

ROZWAŻANIA NAD PROBLEMEM HIPOTERMII

Przemysław Michniewski

Katedra Medycyny Morskiej WAM, Gdynia

STRESZCZENIE

Dla rozbitka głównym czynnikiem warunkującym przeżycie w wodzie jest jej temperatura. Czas pracy w zimnym środowisku jakim jest morze również ogranicza gradient temperatur. W artykułach przedstawiono algorytmy i wzory oceniające czas przeżycia i możliwość pobytu w zimnej wodzie. Podjęto również ciekawy temat wpływu grubości podskórnej tkanki tłuszczowej na mechanizmy termoregulacyjne. Opracowania bazują częściowo na bogatych, ale jakże tragicznych doświadczeniach i obserwacjach z czasu operacji morskich II Wojny Światowej.

Słowa kluczowe: hipotermia, rozbitek nurek, ochrona ciepła.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2014 Vol. 49 Issue 4 pp. 39 - 50

ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535

DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.49.4](http://dx.doi.org/10.13006/PHR.49.4)

Strony: 12, rysunki: 5, tabele: 3.

page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: przeglądowy

Zatwierdzono do druku w PolHyp Res.: 02.12.2014 r.

Artykuł publikowany w Roczniku Służby Zdrowia Marynarki Wojennej 1973r.



PRZEDMOWA

Problemy wychłodzenia organizmu od setek lat badane są przez naukowców, szczególnie w aspekcie użytkowania przez człowieka środowiska wodnego. Zainteresowani tą problematyką są marynarze, pływacy, nurkowie oraz inne grupy zawodowe związane z wodą, jak chociażby wojsko. Pomimo szybkiego rozwoju technologicznego, człowiek znajdujący się w środowisku wodnym, szczególnie w sytuacji awaryjnej, jest poddany działaniu zimna, które może być bezpośrednią przyczyną jego śmierci.

Poniżej przedstawiono nieco historyczne już ujęcie problemu ochrony cieplnej i czasu przeżycia w środowisku o niskiej temperaturze, które pomimo upływu czasu nadal w znacznej części jest aktualne. Artykuły pozwalają zrozumieć, dlaczego rozbitkowie, nurkowie, żołnierze nadal giną przy nagłym, awaryjnym pobycie w zimnej wodzie.

Bartosz Morawiec

CZAS PRZEŻYCIA ROZBITKA W ZIMNEJ WODZIE WEDŁUG NOMOGRAMU HAMESA-SMITHA

Szybki rozwój floty handlowej oraz umasowienie sportów wodnych i żeglarstwa są niestety także przyczyną wzrostu liczby rozbitków, wymagających udzielenia szybkiej i efektywnej pomocy.

W naszej strefie klimatycznej przez większą część roku temperatury wody w morzu czy jeziorach są na tyle niskie, że czas udzielenia skutecznej pomocy musi być liczony na dziesiątki minut do kilku godzin. Mimo ostrych wymogów stawianych przez międzynarodowe konwencje odnośnie środków ratunkowych na statkach, rozbitkowie nie zawsze mają czas i możliwości ich użycia i często znajdują się w wodzie zaopatrzeni jedynie w indywidualne kamizelki czy pasy ratunkowe.

W skali masowej wypadki takie miały miejsce w czasie II wojny światowej na wodach środkowego i północnego Atlantyku, podczas ataków hitlerowskiego lotnictwa i okrętów podwodnych na konwoje alianckie.

Dla tej grupy rozbitków głównie niebezpieczeństwo stanowi śmierć w wyniku przechłodzenia organizmu w zimnej wodzie. Nasze ratownictwo morskie w zakresie ratowania życia na morzu, nastawione jest głównie na działanie w rejonie południowego Bałtyku, słusznym dlatego będzie podanie krótkiej charakterystyki tego środowiska wodnego.

Średnie temperatury wody morskiej według miesięcy dla wybranych miejscowości przedstawiono w tabeli I.

Tab. 1.

Średnie temperatury wody morskiej według miesięcy (8).

Miejsce pomiaru	Lata	Temperatury w stopniach Celsjusza											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Gdynia	1951-65	1,6	0,9	1,4	5,1	9,9	14,8	17,7	18,4	15,9	11,7	6,9	3,5
Hel	1951-65	1,9	1,0	1,5	4,5	8,7	13,9	17,3	18,1	15,8	12,0	7,7	4,0
Mielno	1951-65	1,3	0,9	2,3	6,4	10,8	14,7	17,5	17,6	15,5	11,2	6,5	3,1
Międzyzdroje	1951-65	1,0	0,6	2,0	6,2	11,4	16,3	18,6	18,5	16,1	11,5	6,7	2,9
Władysławowo	1951-65	1,2	0,8	1,8	5,5	9,6	13,6	17,3	17,4	15,0	10,8	6,3	3,0

Temperatura wody powierzchniowej Bałtyku zmienia się znacznie w zależności od pory roku. Zimą w zatokach i w pobliżu brzegów powstaje lód a temperatura wody spada poniżej 0°C w zależności od zasolenia. Najwyższe temperatury wody notuje się zwykle w sierpniu (18-19°C).

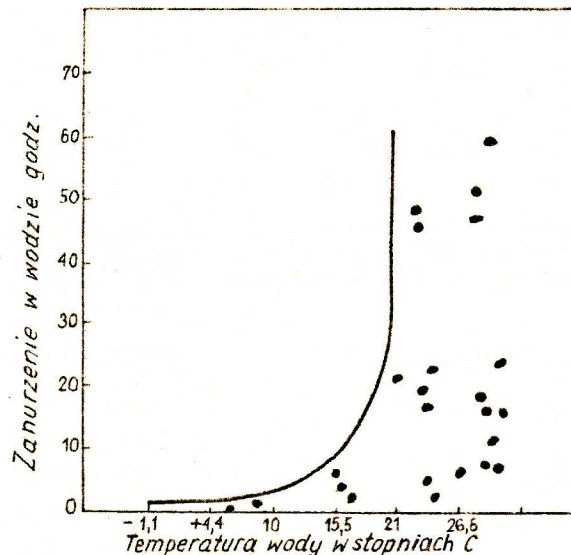
Wahania roczne zawierają się w granicach od -0,4 do 21,8°C. Sezon uprawiania sportów wodnych na Bałtyku ograniczony jest praktycznie do okresu od połowy czerwca do połowy września. Dla potrzeb ratownictwa należy przyjąć założenie, że każda awaria jednostki pływającej w ciągu całego roku może być przyczyną śmierci rozbitków w wyniku działania zimna.

Ciepłokrwisty i stałocieplny ustrój człowieka napotyka w wodzie środowisko, do warunków którego nie jest przystosowany w związku z odmiennymi jego właściwościami fizycznymi. Przewodnictwo cieplne wody wynosi kcal/m²/h/cm/°C, natomiast powietrza 2 kcal/m²/h/cm/°C, pojemność zaś cieplna wody jest czterokrotnie a gęstość 700-krotnie większe niż powietrza. Odprowadzanie ciepła z powierzchni ciała w wodzie jest zatem 25-krotnie intensywniejsze niż w powietrzu.

Jeżeli w środowisku powietrznym przy temperaturze 4°C człowiek normalnie ubrany może bez szkody dla zdrowia i spadku temperatury ciała przebywać przez okres sześciu godzin, to w wodzie o tejże temperaturze człowiek ginie w wyniku hipotermii w ciągu 30-60 minut (1, 4, 6, 9, 16).

Szybkość narastania objawów hipotermii związana jest także z tym, że w wodzie ciepło odprowadzane jest z całej zanurzonej powierzchni ciała prawie wyłącznie drogą przewodzenia. W wodzie o temperaturze do 15°C czas przeżycia ludzi rozebranych wynosi 1,5 do 2 godzin a dla normalnie ubranych wydłuża się do 4,5 godz. (6, 9).

Ze względu na duże indywidualne różnice w tolerancji ustroju na oziębienie w wodzie związane z wiekiem, płcią, budową ciała i aklimatyzacją opracowano dla potrzeb marynarki wojennej i handlowej oraz dla lotnictwa i ratownictwa morskiego szereg nomogramów i wzorów, według których oznacza się dopuszczalny czas przebywania rozbitków w wodzie.



Rys. 1. Czas przeżycia rozbitków w zależności od czasu zanurzenia i temperatury wody. Czarne punkty oznaczają rozbitków uratowanych.

Czas przeżycia rozbitków w zależności od temperatury wody przedstawia rycina I, opracowana na podstawie badań szeregu autorów, w tym głównie Molnara na materiale rozbitków z okresu II wojny światowej (1, 4, 6, 9, 13). Wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że temperatura wody 20 °C i wyższa jest bezpieczna dla młodych, zdrowych mężczyzn (marynarze) wydłużając czas przeżycia rozbitka do dziesięciu godzin.

Na podstawie badań Molnara opracował Barnett w 1962 roku nomogram bardziej dokładny, określający wizualnie strefę 100% śmiertelności rozbitków, strefę graniczną i strefę bezpieczną w zależności od czasu pływania i temperatury wody co ilustruje ryc. II (16).

Powyższe dwa wykresy pozwalają jedynie na orientacyjne, przybliżone określenie czasu przeżycia rozbitków, dlatego głównie na użytek fachowego personelu medycznego, wojskowego jak i cywilnego. Smith i Hames (15, 16) opracowali w 1962 roku nomogram pozwalający na określenie czasu przeżycia ludzi w zimnej wodzie z uwzględnieniem ich płci, wieku, budowy ciała i odzieży co ilustruje rycina III.

Postępowanie z monogramem.

1. Określona temperaturę wody (T_w) i wartość izolacyjną tkanek oraz noszonej odzieży (I_t) łączymy prostą z najbliższą skalą punktu przecięcia, która wyznacza wartość oddawanego ciepła do otoczenia na drodze przewodzenia i konwekcji z jednostki powierzchni (H_c/A).
2. Wartość oddawanego ciepła H_c/A i produkcję ciepła z jednostki powierzchni M/A należy połączyć prostą, której punkt przecięcia z sąsiednią skalą wykaże tzw. Dług ciepłny D/A .
3. Wartość długu ciepłnego D/A i wartość zanurzonej powierzchni ciała A łączymy linią prostą, której punkt przecięcia z sąsiednią skalą wskaże wartość całkowitego długu ciepłnego w kcal/h/D/.
4. Wartość długu ciepłnego D należy połączyć z wartością masy ciała (m), a przecięcie tej prostej z sąsiednią skalą wykaże zmianę średniej temperatury ciała w ciągu godziny (dO).
5. Wartość zmiany średniej temperatury ciała dO należy z odpowiednią wartością na skali ekspozycji czasu (t) i średnią temperaturę ciała (O).

Przykład (ryc. III). Linia przerywana. W wodzie o temperaturze 4,0°C nagi mężczyzna ($I_t = 0,30$ clo) traci 610 kcal/m²/h.

Produkcja ciepła w wyniku działania zimna i wzmoczonych procesów przemiany materii wynosi 400 kcal/m²/h, co powoduje w rezultacie powstanie długu ciepłnego w wysokości 210 kcal/m²/h. Powierzchnia zanurzonego w wodzie ciała wynosi 1,75 m², a więc całkowity dług ciepłny wyniesie 365 kcal/h i który dla mężczyzny o wadze 75 kg powoduje spadek ciepłoty ciała o 6,0°C/h.

Średnia temperatura ciała równa się 31°C może być znoszona przez czas około 1 godz., dając 50% możliwości przeżycia. Taki osobnik będzie prawdopodobnie niezdolny do aktywności ruchowej a wieloznaczni z osób znajdujących się w tej sytuacji będą w stanie przeżyć dłużej niż 1 godz. i 50 min.

Ogólnie przyjmuje się, że niemożliwym jest utrzymanie bilansu ciepłnego organizmu w wodzie o temperaturze poniżej 20°C.

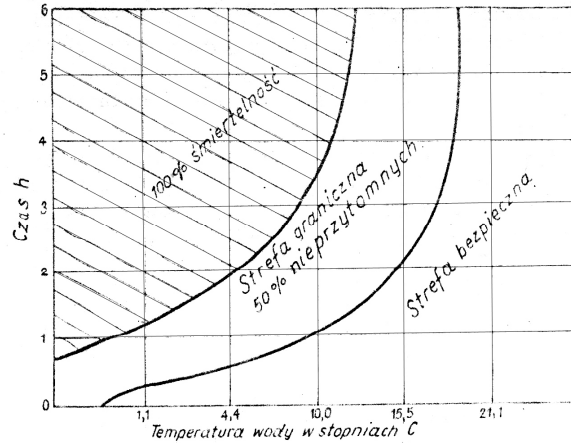
Oddawanie ciepła jest większe niż jego produkcja związana z dreszczami i wysiłkiem mięśniowym (pływanie), w wyniku czego temperatura ciała systematycznie spada aż nastąpi zgon. Ciepłota ciała w wodzie o temperaturze bliskiej 0°C spada w tempie 10° na godzinę (5, 7, 10).

Wiąże się z tym pojęcie tzw. „zera biologicznego” czyli najniższej temperatury tkanki, przy której zahamowanie jej czynności jest jeszcze odwracalne. Zero biologiczne dla kory mózgowej wynosi 29°C, dla ośrodków podkorowych 27°C a dla ośrodków rdzenia przedłużonego 25-22°C.

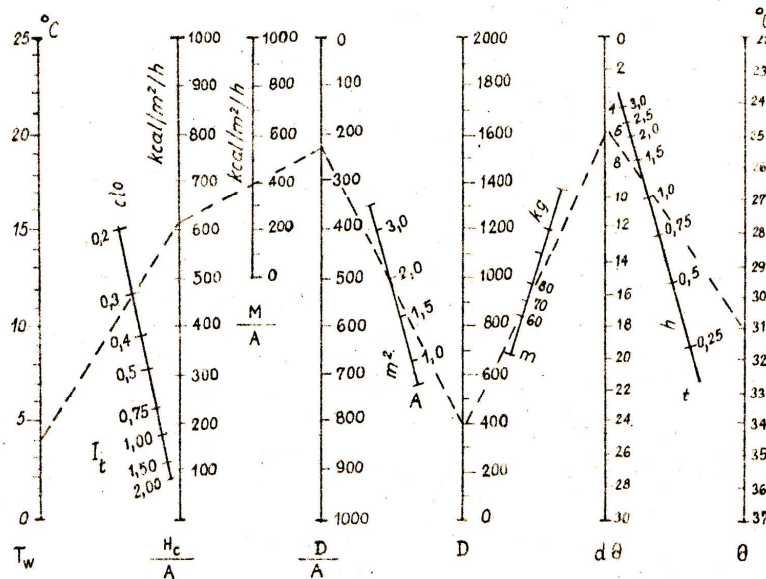
Według Molnara (9) nie przeżywa się spadku temperatury ciała mierzonej w odbytnicy poniżej 23,8°C.

WNIOSKI

- 1) Środowisko wodne poprzez odmiennosć właściwości fizycznych skraca w drastyczny sposób czas przeżycia rozbitka.
- 2) Temperatura wody poniżej 20°C nie pozwala na zrównoważenie bilansu cieplnego organizmu.
- 3) Odzież i umiarkowany ruch wydłużają czas przeżycia rozbitka w wodzie.
- 4) Przy temperaturach wody bliskich 0°C należy się liczyć ze zgonem rozbitka przed upływem 60 minut.
- 5) Podane wyżej średnie czasy przeżycia rozbitka w zależności od temperatury wody, mogą zlec znacznemu skróceniu w związku ze stanem morza, falowaniem, wiatrem, które to czynniki mogą być powodem utopienia rozbitka nim zginie na skutek hipotermii.



Rys. 2. Nomogram opracowany przez Barnetta, określający wizualnie strefę 100% śmiertelności, strefę graniczną i strefę bezpieczną w zależności od czasu zanurzenia i temperatury wody.



Rys. 3. Nomogram do oznaczania czasu tolerancji w warunkach zanurzenia w zimnej wodzie (wg. Smitha i Hamesa). Jednostka CLO na skali I, odpowiada izolacyjności cieplnej odzieży, zapewniającej poczucie komfortu cieplnego człowiekowi w spoczynku, w temp. 21°C, wilgotności, względnej poniżej 50% i ruchu powietrza 0.1 m/s. Wartość produkcji ciepła przez organizm wynosi w tych warunkach 50 kcal/m².

IZOLACYJNA ROLA TŁUSZCZOWEJ TKANKI PODSKÓRNEJ W PROCESIE TERMOREGULACJI ORGANIZMU W WODZIE

Lekarzy prowadzących badania nad wpływem warunków termicznych środowiska wodnego na stan bilansu cieplnego pływaków lub rozbitków interesuje od dawna rola tkanki tłuszczowej w zjawiskach różnej osobniczo tolerancji na długotrwałe oziębienie (1, 3, 4, 6, 13).

W 1898 roku Bordier dokonał pomiarów cieplnego przewodnictwa tkankowego stwierdzając, że tkanka mięśniowa ma przewodnictwo cieplne 1,8 razy większe niż tkanka tłuszczowa. Według badań Hardy'ego i Soderstrema z 1938 roku (4) przewodnictwo cieplne tkanek wynosiło dla tłuszczu zwierzęcego 0,00049 cal.cm/cm²/s/°C oraz dla mięśni 0,00047 cal.cm/cm²/s/°C. W 1950 roku Hatfield i Pugh (4) dokonali pomiarów przewodnictwa cieplnego tkanek ludzkich in vivo za pomocą termoelementów w kształcie igieł wprowadzonych do tkanki podskórnej i mięśni. Wyniki tych badań przedstawiono w tab.2.

Przewodnictwo cieplne wzorcowych tkanek ludzkich i tłuszczów ochronnych używanych przez pływaków.

Tkanki	Tkanki ludzkie	
	Tłuszcz	Mięśnie
Średnio	0,000438	0,00092
Tłuszcze ochronne używane przez pływaków		
Lanolina bezwodna	0,0036	
Lanolina uwod.	0,00054	
Wazelina	0,00049	

Wartość przewodnictwa cieplnego zawarte w tab. I wyrażono w $\text{cal}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2/\text{s}/^\circ\text{C}$, natomiast zamiana na $\text{kcal}\cdot\text{cm}/\text{m}^2/\text{h}/^\circ\text{C}$ wymaga przemnożenia przez $3,6 \times 10^3$. W wyniku powyższych badań wyciągnięto wnioski co do roli izolacyjnej tkanki tłuszczowej dla ustroju zanurzonego w zimnej wodzie. Należy tu podkreślić, że według danych z okresu ostatniej wojny, dotyczących rozbitków na morzu, rola podskórnej tkanki tłuszczowej nie jest tak oczywista (10).

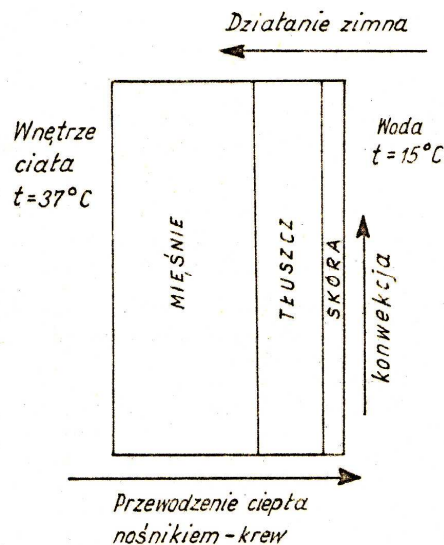
W miarę zagłębiania się pod skórę ciepłota ciała szybko rośnie. W temperaturze pokojowej otoczenia już na głębokości 1 cm pod skórą ciepłota tkanek jest zbliżona do ogólnej temperatury ciała.

W wypadku gdy skóra styka się ze środowiskiem wodnym o większym przewodnictwie i pojemności cieplnej, wpływ otoczenia przenika łatwo do głębszych warstw ciała. W wodzie o temperaturze 33°C przewodnictwo tkankowe w spoczynku wynosi $9-10 \text{ kcal}/\text{m}^2/\text{h}/^\circ\text{C}$, zaś $2,5 \text{ kcal}/\text{m}^2/\text{h}/^\circ\text{C}$ w wodzie o temperaturze 7°C .

Przewodnictwo cieplne wody wynosi $53 \text{ kcal}/\text{m}^2/\text{h}/\text{cm}/^\circ\text{C}$, natomiast powietrza $2 \text{ kcal}/\text{m}^2/\text{h}/\text{cm}/^\circ\text{C}$. Odprowadzanie ciepła ze skóry w wodzie jest zatem 25-krotnie intensywniejsze niż w powietrzu. Ponadto w wodzie prawie cała wymiana ciepła odbywa się drogą przewodzenia i konwekcji.

Działanie niskiej temperatury na nagie ciało w wodzie przejawia się sposobem bezpośredni skurczem naczyń krwionośnych skóry, powodującym zmniejszenie skórnego przepływu krwi i obniżenie przewodnictwa cieplnego powłok ciała.

Pozbawiona w znacznym stopniu krwi tkanka tłuszczowa podskórna spełnia wtedy rolę dobrego izolatora termicznego, jak wyciśnięta z wody gąbka. Spadek temperatury skóry i tkanki podskórnej zmniejsza różnicę temperatur skóra-woda. W rezultacie ulegają zmniejszeniu straty ciepła z powierzchni ciała. Schematycznie ilustruje to ryc. 4.



Rys. 4. Utrata ciepła przez ustrój zanurzony w wodzie drogą przewodzenia i konwekcji. Gradient temperatury ciało-woda $=22^\circ\text{C}$. Działanie zimna obniża temperaturę skóry i tkanki podskórnej, zmniejszając gradient temperatury i przewodnictwo cieplne tkanek a zwiększając ich wartość izolacyjną w tym głównie tkanki tłuszczowej.

Dążenie do zachowania równowagi cieplnej przez organizm znajdujący się w warunkach przedstawionych na ryc. 4 może przebiegać dwoma drogami:

- Wzrostu produkcji ciepła poprzez zwiększony metabolizm, wysiłek fizyczny, napięcie i drżenie mięśniowe;
- Zmniejszenia oddawania ciepła w wyniku skurczu naczyń krwionośnych powłok ciała, spadku przewodnictwa cieplnego tkanek i wzrostu wartości izolacyjnej tkanki tłuszczowej podskórnej.

Zwykle w warunkach oziębienia ustroju zjawiska powyższe występują łącznie a jedynie wysiłek fizyczny może być świadomie dozowany.

Indywidualne różnice (trening, aklimatyzacja, budowa ciała) są przyczyną, że np. zawodnicy przepływający kanał La Manche znoszą stosunkowo dobrze 12-22 godzinną ekspozycję na temperaturę wody $15,5^\circ\text{C}$, podczas gdy rozbitkowie ze statków w tych samych warunkach mogą przetrwać zaledwie 4-6 godzin. W wyniku prac Pugh'a i Keatinge'a (1, 5, 6, 12, 13) można stwierdzić, że odporność pływaków długodystansowych na zimno zależy przede wszystkim od grubości i wartości izolacyjnej podskórnej tkanki tłuszczowej.

Pływanie długodystansowe wymaga dużej produkcji ciepła a to 10-15 kcal/min. zarówno u szczupłych jak i otyłych pływaków: czynnik ten jednak nie chronił szczupłych od szybkiego spadku ciepłoty ciała i wycofania się z zawodów.

Jeżeli w chłodnym środowisku wodnym w wyniku pracy mięśniowej wzrosnie skórny przepływ krwi, wówczas utrata ciepła może przewyższać jego wytwarzanie, co spowoduje spadek ciepłoty ciała. Występuje to szybciej u osobników szczupłych i w niskich temperaturach wody. Intensywne pływanie (wzrost produkcji ciepła) może nie tylko nie poprawić bilansu cieplnego ustroju, lecz znacznie skrócić czas sprawności ruchowej pływaka.

Ma to istotne znaczenie dla rozbitków. Stąd też mała efektywność w procesie termogenezy drżenia mięśniowego, gdyż towarzyszy mu wzrost przepływu skórnego krwi, spadek wartości izolacyjnej tkanki tłuszczowej i w konsekwencji wzrost strat ciepłych w wodzie.

Zakres średniej grubości tłuszczowej tkanki podskórnej uczestników zawodów pływackich wynosił 6-10 mm w porównaniu z przeciętną wartością 4 mm, jaką zastosowano wśród osobników tzw. Grupy kontrolnej (12, 13). Chociaż różnica ta wydaje się dość mała, to jednak można uzasadnić pogląd, że grubość tłuszczu podskórnego ma decydujące znaczenie w znoszeniu oziębienia w wodzie.

Wartość izolacyjną tkanek wyraża się jako odwrotność kilokalorii, rozproszonych na obszarze jednego m² zanurzonej części skóry ludzkiej na gradient temperatury o wielkości 1°C w relacji między odbytą (wnętrze ciała) a wodą.

Podstawowe równanie dotyczące przepływu ciepła mówi, że przepływ ciepła (H) przez ośrodek izolacyjny o grubości 1 cm na jednostkę powierzchni równa się różnicy temperatur występujących na brzegach ośrodka (Δt), podzielonej przez wartość jego izolacji cieplnej (I). (13):

$$H = \frac{\Delta t}{I}$$

Przyjmijmy, że wartość przepływu ciepła przez podskórną tkankę tłuszczową jest rzędu 30 kcal/m²/h, co równa się 0,00083 cal/cm²/s u osoby rozebranej w spoczynku oraz stanie pełnego zwiężenia naczyń. Wartość izolacji cieplnej dla tłuszczu ludzkiego, która jest odwrotnością przewodności cieplnej tłuszczu wynosi $\frac{1}{0,00083}$ cal/cm²/s na każdy 1 cm jego grubości, a więc:

$$\Delta t = 0,00083 \times \frac{1}{0,00083} \text{ °C/cm} = 1,67 \text{ °C/cm}$$

Dla osoby rozebranej, w spoczynku, warstwa tłuszczu podskórnego grubości 1 cm utrzymywałaby różnicę temperatur o wartości 1,67 °C. Gdy produkcja ciepła jest dziesięciokrotnie większa niż w spoczynku, na przykład u pływaków, to ta sama grubość warstwy tłuszczu wytrzymałaby różnicę temperatur wynoszącą 16,7°C, lub inaczej, tkanka tłuszczowa o grubości 1 mm w czasie dużego wydatkowania energii jest równa grubości 1 cm, gdy osobnik pozostaje w spoczynku.

Tłuszcz tylko wtedy staje się skutecznym środkiem izolacji ciepła, gdy prędkość jego przechodzenia jest odpowiednio wysoka. Warunki takie istnieją u pływaków długodystansowych, gdzie ciężko pracujący organizm stale znajduje się w chłodnej wodzie (12, 13). Powyższe rozumowanie doprowadziło do właściwej oceny roli tłuszczu nałożonego na ciało w celu ochrony przed zimnem (patrz tab. 2).

Przewodnictwo cieplne lanoliny lub wazeliny jest porównywalne z przewodnictwem tłuszczu w organizmie, tak więc w czasie pływania warstwa lanoliny nałożona na powierzchnię skóry o grubości 1 mm zdolna jest do podtrzymywania różnicy temperatur o wielkości 1,67 °C lub równa wzrostowi temperatury wody o tę wielkość (10).

Pionierskimi badaniami w tej dziedzinie są prace Puga i wsp. oraz Keatinge'a i Cannona (1, 5, 12, 13), wykonane na ochotnikach i uczestnikach pływania przez kanał La Manche. W tabeli 3 przedstawiono cechy fizyczne badanych osobników, gdzie 1 i 2 to szczupli a 3 i 4 otyli.

Tab. 3.

Cechy fizyczne badanych osobników.

Lp.	Wzrost cm	Waga kg	Pow. ciała m ²	Pow. ciała zanurzonego m ²	Grub. fałdu skórnego mm
1	173	69	1,82	1,70	6,5-6,7
2	162,5	54,5	1,58	1,48	6,5-6,7
3	175	89	2,05	1,92	26,7-26,0
4	170	89	2,00	1,87	26,7-26,0

Na ryc. 5 przedstawiono graficznie wartość izolacji cieplnej powłok ciała osobników, których cechy fizyczne podano w tab. 3.

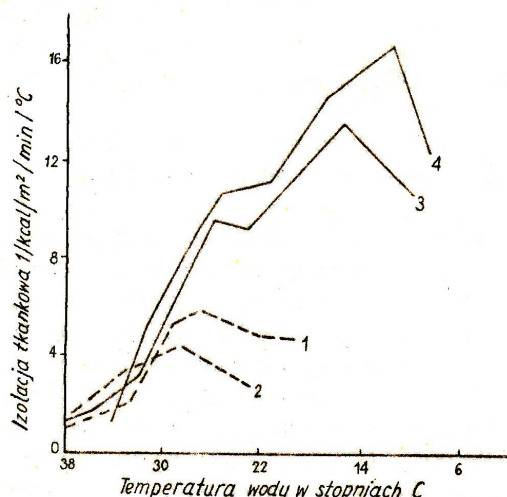
Z ryc. 5 wynika, że wartość izolacji cieplnej powłok ciała była najniższa przy najwyższych temperaturach wody, przy czym należy zwrócić uwagę, że te najniższe wartości izolacji tkankowej były prawie równe dla wszystkich badanych mężczyzn zarówno szczupłych jak i otyłych.

W miarę obniżania temperatury wody wartość izolacyjna tkanek rosła do maksymalnego poziomu, który okazał się o wiele wyższy u ludzi otyłych niż u szczupłych i osiągnięty został u nich przy niższej temperaturze wody niż miało to miejsce u szczupłych.

Chociaż izolacyjność tkanek otyłych osobników wzrastała do wysokich wartości przy temperaturze wody 12°C, to jednak przy niższych temperaturach wody w sposób wyraźny malała.

Spadkowi wartości izolacyjnej tkanek towarzyszyły w tych warunkach cykliczne wzrosty oddawania ciepła. Spowodowane jest to okresowym rozszerzaniem się naczyń krwionośnych w temperaturze wody poniżej 10°C pod wpływem bezpośredniego działania na nie zimna.

Rozszerzanie się naczyń, jakkolwiek okresowe, wybitnie zmniejsza izolacyjność tkanek (przekrwienie) u ludzi otyłych przy niskich temperaturach wody.



Rys. 5. Wartość izolacji cieplnej tkanki tłuszczowej a osobników chudych (1, 2) i otyłych (3,4) w zależności od temperatury wody.

Stąd wniosek, że żadna ilość (grubość) tłuszczu podskórnego nie umożliwi człowiekowi otyłemu przetrwania w wodzie, o temperaturze bliskiej zamarzania przez czas nieokreślony bez specjalnej odzieży ochronnej.

W tym przypadku ludzie różnią się od wodnych ssaków arktycznych jak foki, wieloryby, morsy, które zdecydowanie potrafią przetrwać w wodzie o temperaturze bliskiej zamarzania przez długi okres czasu.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Cannon P., Keatinge W.: J.Physiol., 1960, 154:329
- 2) Durnin J., Passmore R.: Energetyka pracy i wypoczynku, PWN, W-wa, 1969.
- 3) Glaser E.: Nature, 1950, 23:1068.
- 4) Hatfield H., Fugh L.: Nature, 1951, 24:918.
- 5) Keatinge W.: J.Physiol., 1960, 153:166.
- 6) Keatinge W.: Survival in cold water. Blackwell Scient.Public., Oxford 1969.
- 7) Klonowicz S., Kozłowski S.: Człowiek a środowisko termiczne, PZWL, W-wa, 1970.
- 8) Lambertsen C.: Underwater physiology. Williams, Wilkins Co, Baltimore, 1967.
- 9) Molnar C.: J.A.M.A., 1946, 27:1046.
- 10) Mornar G.: J.A.M.A., 1946, 13:1046.
- 11) Nicholl G.: Survival at sea. Adlard Coles, London, 1960.
- 12) Pugh L., Edholm O.: Lancet, 1955, 8:761.
- 13) Pugh L. I wsp.: Clin.Sci.1960, 19:257.
- 14) Rocznik Statystyczny Gospodarki Morskiej, G.U.S.W-wa, 1971.
- 15) Smith B., Hames E.: aerospace Med. 1962, 33:834.
- 16) Whittingham P. w podr. A textbook of aviation physiology, pod red. J.Gillies, Pergamon Press, Oxford, 1965, str. 479.