

Michał Kaliszan<sup>1, 2</sup>, Roman Hauser<sup>1</sup>

## Określanie czasu zgonu na podstawie pomiaru temperatury oka wobec innych miejsc ciała

### Estimation of the time of death based on the measurements of the eye temperature in comparison with other body sites

<sup>1</sup> Z Katedry i Zakładu Medycyny Sądowej Akademii Medycznej w Gdańsku  
Kierownik: dr hab. med. Z. Jankowski

<sup>2</sup> Z Forensic Medicine Section, University of Edinburgh, UK  
Kierownik: prof. dr med. G. Kernbach-Wighton

Przeprowadzono dwuetapowe systematyczne badania na świniach, w celu zweryfikowania modeli pośmiertnego spadku temperatury ciała, aktualnie wykorzystywane, w medycynie sądowej. Podczas eksperymentów pomiary temperatury prowadzono w czterech miejscach ciała, tj. gałkach ocznych (ciele szklistym oka), tkankach miękkich oczodołów, mięśniach i odbytnicach. Wyniki badań wykazały, że pomiary spadku temperatury mierzonej we wnętrzu gałki ocznej i w tkankach miękkich oczodołu mogą zostać zastosowane do określania czasu zgonu w pierwszym stadium schładzania ciała. W drugim etapie badań potwierdzono brak fazy *plateau*, przynajmniej od 30 minut *post mortem*. Stwierdzono też, że w bardzo wczesnym okresie pośmiertnym kinetykę stygnięcia wszystkich badanych miejsc ciała wyraźnie lepiej opisuje model dwuwykładniczy niż model jednowykładniczy. Wykazano przy tym, że niewielki ruch powietrza w pomieszczeniu, w którym przeprowadzano eksperyment nie wpływa istotnie na przebieg pośmiertnego procesu stygnięcia badanych miejsc ciała. Pomiary temperatury gałek ocznych z użyciem termometru laserowego na podczerwień, przeprowadzone podczas eksperymentu, okazały się dla diagnostyki czasu śmierci nieprzydatne. Przeprowadzone eksperymenty pozwoliły określić nieopisaną dotychczas wartość fizjologicznej temperatury gałki ocznej świni jako 38°C.

A systematic two-stage study was conducted in pigs to verify the models of postmortem body temperature decrease currently employed in forensic medicine. During the investigations, temperature recordings were performed

in four body sites (eyeballs, orbit soft tissues, muscles and rectums). The results of the study support the possible use of the eyeball and also the orbit soft tissues as temperature measuring sites at the early phase after death; they have narrowed the significance of rectum temperature measurements to the late stage of postmortem body temperature decrease, shown insignificant correlations between the body weight and the temperature decrease rate constant and illustrated the functional increase of the time of death estimation error as the body cools, expressed in the distinct tendency to overestimate the calculated time of death as compared to the actual one. In the second stage of the experiment, a lack of a plateau phase was demonstrated, at least from 30 min post mortem. It was also found that in the very early post mortem period, the kinetics of cooling of all the body sites studied was better described by the two-exponential model than the single exponential one. The study also showed that the weak airflow present in the experimental conditions did not practically affect the course of cooling of the investigated body sites. Eyeball temperature measurements with an infra-red laser thermometer performed during the experiment proved to be of no use for determination of the time of death. The experiments allowed for defining the so far unreported value of physiological temperature of pig eyeball as 38°C.

Słowa kluczowe: czas zgonu, temperatura oka, plateau spadku temperatury, świnia  
Key words: time of death, eye temperature, plateau of the temperature decrease, pig

## WSTĘP

Określanie czasu zgonu jest problemem towarzyszącym medycynie sądowej od jej zarania i należy do głównych zadań medyka sądowego obecnego na miejscu ujawnienia zwłok. Prowadzone przez policję i prokuratora czynności śledcze przebiegają najwydajniej, jeżeli lekarz obecny przy oględzinach zwłok w miejscu ich ujawnienia jest w stanie stwierdzić, jaki czas minął od chwili śmierci. Precyzyjne ustalenie czasu śmierci pozwala na weryfikację zeznań świadków i ocenę ewentualnego alibi osób podejrzanych. Ustalenie czasu śmierci ma też niekiedy znaczenie z punktu widzenia prawa cywilnego, gdyż od kolejności zgonów może zależeć m.in. kolejność dziedziczenia [1].

W praktyce do ustalania czasu śmierci stosuje się metody polegające na pomiarze temperatury [1, 2, 3] oraz oparte na ocenie zmian pośmiertnych [1]. Pomiarów temperatury dokonuje się zazwyczaj w odbyciu [4, 5], aczkolwiek w literaturze opisane zostały metody wykorzystujące pomiary temperatury innych miejsc ciała, np. mózgu [6, 7, 8, 9], serca [10, 11], wątroby [12, 13, 14] czy błony bębenkowej [15]. Analizując obszerną literaturę nie znaleziono opracowań umożliwiających praktyczne wykorzystanie gałki ocznej i tkanek miękkich oczodołu jako miejsc pomiaru temperatury w celu ustalenia czasu śmierci. Jedyne opracowanie przedstawiało próby pomiarów temperatury gałki ocznej zwłok ludzkich [16].

Fakt ten skłonił do podjęcia próby opracowania nowej, przydatnej w praktyce, metody pozwalającej w założeniu na precyzyjne określenie czasu zgonu zwłaszcza w początkowym, kilku- lub kilkunastogodzinnym, okresie po śmierci. W celu weryfikacji koncepcji wykonano kontrolowane eksperymenty w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

## CEL PRACY

Przeprowadzone eksperymenty miały na celu sprawdzenie możliwości zastosowania gałki ocznej i tkanek miękkich oczodołu jako miejsc przydatnych dla pomiaru temperatury w celu ustalenia czasu śmierci. Postawiono też zadanie wyprowadzenia i weryfikacji wiarygodnego i dogodnego modelu matematycznego, pozwalającego na ustalenie czasu, jaki upłynął od śmierci w początkowym okresie po zgonie, w warunkach temperatury pokojowej, z wykorzystaniem gałki ocznej (ciała szklistego oka) i tkanek miękkich oczodołu, jako miejsc pomiaru temperatury. Celem badań była także analiza porównawcza w odniesieniu do dotychczas stosowanych metod określania czasu zgonu na podstawie pomiaru temperatury ciała. Równocześnie podjęto próbę

określenia wpływu niewielkiego ruchu powietrza na szybkość procesu stygnięcia zwłok.

## MATERIAŁY I METODY

Badania przeprowadzono dwuetapowo na świniach rasy Wielka Biała Polska. W obu etapach badań do pomiarów użyto pięciu dwukanałowych termometrów elektronicznych z sondami igłowymi (Dostmann-electronic GmbH, Niemcy) zakończonymi czujnikiem temperatury długości 20 mm.

Bezpośrednio po uboju zwierzęta kładziono na drewnianych paletach ułożonych na podłodze w izolowanym, zamkniętym pomieszczeniu. Następnie sondy igłowe wkłuwano kolejno: w twardówkę w okolicy kwadrantów nosowych gałek ocznych, 3 mm od rąbka rogówki, przechodząc przez część płaską ciała rzęskowego do komory ciała szklistego, a dalej ku tyłowi i bocznie od tarczy nerwu wzrokowego na głębokość 22 mm; w tkanki miękkie oczodołów w okolicy kąta przyśrodkowego powiek, przechodząc wzdłuż mięśnia prostego przyśrodkowego w kierunku szczeliny oczodołowej górnej na głębokość 25 mm; w mięśnie zadów z punktu wkłucia leżącego w centralnej części zadu oraz w odbytnicę – w obu sytuacjach na głębokość 150 mm, równą długości sond.

Temperaturę otoczenia mierzono i monitorowano z użyciem sondy umieszczonej w części środkowej pomieszczenia.

Termometry przyłączano do komputera zaprogramowanego na ciągłą rejestrację z częstotliwością 5 minut przekazywanych wartości temperatury.

W czasie rejestracji powieki u wszystkich osobników były w sposób naturalny zamknięte.

Postępowanie poprzedzające włączenie rejestratora w pierwszej serii eksperymentów trwało 75 minut. Natomiast w drugiej serii badań pomiary rozpoczynano od 30. minuty po ubiciu zwierząt. Zakończenie rejestracji pomiarów następowało po upływie w pierwszym etapie około 20 h, a w drugim etapie po około 15 h od śmierci zwierząt.

W celu wzbudzenia ruchu powietrza podczas drugiej serii eksperymentów, w pomieszczeniu o wymiarach podłogi 4,5x3,5 m i wysokości 3 m funkcjonowały równocześnie dwa klimatyzatory ustawione na zewnątrz od zwierząt w linii ich łbów oraz umieszczony poza linią zadów wentylator. Zwrócone do siebie dysze klimatyzatorów oraz wiatrak wentylatora były usytuowane na wysokości 1 m od podłoża.

Prędkość przepływu powietrza w pomieszczeniu mierzono przy użyciu anemometru (Testoterm GmbH, Niemcy).

Rezultaty opracowano z zastosowaniem programu Microsoft Excel 2000 (Microsoft Corporation, USA) z użyciem statystycznych procedur: Matlab® Software version 7.0 (The Math Works, Inc., Natick, USA).

Podczas drugiego etapu badań dokonywano także pomiarów temperatury gałek ocznych przy użyciu termometru laserowego wykorzystującego promieniowanie podczerwone (Dostmann-electronic GmbH, Niemcy) [17, 18].

WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów potwierdzają zasadność wykorzystania gałki ocznej jak też tkanek miękkich oczodołu jako miejsc pomiaru temperatury we wczesnej fazie po śmierci. Istotnym czynnikiem przemawiającym na korzyść tych miejsc pomiaru temperatury jest brak zależności pomiędzy szybkością stygnięcia oka a masą ciała (tab. I). Wykazano ponadto, iż zastosowanie

Tabela I. Korelacja pomiędzy współczynnikami a i b w równaniach jednowykładniczych przedstawiających pośmiertny spadek temperatury w poszczególnych miejscach pomiarowych a masą ciała badanych świń.

Table I. Correlation between the coefficients a and b of the single-exponential model of temperature decrease after death.

Współczynniki modelu wykładniczego	Kwadrat współczynnika korelacji (R²)			
	Gałka oczna	Tkanki oczodołów	Odbytnica	Mięśnie
a	0,002	0,068	0,027	0,145
b	0,037	0,128	0,365	0,320

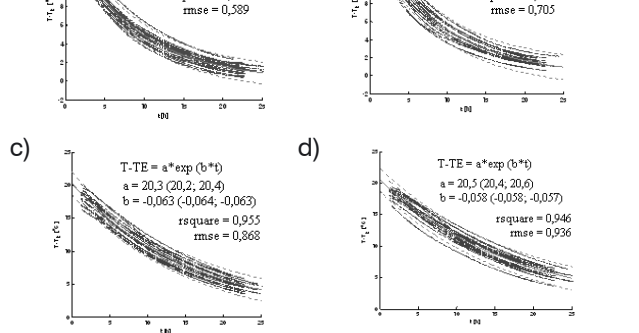
równania jednowykładniczego  $[T - T_E = a \cdot \exp(b \cdot t)]$  do opisu spadku temperatury gałki ocznej w czasie, zapewnia uzyskanie najbardziej precyzyjnego oszacowania czasu zgonu w okresie do 13 h po śmierci. W przypadku tkanek miękkich oczodołu precyzja oszacowania czasu zgonu przewyższa pomiary w mięśniach i odbytnicy do 10,5 h po śmierci. Z kolei, w późniejszym okresie po śmierci lepsze oszacowanie czasu zgonu zapewniają dane z pomiarów temperatury w mięśniach lub odbytnicy (ryc. 1a-d).

W drugim etapie badań na świnich poddano weryfikacji dokonane podczas pierwszej serii badań spostrzeżenia, w tym odnośnie możliwego braku *plateau* temperatury (fazy opóźnienia spadku) w początkowym okresie pośmiertnego stygnięcia w przypadku gałek ocznych i tkanek miękkich

oczodołów. Uzyskane wyniki dowiodły brak fazy *plateau*, przynajmniej po upływie pierwszych 30 minut *post mortem* w przypadku gałek ocznych i tkanek miękkich oczodołu oraz potwierdziły znany fakt obecności fazy *plateau* w przypadku stygnięcia mięśni i odbytu (ryc. 2a-d).

Korzystając z możliwości technicznej bardzo wczesnego podjęcia rejestracji pomiarów poddano weryfikacji matematyczne modele stygnięcia: jedno- i dwuwkładniczy. Stwierdzono, że w bardzo wczesnym okresie pośmiertnym kinetykę stygnięcia wszystkich badanych miejsc (gałki oczne, tkanki miękkie oczodołu, mięśnie, odbytnica) znamienne lepiej opisuje model dwuwkładniczy niż model jednowykładniczy.

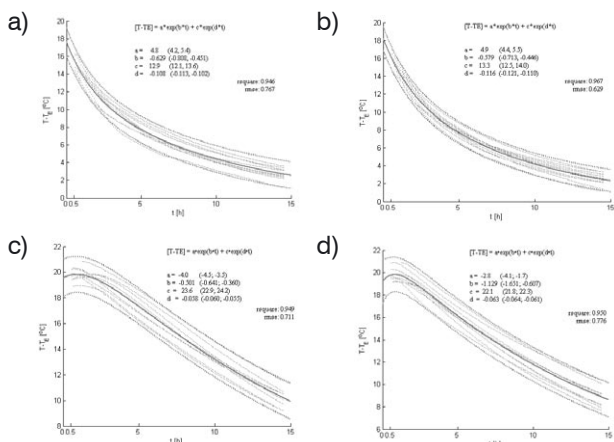
Na podstawie wyprowadzonych dwuwkładniczych równań matematycznych  $[T - T_E = a \cdot \exp(b \cdot t) + c \cdot \exp(d \cdot t)]$  obliczono zakresy czasowe, w których mogło dojść do zgonu dla odpowiednich wartości różnic między temperaturą zmierzoną dla każdego badanego miejsca pomiaru a temperaturą otoczenia (tab. II-V). W ten sposób wykazano, że pomiary



oczodołów. Uzyskane wyniki dowiodły brak fazy *plateau*, przynajmniej po upływie pierwszych 30 minut *post mortem* w przypadku gałek ocznych i tkanek miękkich oczodołu oraz potwierdziły znany fakt obecności fazy *plateau* w przypadku stygnięcia mięśni i odbytu (ryc. 2a-d).

Ryc. 2. Wykresy przedstawiające różnice między mierzoną temperaturą ( $T$ ) gałki ocznej (a), tkanek miękkich oczodołu (b), mięśni (c) i odbytu (d) a temperaturą otoczenia ( $T_E$ ) w funkcji czasu upływającego od śmierci świni, mierzonego począwszy od 30. minuty po śmierci dla 10 badanych zwierząt opisane dla modelu dwuwykładniczego  $[T - T_E] = a \cdot \exp(b \cdot t) + c \cdot \exp(d \cdot t)$ . Współczynniki równania dwuwykładniczego  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  (z 95% przedziałem ufności); rsquare – kwadrat współczynnika korelacji; rmse – średni błąd kwadratowy.

Fig 2. The graphs presenting the difference between measured temperature ( $T$ ) of the pig eyeballs a), orbit soft tissues b), muscles c), rectums d) and environmental temperature ( $T_E$ ) in the function of time ( $t$ ) passing after pig death, measured from 30 min after death for 10 animals and described with use of two-exponential mathematical model  $[T - T_E] = a \cdot \exp(b \cdot t) + c \cdot \exp(d \cdot t)$ ; regression coefficients  $a$ ,  $b$ ,  $c$  and  $d$  (with 95 % confidence limits), rsquare – square of correlation coefficient; rmse – root mean square error.



spadku temperatury mierzonej we wnętrzu gałki ocznej i w tkankach miękkich oczodołu mogłyby stać się praktycznie użyteczne przy określaniu czasu zgonu z dużą dokładnością w pierwszym stadium schładzania ciała (ryc. 2a i b) (tab. II i III). Pomiaru temperatury w mięśniach i odbycie w pierwszych kilku godzinach po śmierci są dla dokładnej diagnostyki czasu śmierci praktycznie nieprzydatne ze względu na utrzymujące się *plateau* spadku ich temperatury. Nabierają one znaczenia dopiero w dalszej fazie stygnięcia zwłok (ryc. 2 c i d) (tab. IV i V).

Jedyną metodą o dokładności zbliżonej z wykazaną w pracy jest metoda polegająca na pomiarach temperatury błony bębenkowej [15]. Proces spadku temperatury błony bębenkowej przebiega podobnie do procesu stygnięcia gałek ocznych i tkanek oczodołu. Procesy te charakteryzuje nieobecność *plateau* temperatury oraz szybki jej spadek w początkowym okresie pośmiertnym. Również błąd szacowania czasu śmierci na podstawie pomiarów temperatury błony bębenkowej, gałki ocznej i tkanek

Tabela II. Dolny (Min) i górny (Max) 95% przedział ufności czasu  $t$ , który upłynął od śmierci badanych świń obliczonego z dwuwykładniczego równania opisującego różnicę temperatury gałki ocznej i otoczenia w czasie, przy uwzględnieniu danych z pomiarów rozpoczynanych od 30. minuty po śmierci zwierząt:  $T$  – temperatura mierzona w gałce ocznej;  $T_E$  – temperatura otoczenia.

Table II. Lower (Min) and upper (Max) 95% confidence limits of time  $t$  elapsing since death of pigs calculated from the two-exponential model describing the difference in eyeball and environmental temperature in time for data from the experiments starting 30 min after pigs death.  $T$  – temperature measured in eyeball;  $T_E$  – environmental temperature.

$T - T_E$ [°C]	Min	t [h]	Max	$T - T_E$ [°C]	Min	t [h]	Max
1,2	14,4	22,0	-	9,2	2,5	3,6	5,0
1,6	13,2	19,3	-	9,6	2,3	3,3	4,6
2,0	12,0	17,2	30,2	10,0	2,1	3,0	4,2
2,4	11,0	15,6	24,7	10,4	1,9	2,7	3,8
2,8	10,1	14,1	21,3	10,8	1,7	2,5	3,5
3,2	9,3	12,9	18,8	11,2	1,5	2,2	3,2
3,6	8,6	11,8	16,8	11,6	1,3	2,0	2,9
4,0	7,9	10,8	15,2	12,0	1,2	1,8	2,7
4,4	7,3	9,9	13,8	12,4	1,0	1,6	2,4
4,8	6,7	9,1	12,6	12,8	0,9	1,5	2,2
5,2	6,2	8,4	11,6	13,2	0,7	1,3	2,0
5,6	5,7	7,7	10,6	13,6	0,6	1,1	1,8
6,0	5,2	7,1	9,7	14,0	0,5	1,0	1,6
6,4	4,8	6,6	9,0	14,4	0,4	0,9	1,4
6,8	4,4	6,0	8,2	14,8	0,3	0,7	1,3
7,2	4,0	5,5	7,6	15,2	0,2	0,6	1,1
7,6	3,7	5,1	7,0	15,6	0,1	0,5	1,0
8,0	3,4	4,7	6,4	16,0	0	0,4	0,8
8,4	3,1	4,3	5,9	16,4	0	0,3	0,7
8,8	2,8	3,9	5,4	16,8	0	0,2	0,6

oczodołu jest porównywalny i pozwala na dokładniejszą ocenę czasu śmierci przez co najmniej 10 h *post mortem* niż w przypadku posługiwania się pomiarami temperatury mięśni i odbytnicy [15, 17, 18]. Niemniej jednak czynnikami mogącymi wpływać na tempo stygnięcia błony bębenkowej, a zarazem na precyzję szacowania czasu zgonu, są m.in. jej uszkodzenia w wyniku urazów czaszkowo-mózgowych z krwawieniem do przewodu słuchowego, procesy zapalne z wysiękiem toczącym się w obrębie ucha środkowego i błony bębenkowej lub choćby obecność woskowiny w przewodzie słuchowym. Sama możliwość obecności tego typu zmian w obrębie błony bębenkowej jak i łatwość przeoczenia ich przez lekarza obecnego na miejscu

ujawnienia zwłok przemawia na korzyść pomiarów temperatury gałek ocznych i tkanek miękkich oczodołu. Także międzyosobnicza homogenność osadzenia i anatomicznej budowy oraz brak wpływu okrycia wierzchniego na proces schładzania wspiera zasadność wyboru gałek ocznych i tkanek miękkich oczodołu jako miejsc pomiaru temperatury w celu szacowania czasu zgonu.

Tabela III. Dolny (Min) i górny (Max) 95% przedział ufności czasu  $t$ , który upłynął od śmierci badanych świń obliczonego z dwuwykładniczego równania opisującego różnice temperatury tkanek miękkich oczodołu i otoczenia w czasie, przy uwzględnieniu danych z pomiarów rozpoczynanych od 30. minuty po śmierci zwierząt:  $T$  – temperatura mierzona w tkankach miękkich oczodołu;  $T_E$  – temperatura otoczenia.

Table III. Lower (Min) and upper (Max) 95% confidence limits of time  $t$  elapsing since death of pigs calculated from the two-exponential model describing the difference in orbit soft tissues and environmental temperature in time for data from the experiments starting 30 min after pigs death.  $T$  – temperature measured in orbit soft tissues;  $T_E$  – environmental temperature.

$T-T_E$ [°C]	Min	t [h]	Max	$T-T_E$ [°C]	Min	t [h]	Max
1,2	14,6	20,7	-	10,0	2,4	3,1	4,0
1,6	13,3	18,2	31,0	10,4	2,2	2,9	3,7
2,0	12,1	16,3	24,6	10,8	2,0	2,6	3,4
2,4	11,1	14,7	21,0	11,2	1,8	2,4	3,1
2,8	10,3	13,4	18,4	11,6	1,6	2,2	2,9
3,2	9,4	12,2	16,4	12,0	1,4	2,0	2,6
3,6	8,7	11,2	14,8	12,4	1,3	1,8	2,4
4,0	8,1	10,3	13,5	12,8	1,1	1,6	2,2
4,4	7,4	9,5	12,3	13,2	1,0	1,5	2,0
4,8	6,9	8,8	11,3	13,6	0,9	1,3	1,8
5,2	6,4	8,1	10,4	14,0	0,7	1,2	1,6
5,6	5,9	7,5	9,6	14,4	0,6	1,0	1,5
6,0	5,4	6,9	8,8	14,8	0,5	0,9	1,3
6,4	5,0	6,4	8,2	15,2	0,4	0,8	1,2
6,8	4,6	5,9	7,5	15,6	0,3	0,6	1,0
7,2	4,3	5,5	7,0	16,0	0,2	0,5	0,9
7,6	4,0	5,1	6,4	16,4	0,1	0,4	0,8
8,0	3,6	4,7	6,0	16,8	0	0,3	0,6
8,4	3,4	4,3	5,5	17,2	0	0,2	0,5
8,8	3,1	4,0	5,1	17,6	0	0,1	0,4
9,2	2,8	3,7	4,7	18,0	0	0,1	0,3
9,6	2,6	3,4	4,3				

Analiza danych zawartych na rycinach 1, 2 oraz w tabelach II, III, IV i V wskazuje, że szacowanie czasu zgonu spada funkcyjnie z czasem, wraz ze spadkiem różnic temperatur  $T-T_E$ . Zarówno model

Tabela IV. Dolny (Min) i górny (Max) 95% przedział ufności czasu  $t$ , który upłynął od śmierci badanych świń obliczonego z dwuwykładniczego równania opisującego różnice temperatury mięśni i otoczenia w czasie, przy uwzględnieniu danych z pomiarów rozpoczynanych od 30. minuty po śmierci zwierząt:  $T$  – temperatura mierzona w mięśniach;  $T_E$  – temperatura otoczenia.

Table IV. Lower (Min) and upper (Max) 95% confidence limits of time  $t$  elapsing since death of pigs calculated from the two-exponential model describing the difference in muscles and environmental temperature in time for data from the experiments starting 30 min after pigs death.  $T$  – temperature measured in muscles;  $T_E$  – environmental temperature.

$T-T_E$ [°C]	Min	t [h]	Max	$T-T_E$ [°C]	Min	t [h]	Max
2,4	31,6	39,6	-	11,0	11,1	13,2	15,5
2,8	29,9	37,0	-	11,4	10,5	12,6	14,8
3,2	28,3	34,6	-	11,8	10,0	12,0	14,2
3,6	26,9	32,6	-	12,2	9,5	11,4	13,5
4,0	25,5	30,8	38,3	12,6	8,9	10,8	12,9
4,4	24,3	29,1	35,8	13,0	8,4	10,3	12,2
4,8	23,1	27,6	33,6	13,4	8,0	9,7	11,7
5,2	22,0	26,2	31,7	13,8	7,5	9,2	11,1
5,6	21,0	24,9	29,9	14,2	7,0	8,7	10,5
6,0	20,1	23,7	28,4	14,6	6,5	8,2	10,0
6,4	19,2	22,6	26,9	15,0	6,1	7,7	9,5
6,8	18,3	21,5	25,6	15,4	5,6	7,2	8,9
7,2	17,5	20,5	24,3	15,8	5,1	6,8	8,4
7,6	16,7	19,6	23,2	16,2	4,7	6,3	7,9
8,0	15,9	18,7	22,1	16,6	4,2	5,8	7,5
8,4	15,2	17,9	21,0	17,0	3,7	5,4	7,0
8,8	14,5	17,1	20,1	17,4	3,1	4,9	6,5
9,2	13,8	16,3	19,2	17,8	2,6	4,4	6,0
9,6	13,2	15,5	18,3	18,2	0,9	3,9	5,6
10,0	12,6	14,8	17,5	18,6	0	3,4	5,1
10,4	12,0	14,2	16,7	19,0	0	2,9	4,6
10,8	11,4	13,5	15,9	19,4	0	2,2	4,2

dwuwykładniczy (rycina 2 oraz tabele II, III, IV i V) jak i model jednowykładniczy (rycina 1) przewidują coraz większe różnice między rzeczywistym a wyliczonym czasem zgonu. I tak, zgodnie ze spostrzeżeniami poprzednimi [17], wraz z upływem czasu od zgonu stopniowo zwiększa się prawdopodobieństwo bardziej zawyżania (przeszacowania) niż zaniżania (niedoszacowania) wyliczonego czasu zgonu. Wyrazem tego jest stopniowo postępująca, większa tendencja do uznawania wyliczonego czasu zgonu za dawniejszy niż za wcześniejszy wobec rzeczywistego czasu zgonu.

Tabela V. Dolny (Min) i górny (Max) 95% przedział ufności czasu  $t$ , który upłynął od śmierci badanych świń obliczonego z dwuwykładniczego równania opisującego różnicę temperatury odbytu i otoczenia w czasie, przy uwzględnieniu danych z pomiarów rozpoczynanych od 30. minuty po śmierci zwierząt:  $T$  – temperatura mierzona w odbycie;  $T_E$  – temperatura otoczenia.

Table 5. Lower (Min) and upper (Max) 95% confidence limits of time  $t$  elapsing since death of pigs calculated from the two-exponential model describing the difference in rectum and environmental temperature in time for data from the experiments starting 30 min after pigs death.  $T$  – temperature measured in rectum;  $T_E$  – environmental temperature.

$T-T_E$ [°C]	Min	t [h]	Max	$T-T_E$ [°C]	Min	t [h]	Max
2,2	28,4	36,8	-	10,8	9,3	11,4	13,8
2,6	26,8	34,1	-	11,2	8,8	10,8	13,2
3,0	25,3	31,8	-	11,6	8,3	10,3	12,5
3,4	23,9	29,8	39,3	12,0	7,8	9,7	11,9
3,8	22,7	28,1	36,3	12,4	7,3	9,2	11,3
4,2	21,5	26,5	33,7	12,8	6,9	8,7	10,7
4,6	20,4	25,0	31,5	13,2	6,4	8,2	10,2
5,0	19,4	23,7	29,5	13,6	6,0	7,7	9,6
5,4	18,5	22,5	27,8	14,0	5,6	7,3	9,1
5,8	17,6	21,3	26,2	14,4	5,2	6,8	8,6
6,2	16,7	20,3	24,8	14,8	4,8	6,4	8,1
6,6	15,9	19,3	23,5	15,2	4,4	6,0	7,6
7,0	15,2	18,3	22,2	15,6	4,0	5,5	7,2
7,4	14,4	17,4	21,1	16,0	3,6	5,1	6,7
7,8	13,7	16,6	20,1	16,4	3,2	4,7	6,3
8,2	13,1	15,8	19,1	16,8	2,9	4,3	5,9
8,6	12,4	15,0	18,1	17,2	2,3	3,9	5,4
9,0	11,8	14,3	17,3	17,6	2,0	3,6	5,0
9,4	11,2	13,6	16,4	18,0	1,5	3,2	4,6
9,8	10,6	12,9	15,6	18,4	0	2,8	4,3
10,4	9,8	12,0	14,5	18,8	0	2,4	3,9

Pomiary prędkości powietrza wykazały, że w warunkach doświadczenia w bezpośredniej bliskości badanych zwierząt prędkość powietrza nie przekraczała 0,5 m/s, natomiast w części centralnej pomieszczenia prędkość powietrza wahała się w granicach 1-2 m/s. Analiza przebiegu stygnięcia ciał zwierząt podczas obu eksperymentów dowiodła, że niewielki przepływ powietrza obecny w pomieszczeniu, w którym przeprowadzono eksperyment (siła wiatru około 2° w skali Beauforta, odpowiadająca słabemu wiatrowi / umiarkowanemu przeciągowi), nie ma praktycznego wpływu na współczynnik stałej szybkości spadku temperatury, a więc także na pośmiertny proces stygnięcia ciała. Wynika z tego, że dla dokładnego szacowania czasu

zgonu, celem wykluczenia możliwości błędnych wyliczeń, w miejsce określonej subiektywnie orientacyjnej prędkości powietrza w okolicy znalezienia zwłok konieczne jest dysponowanie dokładnymi danymi na temat rzeczywistej prędkości przepływu powietrza w rejonie badanych miejsc. Dopiero te dane, pozwalające na miarodajną ocenę tempa ich stygnięcia, można wykorzystywać w praktyce.

Badania temperatury gałek ocznych z użyciem termometru laserowego, okazały się dla diagnostyki czasu śmierci nieprzydatne. Urządzenie pozwalało wyłącznie na rejestrację temperatury powierzchniowej oka, nie gwarantując przy tym precyzji pomiarów [17, 18].

Z równania dwuwykładniczego [ $T-T_E = a \cdot \exp(b \cdot t) + c \cdot \exp(d \cdot t)$ ] (ryc. 2a) dla  $t=0$  obliczono wyjściową temperaturę gałki ocznej świni jako 38°C.

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- pomiary temperatury gałek ocznych i tkanek miękkich oczodołu mogą stać się wartościową, alternatywną metodą ustalania czasu śmierci, a wykorzystanie proponowanych miejsc pomiaru temperatury może być uzasadnione do około 13 h po śmierci;
- *plateau* spadku temperatury w przypadku gałek ocznych i tkanek miękkich oczodołu nie jest obserwowane, co jest szczególnie istotne dla określania czasu zgonu w pierwszych około 4 h po śmierci;
- masa ciała nie wpływa na szybkość stygnięcia gałek ocznych i tkanek miękkich oczodołu;
- niewielki ruch powietrza (około 2° Beauforta) w pomieszczeniu, w którym przebywają zwłoki nie ma istotnego znaczenia dla szybkości stygnięcia ciała;
- model dwuwykładniczy daje dokładniejszy od modelu jednowykładniczego opis przebiegu spadku temperatury badanych struktur;
- dokładność określania czasu śmierci w pierwszych godzinach po zgonie zmniejsza się w kolejności: gałki oczne > tkanki oczodołu > mięśnie > odbyty.

Ponadto, w trakcie badań uzyskano informację o znaczeniu biologicznym poznawczym, tzn. wyznaczono fizjologiczną temperaturę gałki ocznej świni jako 38°C. Parametr ten nie był dotychczas podawany w piśmiennictwie.

## PIŚMIENNICTWO

1. Kaliszan M., Hauser R., Jankowski Z.: Określanie czasu śmierci na podstawie obserwacji

procesów pośmiertnych, w szczególności spadku temperatury ciała. *Z Zagadnień Nauk Sądowych*, 2005, LXIV, 358-372.

2. Berent J.: Ustalanie czasu zgonu na podstawie pomiarów temperatury. Część I. *Arch. Med. Sąd. Kryminol.* 2005, 55, 209-214.

3. Berent J.: Ustalanie czasu zgonu na podstawie pomiarów temperatury. Część II. *Arch. Med. Sąd. Kryminol.* 2006, 56, 103-109.

4. Knight B. red.: *The Estimation of the Time Since Death in the Early Postmortem Period.* Arnold, London, 2002.

5. Henssge C., Madea B.: Estimation of the time since death in the early post-mortem period. *Forensic Sci. Int.*, 2004, 144, 167-175.

6. Brinkmann B., Menzel G., Riemann U.: Post-mortale Organtemperaturen unter verschieden Umweltbedingungen. *Z. Rechtsmed.*, 1978, 82, 207-216.

7. Miścicka-Śliwka D., Śliwka K.: Badania nad ochładzaniem zwłok w aspekcie ustalania czasu śmierci. I. Pośmiertny spadek temperatury w mózgu. *Arch. Med. Sąd. i Krym.*, 1984, 34, 223-232.

8. Henssge C., Beckmann E. R., Wischhusen F.: Nomographische Bestimmung der Todeszeit durch Messung der Hirntemperatur. *Beitr. Gerichtl. Med.*, 1984, 42, 107-111.

9. Henssge C., Beckmann E. R., Wischhusen F., Brinkmann B.: Determination of the time of death by measurement of central brain temperature. *Z. Rechtsmed.*, 1985, 93, 1-22.

10. Miścicka-Śliwka D., Śliwka K.: Badania nad ochładzaniem zwłok w aspekcie ustalania czasu śmierci. IV. Pośmiertny spadek temperatury w sercu. *Arch. Med. Sąd. i Krym.*, 1984, 35, 79-84.

11. Miścicka-Śliwka D., Śliwka K.: Nomogram do obliczania czasu śmierci na podstawie wartości temperatury mierzonej w sercu i obwodu klatki piersiowej. *Arch. Med. Sąd. i Krym.*, 1986, 36, 15-20.

12. Miścicka-Śliwka D., Śliwka K.: Badania nad ochładzaniem zwłok w aspekcie ustalania czasu śmierci. III. Pośmiertny spadek temperatury w wątrobie. *Arch. Med. Sąd. i Krym.*, 1985, 35, 73-78.

13. Al-Alousi L. M., Anderson R. A., Worster D. M., Land D. V.: Multiple-probe thermography for estimating the post-mortem interval: I. Continuous monitoring and data analysis of brain, liver, rectal and environmental temperatures in 117 forensic cases. *J. Forensic Sci.*, 2001, 46, 317-322.

14. Al-Alousi L. M., Anderson R. A., Worster D. M., Land D. V.: Factors influencing the precision of estimating the post-mortem interval using the triple-exponential formule (TEF). II. A study of the effect of body temperature at the moment of death on the postmortem brain, liver and rectal cooling in 117 forensic cases. *Forensic Sci. Int.*, 2002, 125, 231-236.

15. Baccino E., De Saint Martin L., Schullier Y., Guilloteau P., Le Rhun M., Morin J. F., Leglise D., Amice J.: Outer ear temperature and the time of death. *Forensic Sci. Int.* 1996, 83, 133-146.

16. Śliwka K., Miścicka-Śliwka D.: Badania nad przydatnością wybranych punktów pomiarowych temperatury zwłok dla określenia czasu śmierci na podstawie wielopunktowej ciągłej rejestracji temperatury. *Arch. Med. Sąd. i Krym.*, 1985, 35, 85-92.

17. Kaliszan M., Hauser R., Kaliszan R., Wiczling P., Buczyński J., Penkowski M.: Verification of the exponential model of body temperature decrease after death in pigs. *Exp. Physiol.*, 2005, 90, 727-738.

18. Kaliszan M.: *Określanie czasu zgonu na podstawie pomiarów temperatury wybranych okolic ciała. Badania na modelu zwierzęcym – rozprawa doktorska, Akademia Medyczna w Gdańsku, 2006.*

Adres do korespondencji:  
Michał Kaliszan, MD, PhD  
Forensic Medicine Section  
Division of Pathology  
University of Edinburgh  
Teviot Place, Edinburgh EH8 9AG  
United Kingdom  
E-mail: michalkal@amg.gda.pl