

EFFECTS OF WATER TEMPERATURE ON SWIMMERS

GLI EFFETTI DELLA TEMPERATURA DELL'ACQUA SUI NUOTATORI

Filippo Macaluso, Daniele Palumbo, Rosario Barone, Giuseppe Battaglia, Felicia Farina, Valentina Di Felice

CAPSULA EBURNEA, 3(8):1-5, 2008.

Dipartimento di Medicina Sperimentale (DI.ME.S.), Sezione di Anatomia Umana "E. Luna", Università degli Studi di Palermo

Correspondence:

Dr. Filippo Macaluso:
filippo.mac@libero.it

Received: March 15th, 2008

Revised: March 25th, 2008

Accepted: March 27th, 2008.

No conflicts of interest were declared.

Category of paper:

REVIEW

Language of the Article: Italian.

Abstract.

The focus of this paper is to review the current knowledge about the effects of water temperature on metabolism, thermoregulation and performance in swimmers; to determine if the rules established by FINA (Federation Internationale de Natation) and ITU (International Triathlon Union) on the water temperature, agree with the results of scientific works already published. The range of water temperatures between 25 and 28 °C, set by FINA, for swimming pool during international competitions is correct, but we suggest that it may be useful to increase the water temperature at 32 °C in competitions of short duration (50 and 100 meters) for better performance time. Furthermore, we believe that in open water competitions, the temperature limit established by FINA (16 °C) and by ITU (14 °C) are too low, and we consider important the two ITU rules on water temperature, in order to preserve the health of athletes. Hence, we suggest FINA to set the inferior limit to 20 °C and time limit to end the swimming.

KEYWORDS: metabolism, body temperature, exercise performance

Riassunto.

Lo scopo di questo lavoro è quello di riassumere le attuali conoscenze sugli effetti indotti dalla temperatura dell'acqua sul metabolismo, sulla temperatura corporea e sulla prestazione sportiva dei nuotatori, per determinare se le temperature stabilite dai regolamenti tecnici della FINA (Federation Internationale de Natation) e della ITU (International Triathlon Union) concordano con i risultati dei lavori scientifici già pubblicati.

Da questo lavoro si evidenzia che l'intervallo di temperatura compreso tra 25 e 28 °C, stabilito dalla FINA, per la temperatura dell'acqua della piscina durante le competizioni sportive internazionali è corretto, ma suggeriamo che possa essere utile aumentare la temperatura dell'acqua fino a 32°C nelle competizioni di breve durata (50 e 100 mt) per ottenere migliori prestazioni cronometriche dagli atleti.

Inoltre riteniamo che, nelle competizioni in acque libere, le temperature limite stabilite dalla FINA (16 °C) e dall'ITU (14 °C) siano troppo basse, e consideriamo indispensabili i due accorgimenti presi dalla ITU per preservare la salute degli atleti, l'utilizzo della muta con l'acqua < 20 °C e il tempo limite per terminare la frazione di nuoto.

PAROLE CHIAVE: metabolismo, temperatura corporea, prestazione sportiva

Introduzione

Il nuoto viene definito da Dal Monte (1) uno sport ciclico di resistenza alla forza ad elevata valenza coordinativa. L'acqua, l'ambiente fisico in cui è immerso il nuotatore, rende il nuoto unico e particolare, in quanto le normali risposte fisiologiche all'esercizio fisico condotto sulla terra ferma possono essere accentuate o attenuate, anticipate o ritardate in base alla temperatura dell'acqua.

Le discipline sportive che prevedono l'esecuzione del gesto motorio del nuoto sono regolamentate dalla FINA (Federation Internationale de Natation) (2), che prevede gare di nuoto in piscina (50-1500 mt) o in mare (fino a 25000 mt), e dalla ITU (International Triathlon Union) (3), che prevede il nuoto nella prima frazione della gara di triathlon disputata in mare (400-4000 mt). I regolamenti delle due discipline sportive stabiliscono entro quale intervallo deve essere compresa la temperatura dell'acqua per non mettere a rischio l'incolumità dell'atleta, ma non specificano su quali basi scientifiche sono stati fissati questi parametri.

Lo scopo di questo lavoro è quello di riassumere le attuali conoscenze sugli effetti indotti dalla temperatura dell'acqua sul metabolismo, sulla termoregolazione e sulla prestazione sportiva dei nuotatori, per determinare se le temperature stabilite dai regolamenti tecnici delle due discipline concordano con i risultati dei lavori scientifici già pubblicati.

Relazione tra la temperatura dell'acqua ed il metabolismo

Dalla scissione dei legami chimici delle molecole organiche si libera energia metabolica, da tale processo, circa il 40% di questa energia viene utilizzata dalle cellule per lo svolgimento delle loro funzioni biologiche (contrazione muscolare, trasporto attivo, sintesi proteica eccetera). Il rimanente 60% dell'energia liberata dai processi metabolici appare immediatamente sottoforma di calore che è fondamentale per il mantenimento della temperatura corporea di 37 °C e che permette il corretto funzionamento dell'organismo (4). In condizioni ambientali estreme, il metabolismo aumenta o diminuisce la propria attività allo scopo di aumentare o diminuire la produzione di calore per preservare la temperatura interna dai cambiamenti termici (5,6).

Sulla terra ferma il metabolismo umano è minimo alla temperatura ambientale di 30 °C, mentre in acqua a 32-36 °C si registra il minimo consumo di ossigeno (VO_2) a riposo, mentre solamente dopo 20 minuti di immersione in acqua a 30 °C il metabolismo aumenta (7). Il VO_2 di un individuo che rimane immobile ed immerso completamente in acqua a 27 °C per un'ora

è significativamente maggiore di quello che si ha sulla terra ferma (7). Tuttavia si ha un aumento del metabolismo anche con l'acqua a 28°C durante un esercizio ad intensità blanda o durante un esercizio intenso in acqua ≤ 26 °C (8). Quando ci si esercita in acqua, se l'intensità dell'esercizio è bassa il VO_2 cresce del 150% rispetto a quello di riposo, se l'intensità è alta del 240% (8). L'aumento del metabolismo in condizioni di riposo in ambienti freddi è dovuto principalmente ai sistemi di termogenesi con brivido e senza brivido (9).

Holmér (10), esaminando il VO_2 e la temperatura esofagea durante 20 minuti di nuoto al 50% del VO_{2max} a tre temperature differenti dell'acqua (18, 26 e 34°C), scoprì che il VO_2 era maggiore alla minore temperatura dell'acqua (18°C) e che il VO_2 aumentava proporzionalmente alla diminuzione della temperatura esofagea.

La relazione tra la temperatura corporea e il metabolismo è diversa a seconda se ci si trovi a fare un esercizio fisico o se si stia a riposo. Durante un esercizio fisico molto blando e prolungato nel tempo e in un ambiente termoneutro (acqua o terra ferma), benché il metabolismo sia aumentato, la temperatura interna tende a diminuire, poiché la vasodilatazione periferica favorisce il flusso del sangue periferico (più freddo) verso le parti profonde del corpo (più calde) (11).

Nielsen (12), studiando la relazione tra il grado di attivazione del metabolismo e la temperatura dell'acqua (14, 16, 18 e 20 °C), osservò la relazione inversa tra il metabolismo e la temperatura dell'acqua, cioè il VO_2 aumentava al diminuire della temperatura dell'acqua. In particolare tutte e quattro le temperature dell'acqua, sia a riposo che durante il nuoto causavano un aumento del consumo di ossigeno di 0.5 l/min a causa del tremore. Nuotando alla velocità di 0.5 m/s con l'acqua ≤ 16 °C, la temperatura interna continuava a decrescere in maniera lineare e il VO_2 , dopo un iniziale incremento, raggiungeva uno stato di plateau. Mentre a riposo, con l'acqua a 17 °C, sebbene la temperatura interna non cambiasse molto, il VO_2 aumentava di 1.0 l/min, diventando pari a quello registrato durante l'esercizio fisico. Tale aumento del VO_2 è dovuto al tremore, ossia alle contrazioni ritmiche involontarie dei muscoli agonisti ed antagonisti che aumentano la termogenesi (con brivido).

In acque molto fredde, l'unico metodo per mantenere la temperatura corporea entro dei limiti fisiologicamente accettabili è tramite l'esercizio fisico (13). La ricerca condotta da Vybiral (14) ha dimostrato che soggetti abituati a nuotare in acque fredde (13 °C) posseggono degli adattamenti metabolici e termoregolatori che gli per-

mettono di disperdere e di produrre meno calore durante 1 ora di nuoto in acque gelide rispetto ai soggetti non acclimatati.

Relazione tra la temperatura dell'acqua e la temperatura corporea

Gli esseri umani, essendo animali omeotermici, sono in grado di controllare e di mantenere costante la propria temperatura corporea che, entro determinati limiti, risulta relativamente indipendente da quella dell'ambiente circostante. Quindi la temperatura dell'ambiente che circonda il corpo umano, aria o acqua che sia, influisce notevolmente sulla regolazione della temperatura corporea (15), la quale in acqua è differente da quella sulla terra ferma perché l'evaporazione del sudore, la principale via della termodispersione, non è molto efficiente durante l'immersione in acqua; mentre la convezione e la conduzione, rispettivamente la seconda e la terza via della termodispersione, sono molto efficienti (12).

In acqua la conduttività termica è 25 volte maggiore di quella che si riscontra nell'aria, durante gli sport terrestri (16,17), rendendo la temperatura dell'acqua un elemento fondamentale della termoregolazione durante il nuoto. Più precisamente, la conduttività termica in acqua è $230 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ a riposo e $580 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ durante il nuoto (18), mentre sulla terra ferma è $17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ nel ciclismo (19). Questi dati indicano che la dissipazione di calore è maggiore durante l'esecuzione di un esercizio fisico piuttosto che a riposo.

Nel 1955, Pugh e Edholm (20), esaminando la relazione tra varie temperature dell'acqua (15.8, 20.5, 21.8, 24.2 e $28.3 \text{ }^\circ\text{C}$) e le conseguenti variazioni della temperatura interna (temperatura rettale) dei nuotatori, dimostrarono che la temperatura corporea diminuisce rapidamente ad una temperatura dell'acqua $\leq 24.2 \text{ }^\circ\text{C}$ e che la diminuzione della temperatura interna aveva un effetto negativo sulla durata dell'esercizio in acqua.

Craig (7), studiando la termodispersione del corpo umano immobile ed immerso in acqua a varie temperature $24\text{-}37 \text{ }^\circ\text{C}$, scoprì che ad una temperatura dell'acqua $\leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$ la temperatura rettale e timpanica inizialmente aumentava per poi diminuire, mentre aumentava con l'acqua $\geq 36 \text{ }^\circ\text{C}$. I dati mostrano che la temperatura interna è direttamente dipendente dalla temperatura dell'acqua e che l'intervallo termico nel quale la temperatura corporea non cambia è estremamente ridotto ($28\text{-}30 \text{ }^\circ\text{C}$).

In un differente studio, Craig (8) dimostrò che durante l'esercizio fisico la temperatura corporea mostra comportamenti diversi in base all'intensità dell'esercizio fisico e/o della temperatura dell'acqua. In particolare, la temperatura tim-

panica inizialmente aumentava indipendentemente dall'intensità dell'esercizio per poi diminuire se l'intensità dell'esercizio rimaneva blanda e/o l'acqua era ad una temperatura $\leq 32 \text{ }^\circ\text{C}$; se l'intensità dell'esercizio fisico era elevata, la temperatura timpanica aumentava a qualunque temperatura dell'acqua, eccetto che a $24 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura rettale diminuiva se l'intensità dell'esercizio fisico era bassa e/o la temperatura dell'acqua $\leq 32 \text{ }^\circ\text{C}$, mentre aumentava ad intensità elevate e/o con l'acqua ad una temperatura $\geq 28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Nielsen (11) per evidenziare le differenze che esistono nei due differenti ambienti fisici dell'acqua e dell'aria, misurò il cambiamento della temperatura corporea di alcuni soggetti, sottoponendoli a 4 sessioni di allenamento di nuoto e a 4 di ciclismo a due differenti temperature ambientali (30 e $33 \text{ }^\circ\text{C}$) e a due differenti intensità di allenamento (VO_2 : 1.6 e 2.6 l/min). I risultati dimostrarono che in acqua la dissipazione di calore era maggiore e che l'incremento della temperatura corporea era limitato, perché il calore prodotto dall'esercizio era immediatamente trasferito dalla pelle all'acqua. Infatti, la temperatura interna dei soggetti era $0.4 \text{ }^\circ\text{C}$ più bassa in acqua che sulla terra ferma, anche se un minimo cambiamento nella temperatura dell'acqua poteva indurre un significativo effetto sulla temperatura corporea.

Nel 1979, Galbo (21) mostrò che durante 60 minuti di nuoto al 68% del VO_2max in acqua a 27 e a $33 \text{ }^\circ\text{C}$ la temperatura rettale e la frequenza cardiaca aumentava, mentre diminuivano nell'acqua a $21 \text{ }^\circ\text{C}$. Nello studio condotto da Fujishima (22), la temperatura rettale diminuiva progressivamente durante i 120 minuti di nuoto ad intensità blanda a 23 e a $28 \text{ }^\circ\text{C}$, ma non a $33 \text{ }^\circ\text{C}$. I differenti risultati ottenuti da Galbo e Fujishima sono da imputare all'intensità di esecuzione dell'esercizio.

Relazione tra la temperatura dell'acqua e la prestazione sportiva

La produzione di calore è incrementata dall'attività dei muscoli durante l'esercizio fisico e dalla sua correlata intensità. Il prolungato esercizio ad un'elevata temperatura ambientale tende a far giungere la sensazione di fatica molto prima rispetto ad un esercizio praticato in un ambiente fresco (23,24). La prestazione fisica durante un esercizio diminuisce quando la temperatura corporea aumenta indipendentemente dall'intensità e dal tipo di esercizio fisico (25,26).

La disponibilità o la motivazione di iniziare un esercizio fisico diminuisce con l'incremento della temperatura corporea (27). Nell'ipertermia, temperatura corporea $> 40 \text{ }^\circ\text{C}$, la volontà di terminare un determinato esercizio diminuisce notevolmente (28).

E' stato dimostrato che un'elevata temperatura muscolare dovuta all'esercizio fisico ad intensità modesta aumenta il consumo di glicogeno muscolare (29), mentre ad intensità elevate aumenta il consumo di carboidrati e la concentrazione di acido lattico nel muscolo (30). Un'altra causa di riduzione della prestazione sportiva in un ambiente caldo è dovuta alla vasocostrizione periferica; aggiustamento che tende a non riscaldare ulteriormente il nucleo interno del corpo, che riduce il volume di sangue nei muscoli scheletrici (27), riducendone l'attività contrattile (31). Pertanto la prestazione fisica di tutti gli sport è condizionata dalla temperatura interna degli atleti.

Nel caso specifico del nuoto, la prestazione fisica è limitata dall'aumento della temperatura corporea dovuta all'aumento della temperatura dell'acqua e dell'intensità dell'esercizio fisico o dall'abbigliamento indossato (mute, costumi interi e cuffie).

Nielsen (12) dimostrò che era difficile nuotare per lungo tempo in acque con temperatura ≥ 32 °C, e che nuotare in acque con temperatura ≥ 34 °C aumentava la temperatura corporea fino al raggiungimento di livelli pericolosi per la salute dell'atleta in circa 30 minuti.

Mougios (32), indagando l'influenza della temperatura dell'acqua (20, 26 e 32 °C) ad intensità massima (100 mt) o sottomassimale (30 min), determinò che ad elevate intensità di allenamento la prestazione natatoria, la frequenza cardiaca e la lattatemia aumentavano con l'acqua a 32 °C e diminuivano con l'acqua alla temperatura di 20 °C. Quindi la migliore prestazione sportiva alla massima intensità si aveva con l'acqua a 32 °C, questo effetto sembrava svanire ad intensità sottomassimali.

Conclusioni

Numerosi studi sono stati pubblicati dal 1955 ad oggi sugli effetti della temperatura dell'acqua sul metabolismo, sulla temperatura corporea e sulla prestazione sportiva dei nuotatori. Abbia-

mo riassunto nella tabella 1 i principali effetti determinati dalla temperatura dell'acqua sull'organismo durante il nuoto.

Temperature dell'acqua < 25 °C inducevano nei nuotatori un elevato aumento del VO_2 (7,10,12), una significativa riduzione della temperatura corporea (10,20,22) ed un declino nella prestazione di lunga durata (20,32) rispetto ai valori determinati in acque alla temperatura compresa nell'intervallo tra i 25 e i 28 °C. A temperatura dell'acqua > 28 °C i nuotatori ottenevano peggiori prestazioni nel nuoto di lunga durata (12,32) e migliori prestazioni nel nuoto di breve durata (32) rispetto a quelle ottenute con la temperatura dell'acqua compresa nell'intervallo tra i 25 e i 28 °C.

Da questo lavoro si evidenzia che l'intervallo di temperature compreso tra 25 e 28 °C, stabilito dalla FINA (2), per la temperatura dell'acqua della piscina durante le competizioni sportive internazionali è corretto, ma suggeriamo che possa essere utile aumentare la temperatura dell'acqua fino a 32 °C nelle competizioni di breve durata (50 e 100 mt) per ottenere migliori prestazioni cronometriche dagli atleti.

Inoltre riteniamo che, nelle competizioni in acque libere, le temperature limite stabilite dalla FINA (16 °C) e dall'ITU (14 °C) siano troppo basse, e consideriamo indispensabili i due accorgimenti presi dalla ITU per preservare la salute degli atleti, l'utilizzo della muta con l'acqua < 20 °C e il tempo limite per terminare la frazione di nuoto.

Bibliografia

1. Dal Monte A and Faina M. Valutazione dell'atleta - analisi funzionale e biomeccanica della capacità di prestazione, edited by UTET, 1999.
2. <http://www.fina.org/rules/index.php>
3. http://www.triathlon.org/docs/downloads_Competition_Rules_2006_10a.pdf?ts=120566300
4. Levine JA. Nonexercise activity thermoge-

Temperatura dell'acqua	Metabolismo	Temperatura Corporea	Prestazione
< 20 °C	$\uparrow\uparrow VO_2$ (7,10,12)	$\downarrow\downarrow$ Temp. esof. (10) \downarrow Temp. ret. (20)	\downarrow Lunga durata (20)
$20 \leq X < 25$	$\uparrow\uparrow VO_2$ (7,12)	\uparrow Temp. timp. (8) \downarrow Temp. ret. (20,22)	\downarrow Lunga durata (20,32) \downarrow Breve durata (32)
$25 \leq X \leq 28$	$\uparrow VO_2$ (7,10)	\downarrow Temp. esof. (10) \uparrow Temp. timp. (8) \downarrow Temp. ret. (21); \uparrow Temp. ret. (22)	\uparrow Lunga durata (32) \downarrow Breve durata (32)
> 28 °C		\uparrow Temp. timp. (8) \uparrow Temp. ret. (21)	\downarrow Lunga durata (12,32) \uparrow Breve durata (32)

Tab. 1: Gli effetti della temperatura dell'acqua sul metabolismo, sulla temperatura corporea e sulla prestazione sportiva dei nuotatori. VO_2 : consumo di ossigeno; temp. esof.: temperatura esofagea; temp. ret.: temperatura rettale; temp. timp.: temperatura timpanica.

- nesis-liberating the life-force. *J Intern Med* 200-7;62:273-287.
5. Weber JM, Haman F. Fuel selection in shivering humans. *Acta Physiol Scand* 200-5;184:319-329.
 6. Febbraio MA. Alterations in energy metabolism during exercise and heat stress. *Sports Med* 2001;31:47-59.
 7. Craig AB Jr, Dvorak M. Thermal regulation during water immersion. *J Appl Physiol* 1966; 21:1577-1585.
 8. Craig AB Jr, Dvorak M. Thermal regulation of man exercising during water immersion. *J Appl Physiol* 1968; 25:28-35.
 9. Rintamäki H. Human responses to cold. *Alaska Med.* 2007;49:29-31.
 10. Holmér I, Bergh U. Metabolic and thermal responses to swimming in water at varying temperature. *J Appl Physiol* 1974; 37:702-705.
 11. Nielsen B. Metabolic reactions to changes in core and skin temperature in man. *Acta Physiol Scand* 1976; 97:129-138.
 12. Nielsen B. Physiology of thermoregulation during swimming. In Eriksson B, Furbreg B, eds. *Swimming medicine IV*, Baltimore, Maryland: University Park Press 1978; 297-304.
 13. Craig AB. Jr. Temperature regulation and immersion. In Hollander AP, Huijing PA, de Groot G, edited by *Biomechanics and medicine in swimming*, Champaign, Ill: Human Kinetics 1983; 263-274.
 14. Vybírál S, Lesná I, Jansky L, Zeman V. Thermoregulation in winter swimmers and physiological significance of human catecholamine thermogenesis. *Exp Physiol* 2000; 8-5:321-326.
 15. Brooks GA, Fahey TD, White TP, Baldwin KM. *Exercise physiology - Human bioenergetics and its applications*. Edited by Mayfield Publishing Company, 1999.
 16. Costill DL, Cahill PJ, Eddy D. Metabolic responses to submaximal exercise in three water temperature. *J Appl Physiol* 1967; 22:628-632.
 17. Nielsen B, Davis C. Temperature regulation during exercise in water and air. *Acta Physiol Scand* 1976; 98:500-508.
 18. Nadel ER, Holmar I, Bergh U, Astrand P-O, Stolwijk AJ. Energy exchanges of swimming man. *J Appl Physiol* 1974; 36:465-471.
 19. Nielsen B. Thermoregulation in rest and exercise. *Acta Physiol Scand* 1969; suppl: 323.
 20. Pugh LGC, Edholm OG. The physiology of channel swimmers. *The Lancet* 1955; 269:761-768.
 21. Galbo H, Houston ME, Christensen NJ, Holst JJ, Nielsen B, Nygaard E, Suzuki J. The effect of water temperature on the hormonal response to prolonged swimming. *Acta Physiol Scand* 1979;105:326-337.
 22. Fujishima K, Shimizu T, Ogaki T, Hotta N, Kanaya S, Shono T, Ueda T. Thermoregulatory responses to low-intensity prolonged swimming in water at various temperatures and treadmill walking on land. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 2001;20:199-206.
 23. Parkin JM, Carey MF, Zhao S, Febbraio MA. Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *J Appl Physiol* 1999; 8-6:902-908.
 24. Ftaiti F, Grelot L, Coudreuse JM, Nicol C. Combined effect of heat stress, dehydration and exercise on neuromuscular function in humans. *Eur J Appl Physiol* 2001; 84:87-94.
 25. Morris J, Nevill M, Lakomy H, Nicholas C, Williams C. Effect of a hot environment on performance during prolonged, intermittent, high-intensity shuttle running. *J Sports Sci* 1998; 1-6:677-686.
 26. Galloway SDR, Maughan RJ. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged exercise in man. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29:1240-1249.
 27. González-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol* 1999; 86:1032-1039.
 28. Sawka, M. Physiological consequences of hypohydration: Exercise performance and thermoregulation. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 2-4:657-670.
 29. Starkie RL, Hargreaves M, Lambert D, Proietto J, Febbraio M. Effect of temperature on muscle metabolism during submaximal exercise in humans. *Exp Physiol* 1999; 84:775-784.
 30. Febbraio MA, Carey MF, Snow RJ, Stathis CG., Hargreaves M. Influence of muscle temperature on metabolism during intense dynamic exercise. *Am J Physiol* 1996; 271:R1251-1255.
 31. Tucker R, Rauch L, Harley YXR, Noakes D. Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. *Pflugers Arch* 200-4; 448:422-430.
 32. Mougios V, Deligiannis A. Effect of water temperature on performance, lactate production and heart rate at swimming of maximal and submaximal intensity. *J Sports Med Phys Fitness* 1993; 33:27-33.