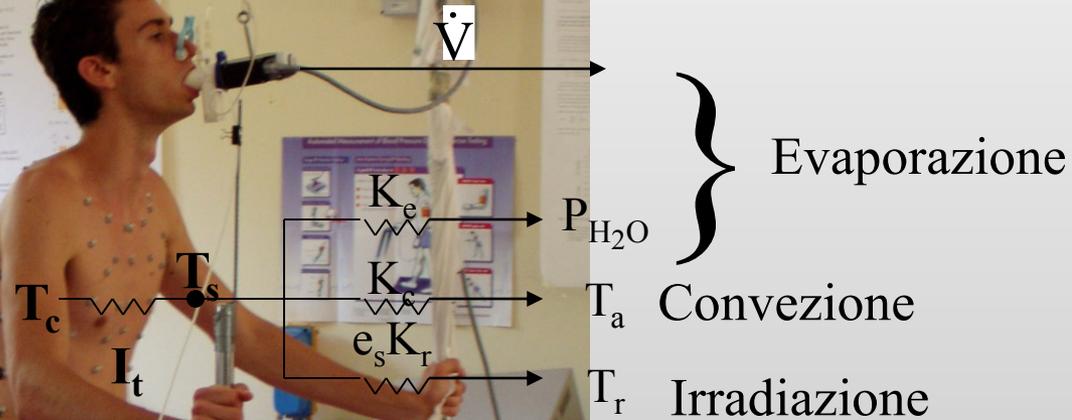
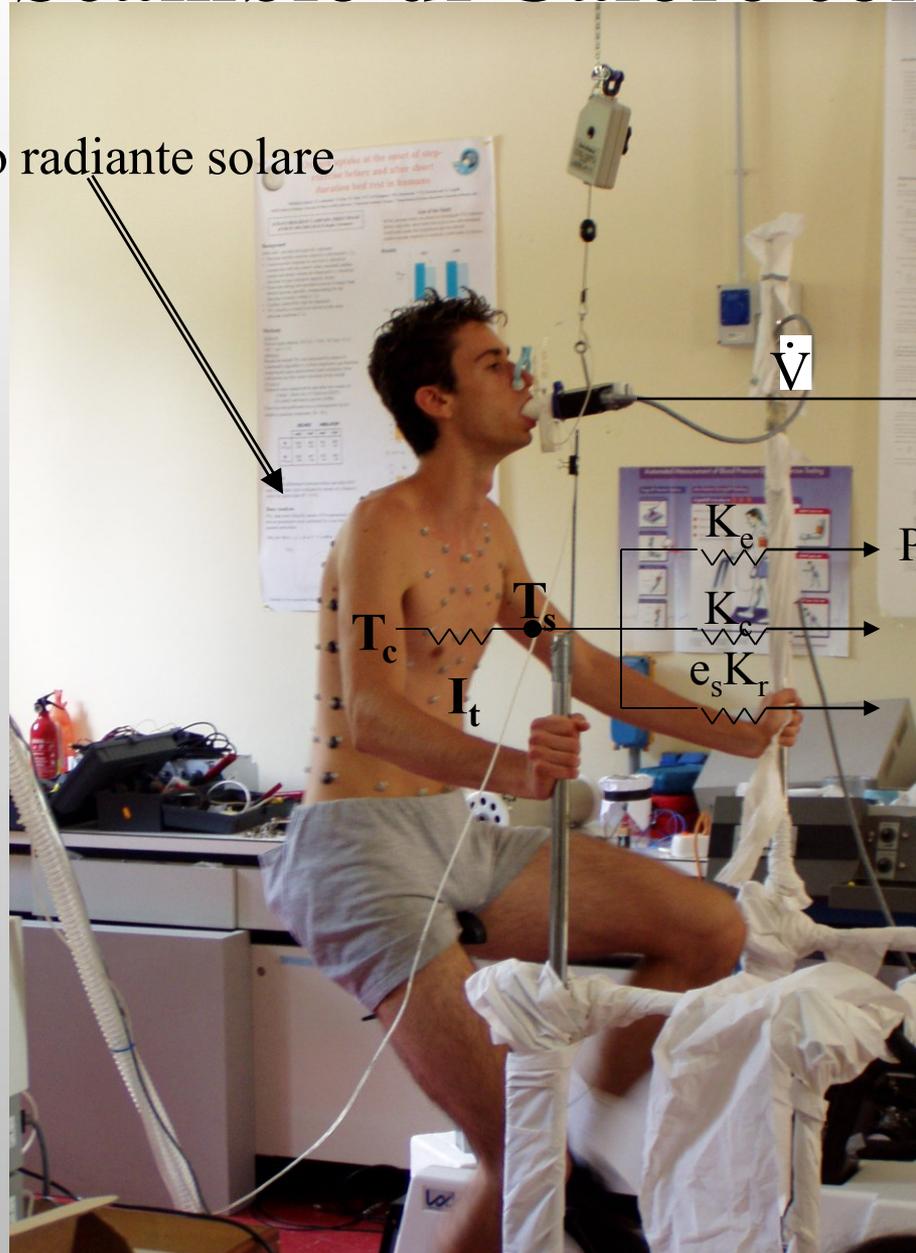


Limiti della temperatura corporea interna 25 - 43 °C



Scambio di Calore con l'Ambiente

Flusso radiante solare



Scambio di Calore con l' Ambiente

- Il flusso di calore per unità di area esposta attraverso ciascuna via dipende:
 - dal prodotto della differenza di temperatura (o P_{H_2O}) per le relative conduttanze ($e_s K_r$, K_e , K_c)

Il calore totale trasportato dalla superficie è la somma dei flussi di calore attraverso le tre vie per le superfici esposte meno un flusso di calore incidente da irradiazione solare

Convezione

- Passaggio di calore ad un fluido in movimento
- *Naturale* o *forzata*
- Fattori che determinano la Convezione.
 1. **Gradiente di temperatura** tra superficie corporea e aria ambiente: $(T_s - T_a)$
 2. **Superficie corporea esposta:** A_c

Convezione

3. Coefficiente di convezione K_c (kcal/m² hr °C)

Tiene conto della velocità con cui le correnti di convezione portano aria alle superficie del corpo per partecipare allo scambio di calore; dipende da densità, viscosità, velocità dell'aria libera e forma della superficie

Calore netto perso:

$$H'_c = K_c A_c (T_s - T_a)$$

Il prodotto $K_c A_c$ ha le dimensioni di una conduttanza termica (θ_c)

Esempi

- Individuo nudo a riposo:
Individuo vestito a riposo:

$$T_a = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$K_c = 6 \text{ kcal/m}_2 \text{ hr } ^\circ\text{C}$$

$$T_{sc} = 33 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_s \approx 30.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_c = 1.5 \text{ m}^2 \text{ (} A_c < S C \text{)}$$

$$A_c = 1.5 \text{ m}^2 \text{ (} A_c < S C \text{)}$$

$$M_b = 85 \text{ Kcal per m}^2 \text{ all'ora}$$

$$M_b = 85 \text{ Kcal per m}^2 \text{ all'ora}$$

$$H'_c = 36 \text{ Kcal per m}^2 \text{ all'ora}$$

42.6 % del calore totale è perso per convezione

Irradiazione

- La superficie del corpo emette energia elettromagnetica in quanti discreti chiamati fotoni che viaggiano alla velocità della luce fino a quando non siano assorbiti in corrispondenza di una superficie.
- L'energia media ed il numero di fotoni emesso nell'unità di tempo aumentano quando aumenta la temperatura della superficie.
- Anche gli oggetti densi presenti nell'ambiente emettono fotoni.
- **Irradiazione: scambio di energia tra il corpo e il suo ambiente radiante**

Irradiazione

- Quantità di energia radiante scambiata nell'unità di tempo H'_r :

$$H'_r = K_r A_r e_s (T_s - T_r)$$

- K_r : coefficiente di irradiazione ($\approx 7.0 \text{ Kcal-h/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$)
- A_r : superficie effettiva
- T_r : temperatura radiante ambientale - temperatura di quegli oggetti dell'ambiente con i quali avviene lo scambio di energia radiante.
- T_s : temperatura cutanea
- e_s : capacità di emissione della SC; frazione di energia incidente che viene assorbita (corpo umano: 0.98)

Irradiazione

- In un ambiente comune l'irradiazione è responsabile di molta parte dello scambio di energia

Esempio

$$T_a = 29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$K_c = 6 \text{ kcal/m}_2 \text{ hr } ^\circ\text{C}$$

$$T_s \approx 30.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_c = 1.5 \text{ m}^2 \text{ (} A_c < S_C \text{)}$$

$$M_b = 85 \text{ Kcl per m}^2 \text{ all' ora}$$

$$H'_r = 42 \text{ Kcal per h}$$

49 % dello scambio di calore all' equilibrio

Conduzione

- Avviene al punto di contatto tra due corpi a diversa temperatura

$$H'_k = K_k A_k (T_s - T_a) = \lambda_k (T_s - T_a)$$

- T_s e T_a sono la temperatura della cute e del corpo in contatto con la cute;
- A_k : area di contatto
- K_k : costante di proporzionalità che dipende dal coefficiente di conducibilità termica e dallo spessore del corpo a contatto con la cute
- λ_k : conduttanza termica conduttiva

Evaporazione

- Energia necessaria per far passare l'acqua dallo stato liquido a vapore a temperatura costante: **calore latente** di vaporizzazione. L'evaporazione di 1 L di acqua sottrae una grande quantità di calore

580 Kcal per litro (0.58 Kcal per gr, acqua distillata a 37°)

1. Diffusione passiva attraverso la cute
2. Aria espirata (9 Kcal per ora a riposo)

In ambiente termicamente neutro o fresco, queste due vie rappresentano circa il 15% della perdita totale di calore

3. Effettore termoregolatore attivo:
 - se ambiente caldo, diventa il fattore determinante nello scambio **unidirezionale** (solo perdita) di calore

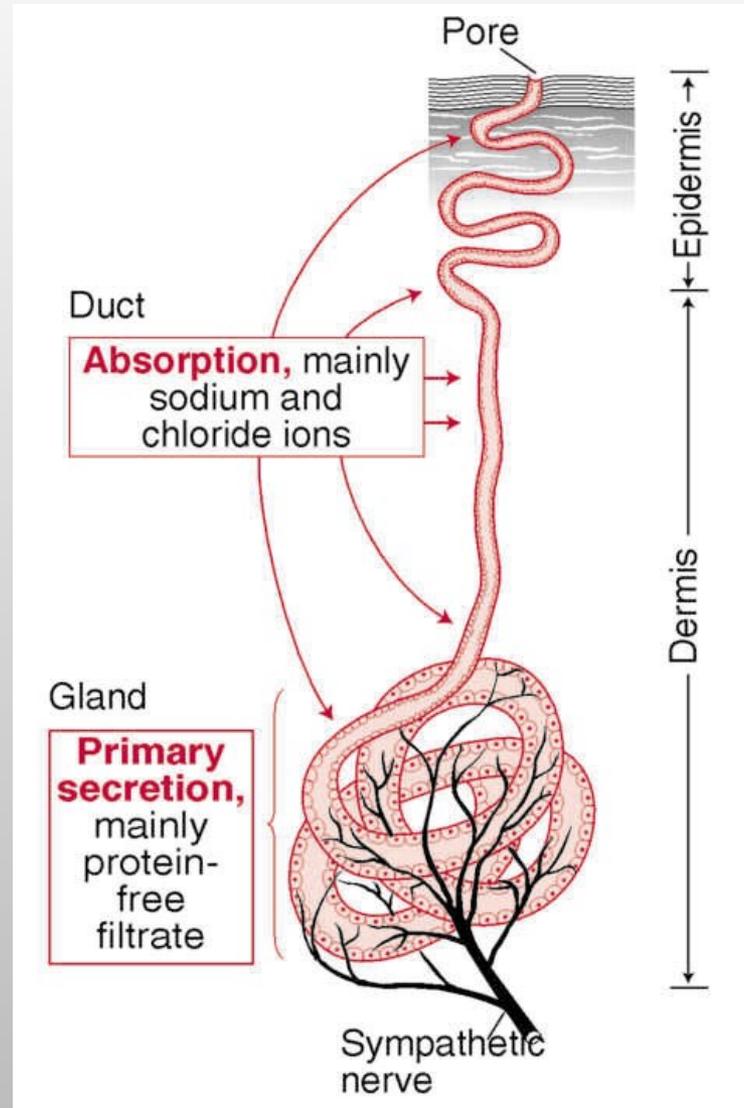
Evaporazione

4. La secrezione attiva di acqua da parte delle ghiandole sudoripare **eccrine** (inn.e **colinergica**) aumenta la quantità di acqua disponibile per l' evaporazione - sino > 1 litro per ora
5. Se l' aria è **secca**, la perdita di calore per evaporazione (H'_e) è **limitata** soltanto dalla **quantità di secrezione di sudore**:

$$H'_e \text{ (Kcal/hr)} = 580 R_{H_2O}$$

(R_{H_2O} : entità della secrezione nell' unità di tempo in litri / ora)

Ghiandole eccrine



Evaporazione

6. Se aria umida e stagnante:

$$H'_e = K_e A_w (P_{sH_2O} - P_{aH_2O})$$

$$(H'_{emax} = (P_{sH_2O} - P_{aH_2O}) v^{0.5} 110/A_w)$$

- P_{sH_2O} e P_{aH_2O} sono le pressioni parziali dell'acqua sulla superficie del corpo e nell'aria ambiente;
- A_w : superficie umida della cute
- K_e : coefficiente di evaporizzazione - dipende da calore latente e dalla velocità dell'aria ambiente sulla cute

Aspetti quantitativi

- **Capacità termica di un corpo:** rapporto tra la quantità di calore fornita e la variazione di temperatura (dQ/dT)
- **Calore specifico:** capacità termica di un corpo di massa unitaria

Calore specifico del corpo umano: $0,83 \text{ kcal/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$

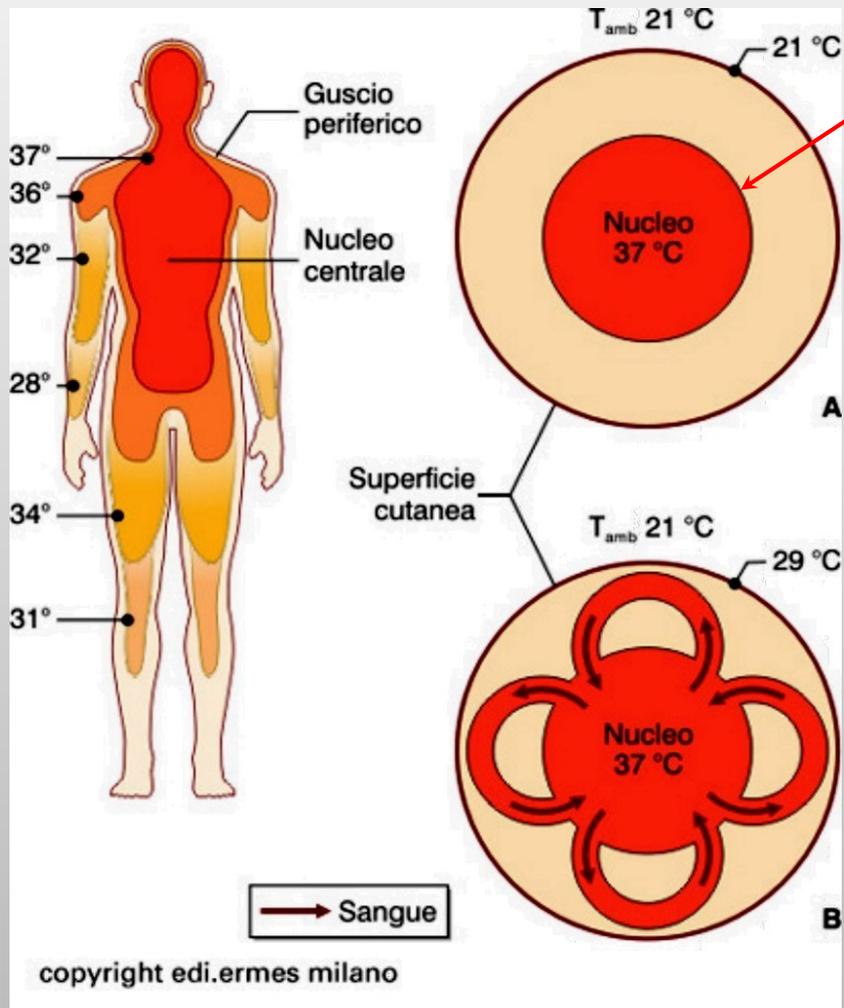
Contenuto di calore di un uomo di 70 kg a 37°C : $0,83 \times 37 \times 70 = 2150 \text{ kcal}$

Calore per aumentare 1°C = $0,83 \times 70 = 58 \text{ kcal}$

Produzione di calore a riposo: $1,45 \text{ kcal/min} = 87 \text{ kcal/h}$

Innalzamento della temperatura a riposo: $1,5^{\circ}\text{C/h}$ (87/58)

Temperatura corporea



- Nucleo costante
 - Punti di rilevamento:
 - retto
 - bocca
 - timpano
 - ascella - inguine
 - Dipendente da:
 - età
 - ritmo circadiano
 - ormoni
 - attività muscolare
 - ciclo ovarico
- Guscio variabile
 - Dipendente da:
 - dispersione verso l'ambiente
 - trasmissione dal nucleo



ARGOMENTI

Bilancio del calore del corpo

Meccanismi di termogenesi e termolisi

Risposte fisiologiche al caldo e al freddo

Termoregolazione nel lavoro muscolare

Equilibrio idrico e attività fisica

Acclimatazione al caldo e al freddo

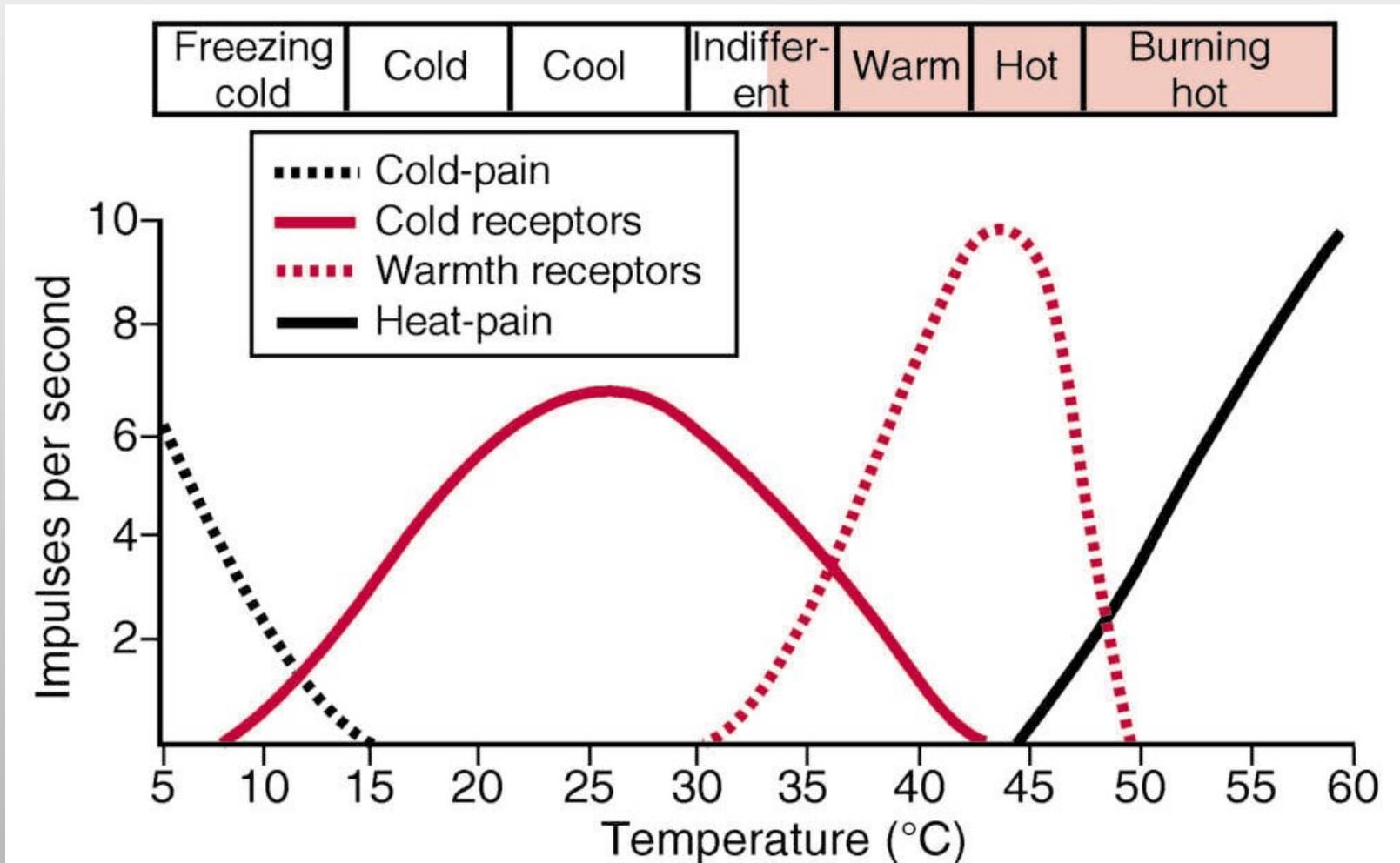
Termogenesi

- Senza contrazione muscolare
calore prodotto dalle reazioni chimiche metaboliche dipendente da:
 - ormoni (tiroidei – adrenalina)
 - alimentazione
 - stimolazione del grasso bruno
- Con contrazione muscolare
 - Contrazioni involontarie e oscillanti dei muscoli agonisti e antagonisti, senza lavoro esterno (brividi)
 - Contrazioni volontarie (correre sul posto, battere le mani ecc.)



Meccanismi nervosi che mantengono l'omeotermia

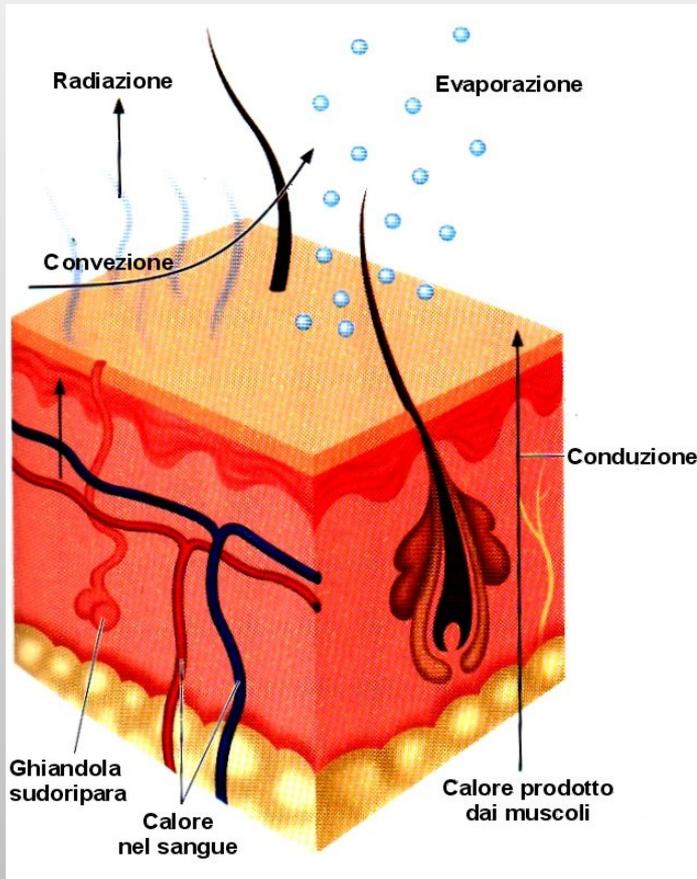
1. Termocettori periferici



Termocettori centrali

- Ipotalamo
 - a livello dell' ipotalamo anteriore possono venire indotte risposte termoregolatorie sia al raffreddamento che al riscaldamento
 - frequenza di scarica in dipendenza della temperatura locale
 - +4/-2 °C rispetto alla T media
 - importanti durante esercizio muscolare

Termolisi



- Irraggiamento
- Conduzione
 - terreno
 - punti di appoggio
- Convezione
 - Tramite aria
 - Tramite acqua
 - Dipendente da:
 - temperatura
 - umidità
 - velocità
- Evaporazione (580 kcal/l)
 - perspiratio insensibilis
 - sudorazione
 - ventilazione

Perdite di calore a riposo

Meccanismo	% del totale	kcal/min
Conduzione e convezione	20	0,3
Radiazione	60	0,9
Evaporazione	20	0,3



Composizione del sudore

Soggetti	Na ⁺ (mmol/L)	Cl ⁻ (mmol/L)	K ⁺ (mmol/L)
Maschi	90	60	4
Femmine	105	98	4



Importanza del clima

Temperatura percepita in funzione del vento

	Temperatura effettiva °C											
	10,00	4,44	-1,11	-6,67	-12,22	-17,78	-23,33	-28,89	-34,44	-40,00	-45,56	-51,11
Velocità del vento	Temperatura equivalente °C											
Calma	10,00	4,44	-1,11	-6,67	-12,22	-17,78	-23,33	-28,89	-34,44	-40,00	-45,56	-62,22
8	8,89	2,78	-2,78	-8,89	-14,44	-20,56	-26,11	-32,22	-37,78	-43,89	-49,44	-55,56
16,1	4,44	-2,22	-8,89	-15,56	-22,78	-31,11	-36,11	-43,33	-50,00	-56,67	-63,89	-70,56
24,1	2,22	-5,56	-12,78	-20,56	-27,78	-35,56	-42,78	-50,00	-57,78	-65,00	-72,78	-80,00
32,2	0,00	-7,78	-15,56	-23,33	-31,67	-39,44	-47,22	-55,00	-63,33	-67,78	-78,89	-86,67
40,2	-1,11	-8,89	-17,78	-26,11	-33,89	-42,22	-50,56	-58,89	-66,67	-75,56	-83,33	-91,67
48,3	-2,22	-10,56	-18,89	-27,78	-36,11	-44,44	-52,78	-61,67	-70,00	-78,33	-87,22	-95,56
56,3	-2,78	-11,67	-20,00	-28,89	-37,22	-46,11	-55,00	-63,33	-72,22	-80,56	-89,44	-98,33
64,4	-3,33	-12,22	-21,11	-29,44	-38,33	-47,22	-56,11	-65,00	-73,33	-82,22	-91,11	-100,00

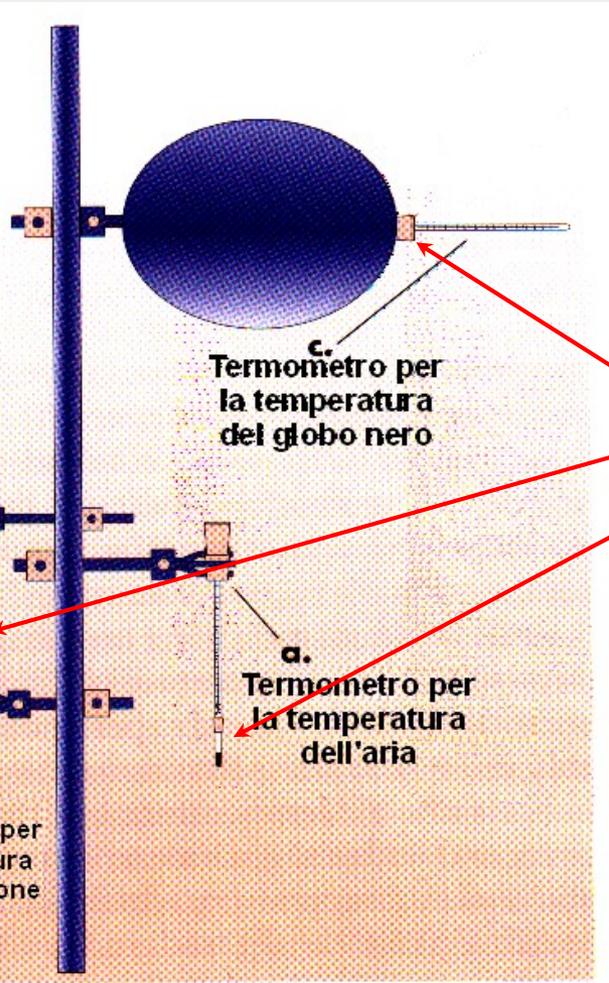


Temperatura percepita in funzione dell'umidità

	Temperatura ambientale (°C)										
	21	24	27	29	32	35	38	41	43	46	49
Umidità relativa (%)	Sensazione di calore (°C)										
0	18	20	23	26	28	31	33	35	37	39	42
10	18	21	24	27	29	33	35	38	41	44	47
20	19	22	25	28	30	33	37	41	44	49	54
30	19	23	26	29	33	36	40	45	51	57	64
40	20	23	26	30	34	38	43	56	58	66	
50	20	24	27	31	36	42	49	57	66		
60	21	24	28	33	38	46	56	65			
70	21	25	29	34	41	51	62				
80	22	26	30	36	45	58					
90	22	26	31	39	50						
100	22	27	33	42							



Misura dello stress termico



Wet Bulb Globe Thermometer

T_G = temperatura del globo nero

T_{WB} = temperatura aria umida

T_{DB} = temperatura aria secca

$$WBGT = 0.1T_{DB} + 0.7T_{WB} + 0.2T_G$$

ARGOMENTI

Bilancio del calore del corpo

Meccanismi di termogenesi e termolisi

Risposte fisiologiche al caldo e al freddo

Termoregolazione nel lavoro muscolare

Equilibrio idrico e attività fisica

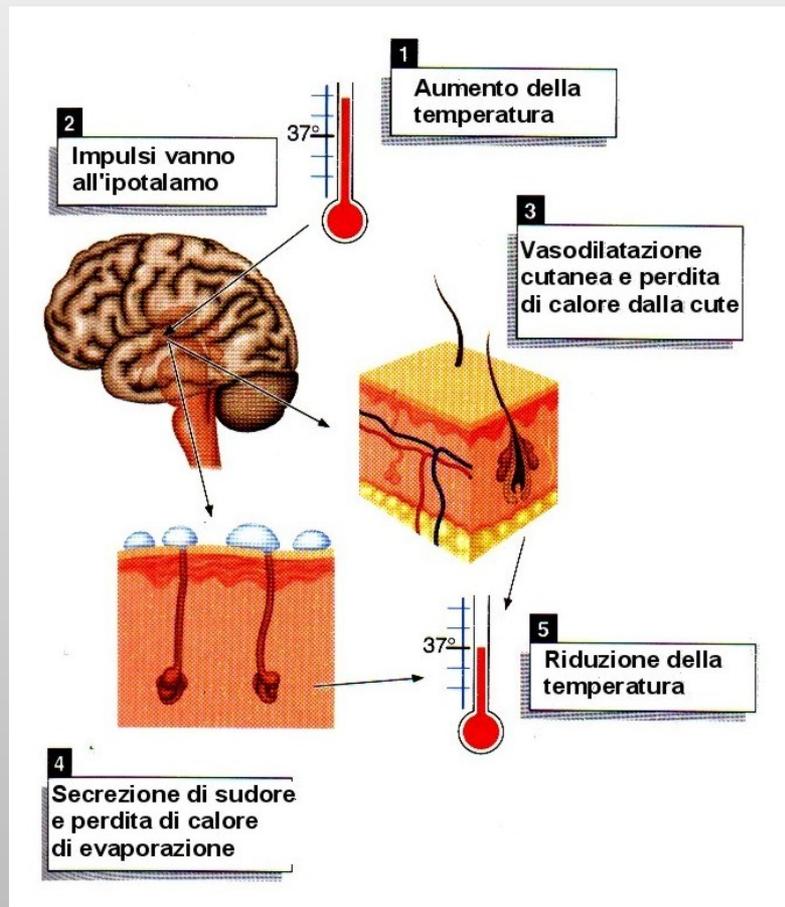
Acclimatazione al caldo e al freddo

Risposte fisiologiche

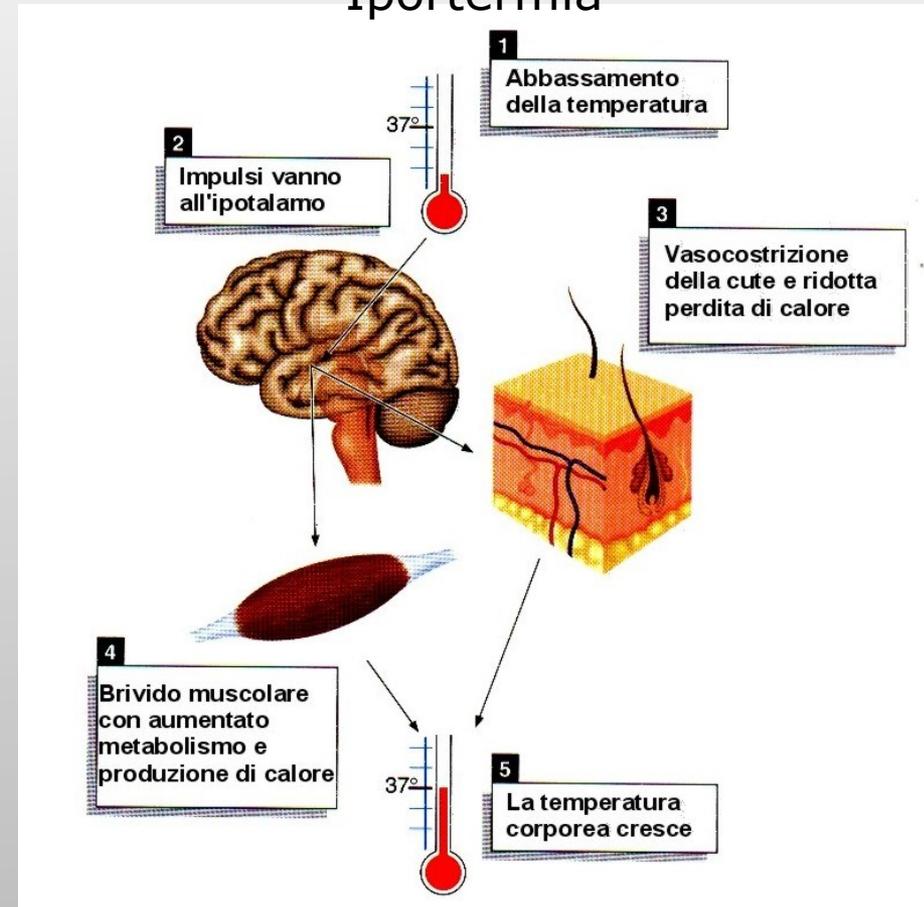
- Termorecettori
 - Periferici (cute)
 - Centrali (ipotalamo)
- Centro d'integrazione: ipotalamo
- Risposte al freddo:
 - Vasocostrizione cutanea
 - Brivido
 - Metabolismo (SNV ed ormoni)
 - Comportamento
- Risposte al caldo:
 - Vasodilatazione cutanea
 - Sudorazione
 - Comportamento

Riflessi termoregolatori

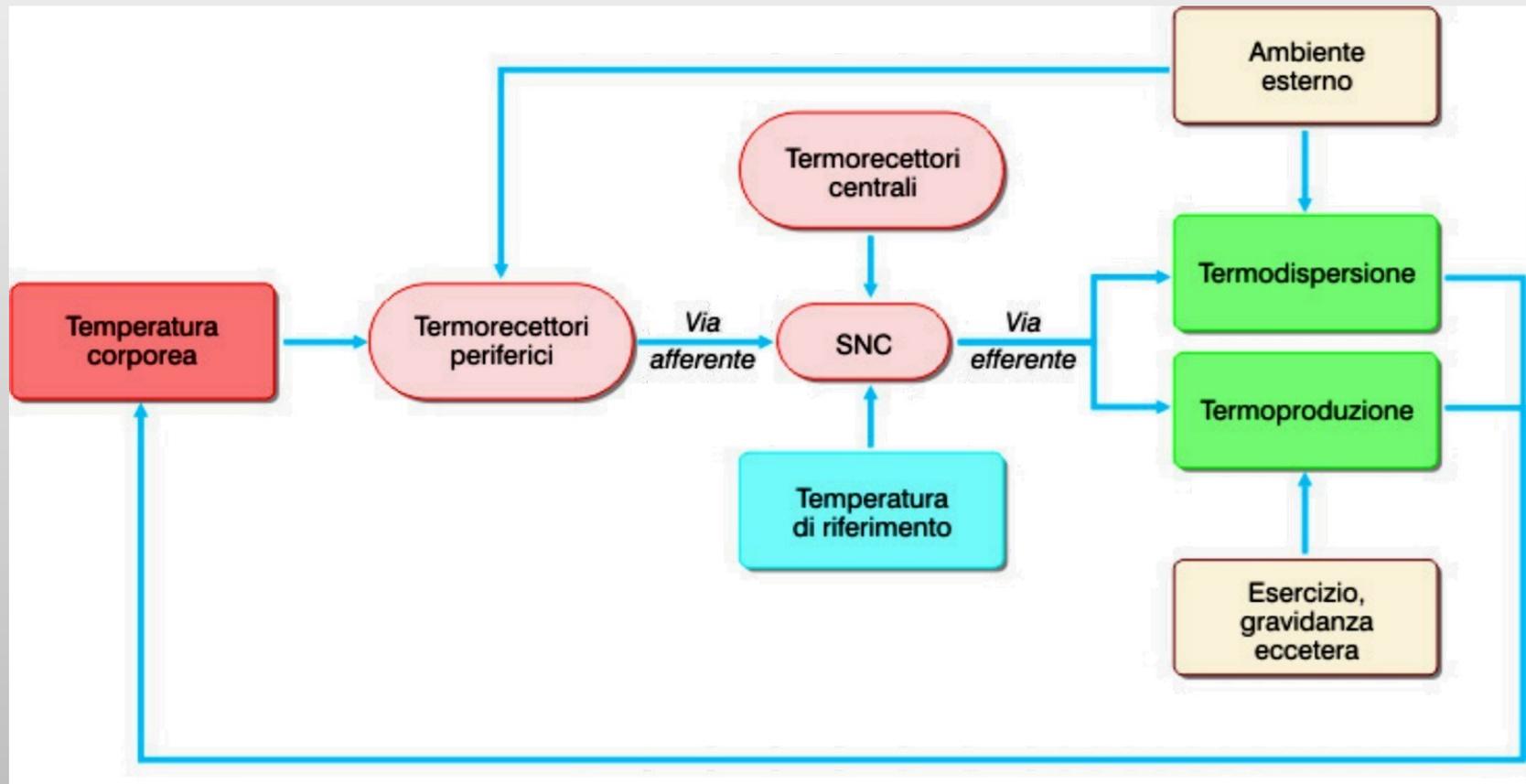
Ipertermia



Ipotermia



Meccanismo di integrazione



Regolazione della temperatura

1. Zona della regolazione vasomotoria
 - stress termico lieve- esercizio muscolare moderato
 - gli indumenti sono scelti per rimanere in questa zona
2. Zona della regolazione metabolica
 - termogenesi metabolica (brivido) quanto I_t e I_v non sono sufficienti a mantenere T_c costante
3. Zona di regolazione sudomotoria
 - lavoro muscolare intenso

ARGOMENTI

Bilancio del calore del corpo

Meccanismi di termogenesi e termolisi

Risposte fisiologiche al caldo e al freddo

Termoregolazione nel lavoro muscolare

Equilibrio idrico e attività fisica

Acclimatazione al caldo e al freddo

Termolisi durante l'esercizio

- Aumento della convezione per vasodilatazione
- Aumento dell'evaporazione per ipersudorazione

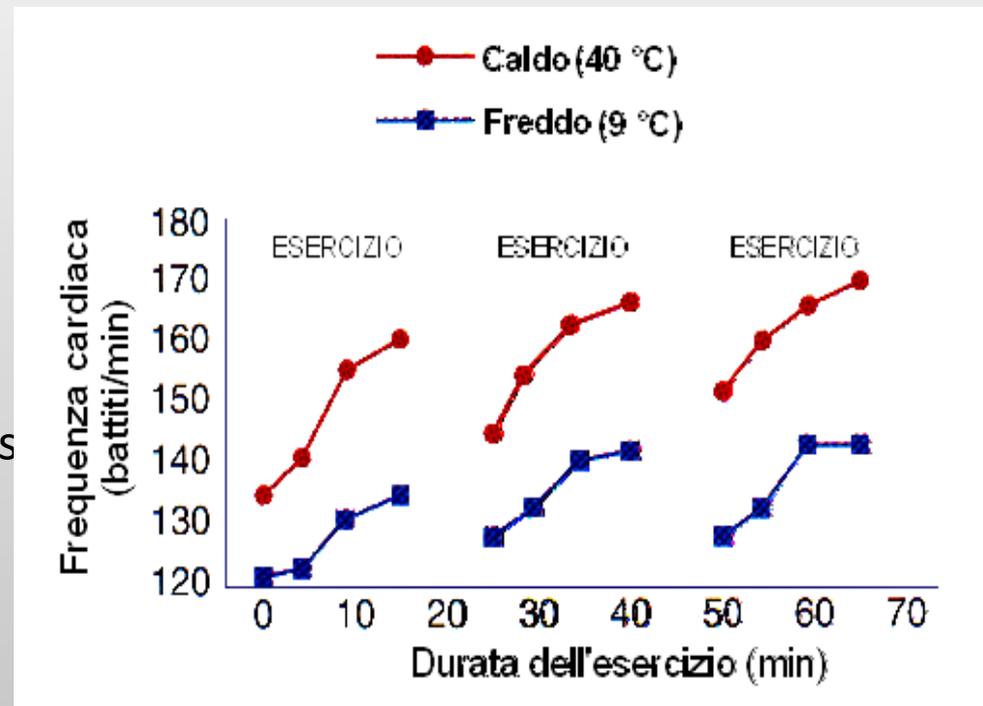
Valori quantitativi

Meccanismo	Riposo		Esercizio	
	% del totale	kcal/min	% del totale	kcal/min
Conduzione e convezione	20	0,3	15	2,2
Radiazione	60	0,9	5	0,9
Evaporazione	20	0,3	80	12,0



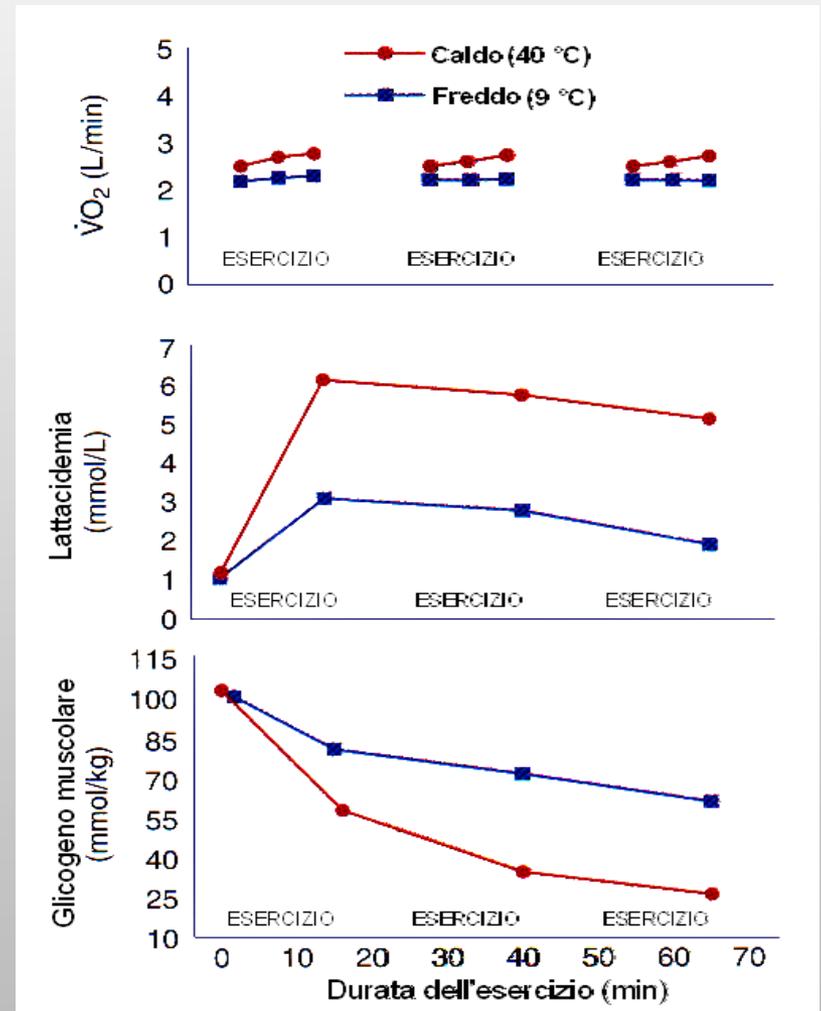
Effetti sul sistema cardiocircolatorio

- Ridistribuzione della portata
- Riduzione del ritorno venoso
- Riduzione del VTD
- Abbassamento della pressione arteriosa sistemica
- Aumento della frequenza



Effetti sul metabolismo muscolare

- Aumentato consumo di O₂
- Aumentata produzione di ac. lattico
- Aumentato consumo di glicogeno



ARGOMENTI

Bilancio del calore del corpo

Meccanismi di termogenesi e termolisi

Risposte fisiologiche al caldo e al freddo

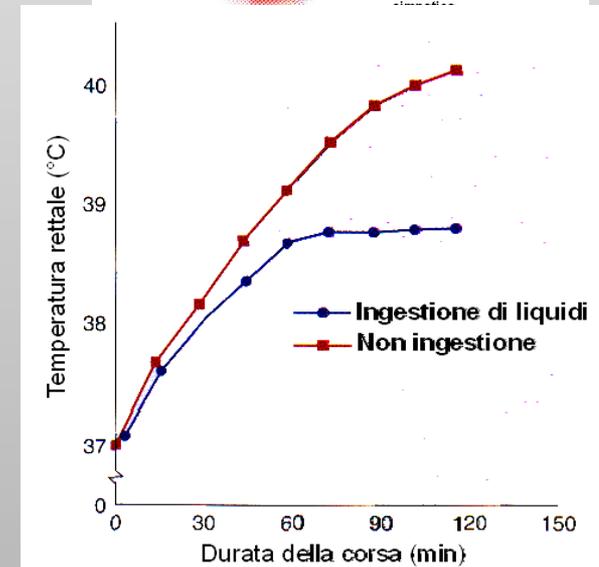
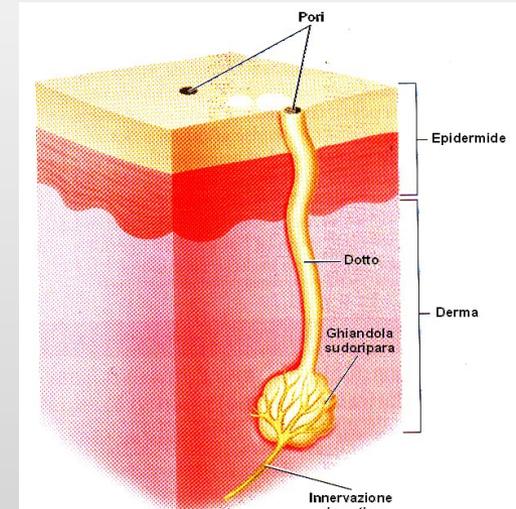
Termoregolazione nel lavoro muscolare

Equilibrio idrico e attività fisica

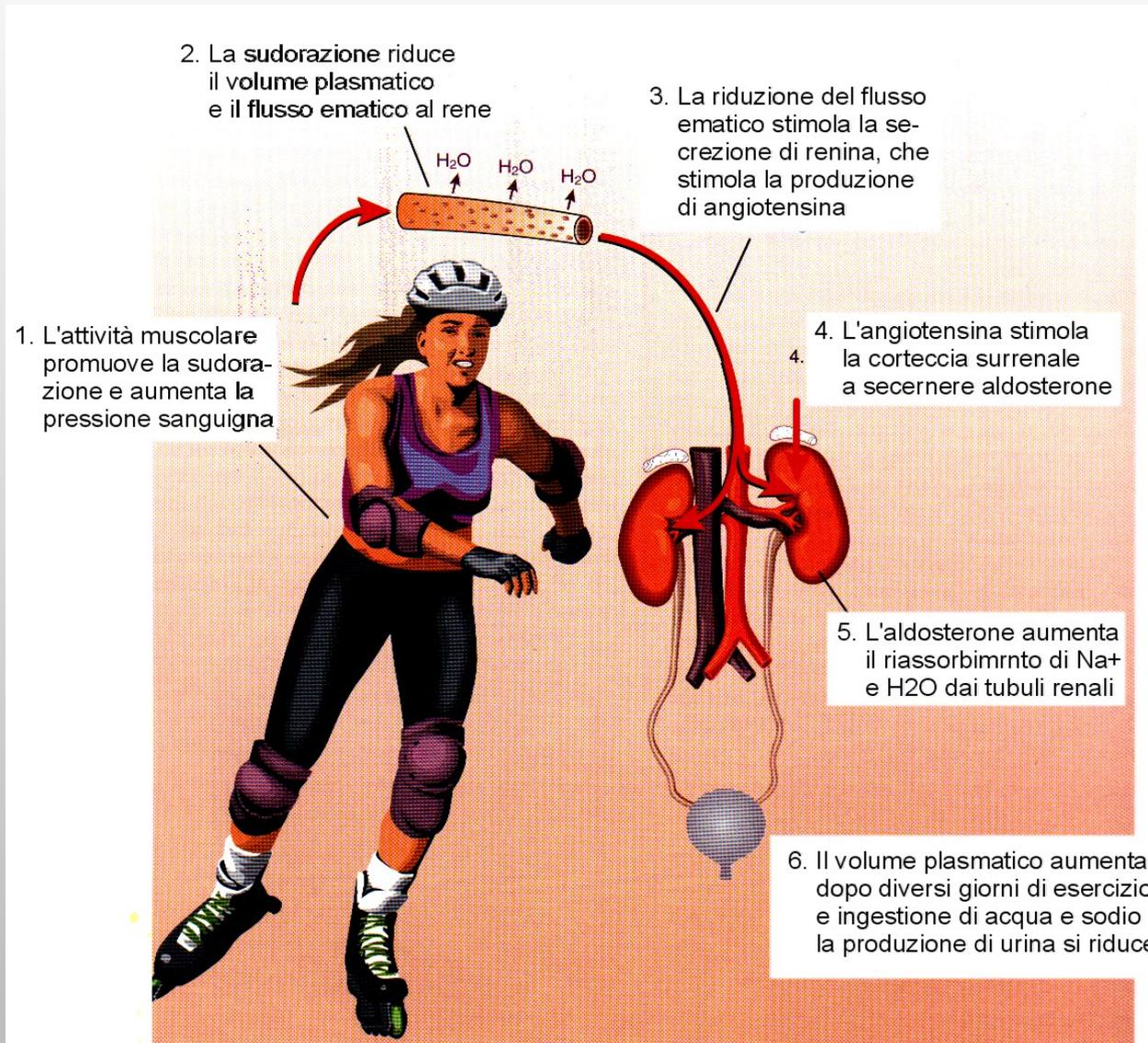
Acclimatazione al caldo e al freddo

Effetti sull'equilibrio idrico

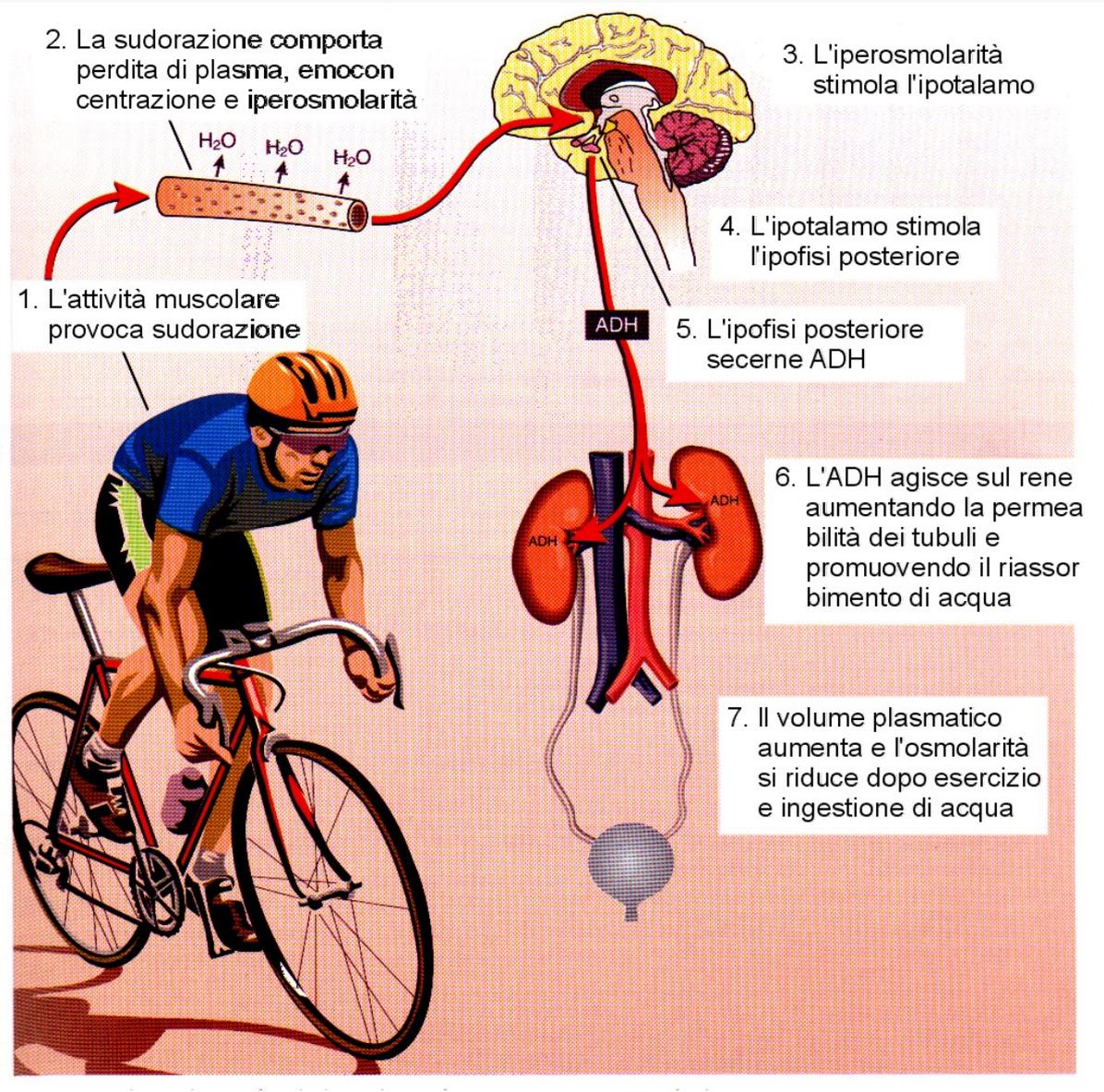
- Ipersudorazione
- Perdita d'acqua (1 L/h/m²) 1.5-3.5/h
- Perdita di elettroliti
 - ipovolemia
 - ipoefficienza fisica
- Ripristino idro-elettrolitico
 - Sete
 - Secrezione di Aldosterone
 - Secrezione di ADH



Secrezione di aldosterone



Secrezione di ADH



ARGOMENTI

Bilancio del calore del corpo

Meccanismi di termogenesi e termolisi

Risposte fisiologiche al caldo e al freddo

Termoregolazione nel lavoro muscolare

Equilibrio idrico e attività fisica

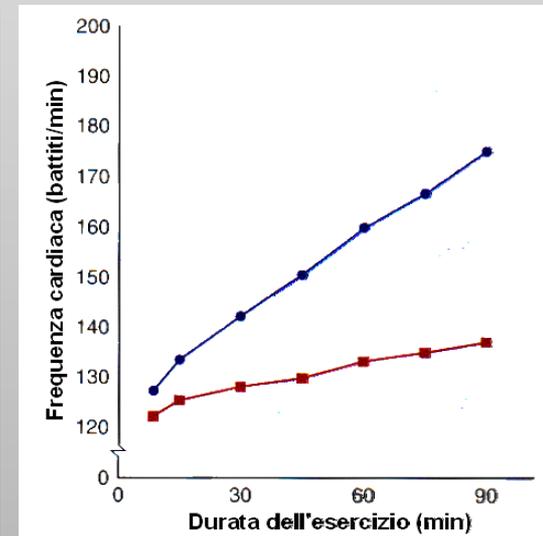
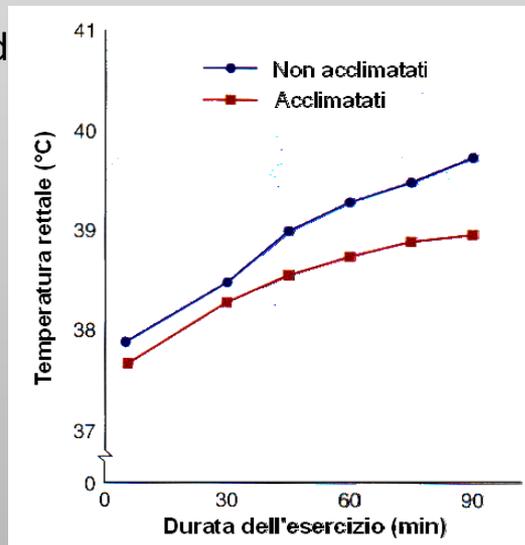
Acclimatazione al caldo e al freddo

Acclimatazione al caldo

- Maggiore sudorazione nelle aree esposte
- Precocità della sudorazione
- Sudore più diluito (risparmio di sali)
- Minore rialzo termico
- Minore incremento di frequenza cardiaca per:
 - Aumento della volemia (ritenzione di Na^+)
 - Riduzione dell'irradiazione cutanea
 - Aumento del VTD

Composizione del sudore

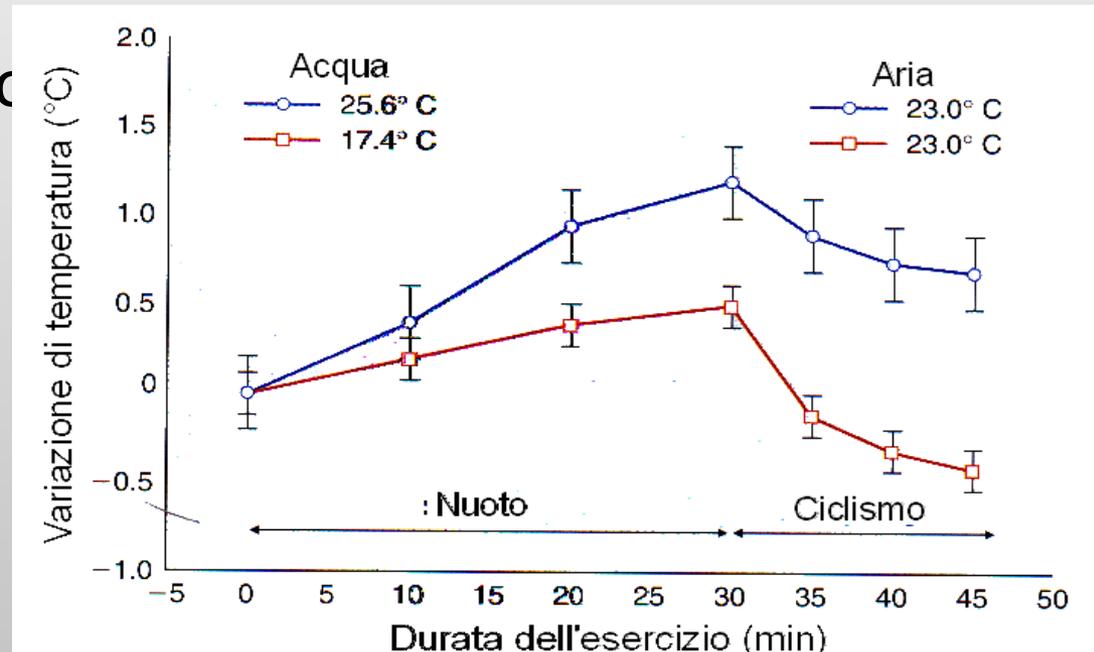
Soggetti	Na^+ (mmol/L)	Cl^- (mmol/L)	K^+ (mmol/L)
Maschi non allenati	90	60	4
Maschi allenati	35	30	4
Femmine non allenate	105	98	4
Femmine allenate	62	47	4



Esercizio in ambiente freddo

- Cause di raffreddamento

- vasocostrizione
- vento
- immersione



Effetti del freddo sulla prestazione fisica

- Minore forza muscolare
- Minore reclutamento di unità motorie
- Minore velocità di accorciamento
- Minore potenza
- Maggiore affaticamento
- Minore uso di FFA (vasocostrizione cutanea)

Bibliografia

- **Fisiologia dell'uomo, autori vari, edi.ermes, Milano**
 - **Capitolo 19: Termoregolazione (Capitoli 19.1, 19.2, 19.3)**
- **Fisiologia e Biofisica, Fulton JF e Howell WH, volume secondo, SEU, Roma**
 - **Capitolo 62: Regolazione della Temperatura**

