

# ***Sarcocystis* spp. – niedoceniony pasożyt o potencjale zoonotycznym związany z żywnością pochodzenia zwierzęcego**

WERONIKA KORPYSA-DZIRBA<sup>1</sup>, EWA BILSKA-ZAJĄC<sup>1</sup>, MIROŚLAW RÓŻYCKI<sup>2</sup>, ANETA BEŁCIK<sup>1</sup>, JACEK KARAMON<sup>1</sup>, ANETA GONTARCZYK<sup>1</sup>, EWELINA ANTOLAK<sup>1</sup>, MAŁGORZATA SAMOREK-PIERÓG<sup>1</sup>, JACEK SROKA<sup>1</sup>, TOMASZ CENCEK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zakład Parazytologii i Chorób Inwazyjnych, Państwowy Instytut Weterynaryjny – Państwowy Instytut Badawczy, al. Partyzantów 57, 24-100 Puławy

<sup>2</sup>Katedra Nauk Przedklinicznych i Chorób Zakaźnych, Wydział Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań

Otrzymano 16.08.2023

Zaakceptowano 23.09.2023

Korpysa-Dzirba W., Bilaska-Zajac E., Rózycki M., Bełcik A., Karamon J., Gontarczyk A., Antolak E., Samorek-Pieróg M., Sroka J., Cencek T.

## ***Sarcocystis* spp. – an underestimated parasite with zoonotic potential associated with food of animal origin**

### Summary

The protozoa of the genus *Sarcocystis* are worldwide distributed parasites affecting a wide range of animals. They life cycle requires two hosts: definitive and intermediate. Over 250 species of *Sarcocystis* have been described but three of them are known to have a zoonotic potential. These are: *S. hominis*, *S. heydorni* and *S. suihominis*. Domestic pigs and wild boars can be intermediate hosts for *S. suihominis*, whereas cattle for *S. hominis* and *S. heydorni*. Therefore, people can become infected after eating raw or insufficiently heat-treated pork, wild boar meat or beef. Human sarcocystosis is generally asymptomatic but in some cases can induce the symptoms of intestinal illness. People can also become accidental intermediate hosts after ingesting sporocysts from feces-contaminated food or water leading to muscular sarcocystosis. The cysts of *Sarcocystis* spp. (sarcocysts), which with some exceptions, are not visible and therefore they are rarely detected during routine veterinary meat inspection consisting of visual assessment of muscle tissue and digestion (in case of examination of pig and wild boar meat). The presence of visible cysts of *Sarcocystis* spp. can lead to meat condemnation and it generates economic losses for farmers. Food safety regulations require the control of the parasites presence in meat intended for human consumption but there are no regulations regarding the control of *Sarcocystis* spp. Nevertheless, European Food Safety Authority (EFSA) encourage to monitor and characterise *Sarcocystis* spp. in animal and foodstuffs.

**Keywords:** *Sarcocystis* spp., sarcocystosis, zoonotic potential, meat, food-borne illness

Pasożyty z rodzaju *Sarcocystis* występują na całym świecie, jednak dotychczasowa wiedza na temat epidemiologii sarkocystozy u ludzi opiera się głównie na opisach przypadków i analizach sporadycznych ognisk występujących w Azji Południowo-Wschodniej. Badania pochodzące z Malesji i Tajlandii potwierdzają powszechne występowanie tych pasożytów i sugerują, że raportowane liczby zakażeń u ludzi są zaniżone (75, 76). *Sarcocystis* spp. to jednokomórkowe pasożyty (pierwotniaki) należące do kokcydiów (Apicomplexa: Sarcocystidae). Dotychczas opisano ponad 250 różnych gatunków *Sarcocystis* spp., z których większość

jest rozpowszechniona na całym świecie. Wszystkie gatunki *Sarcocystis* spp. są pasożytami wewnątrzkomórkowymi o cyklu życiowym obejmującym dwóch żywicieli. Dla ponad 150 gatunków *Sarcocystis* spp. żywicielami pośrednimi są przede wszystkim zwierzęta roślinożerne i wszystkożerne. Są to ssaki, w tym człowiek i inne naczelne, jak również niektóre ptaki, gady i prawdopodobnie ryby (tab. 1). Cysty tego pierwotniaka (sarkocysty) mogą znajdować się praktycznie we wszystkich poprzecznie prażkowanych mięśniach ciała, w tym w języku, przełyku, przeponie, a także mięśniu sercowym. Żywicielami ostatecznymi mogą

Tab. 1. Przykłady żywicieli pośrednich i ostatecznych dla różnych gatunków z rodzaju *Sarcocystis*

| Żywiciel pośredni | Żywiciel ostateczny | Gatunek pasożyta                            |
|-------------------|---------------------|---|
| Bydło             | pies                | <i>S. cruzi</i>                             |
| Bydło             | człowiek            | <i>S. heydorni</i>                          |
| Bydło             | człowiek            | <i>S. hominis</i>                           |
| Owca              | pies                | <i>S. capracanis</i> , <i>S. hircicanis</i> |
| Owca              | kot                 | <i>S. gigantea</i> , <i>S. medusiformis</i> |
| Koza              | pies                | <i>S. capracanis</i> , <i>S. hircicanis</i> |
| Koza              | kot                 | <i>S. moulei</i>                            |
| Świnia            | pies                | <i>S. miescheriana</i>                      |
| Świnia            | człowiek            | <i>S. sui hominis</i>                       |
| Koń               | pies                | <i>S. fayeri</i>                            |
| Koń               | opos                | <i>S. neurona</i>                           |
| Lama              | pies                | <i>S. aucheniae</i>                         |
| Gołąb             | jastrząb            | <i>S. calchasi</i>                          |

Tab. 2. Występowanie *Sarcocystis* spp. u świń, dzików i bydła w wybranych krajach

| Gatunek zwierzęcia | Kraj       | Odsetek zwierząt zakażonych <i>Sarcocystis</i> spp. | Piśmiennictwo |
|--------------------|------------|---|---------------|
| Świnia             | Litwa      | 38,7%   | 42            |
|                    | USA        | 18%   | 18            |
|                    | Indie      | 50%   | 8             |
|                    | Japonia    | 16%   | 53            |
|                    | Filipiny   | 27%   | 10            |
| Dzik               | Argentyna  | 61,2%   | 32            |
|                    | Hiszpania  | 72,7%   | 6             |
|                    | Portugalia | 73,8%   | 11            |
|                    | Rumunia    | 60,4%   | 39            |
|                    | Włochy     | 97%   | 29            |
|                    | Łotwa      | 87,1%   | 57            |
|                    | Polska     | 24,7%   | 72            |
|                    | Słowacja   | 85%   | 32            |
| Bydło              | Litwa      | 80,8%   | 42            |
|                    | Brazylia   | 100%  | 70            |
|                    | Iran       | 100%  | 52            |
|                    | Rosja      | 82,2-100%   | 67            |
|                    | Węgry      | 66-78,7%  | 36            |
|                    | Estonia    | 57,5-83,6%  | 46            |
|                    | Włochy     | 78,1-91%  | 9, 17         |
|                    | Rumunia    | 50%   | 71            |
|                    | Francja    | 90-100%   | 68            |
|                    | Niemcy     | 26,4-50%  | 14, 51        |

być wszystkożerne ssaki, w tym także ludzie, jak również niektóre gady i ptaki. Dojrzałe sarkocysty każdego gatunku różnią się wielkością. Niektóre są widoczne gołym okiem (*S. aucheniae*, *S. hirsuta*, *S. gigantea*, *S. rileyi*), jednak cysty większości gatunków nie są widoczne podczas rutynowego oglądania tkanki mięśniowej, nawet jeżeli jest ich bardzo dużo.

Dotychczas zidentyfikowano trzy zoonotyczne gatunki *Sarcocystis*, tj. *S. sui hominis*, *S. hominis* oraz *S. heydorni*, które mogą zarażać człowieka poprzez spożycie surowej lub poddanej niedostatecznej obróbce cieplnej wieprzowiny lub wołowiny (64).

Sarkocystoza może stanowić problem ekonomiczny w hodowli zwierząt (14). Problemy wywoływane przez te pasożyty, takie jak np. poronienia, spadek masy ciała, niska produkcja mleka czy niska jakość wełny u owiec są przyczyną strat finansowych u hodowców. Poza tym, obecność sarkocyst w mięśniach zwierząt poddanych ubojowi może być przyczyną uznania ich tusz za niezdatne do spożycia (24). Z przedstawionych danych wynika, że odsetek zakażonych zwierząt wahał się od 16% do 100%, przy czym dane te dotyczą występowania *Sarcocystis* spp, w zdecydowanej większości bez ich rozróżniania gatunkowego (tab. 2). W literaturze istnieją tylko pojedyncze doniesienia zawierające informacje o występowaniu zoonotycznych gatunków *Sarcocystis* spp. dlatego dane te są nie pełne i nie pokazują rzeczywistej skali problemu.

### Rys historyczny

Pierwsze doniesienia na temat *Sarcocystis* spp. pochodzą z 1843 r., kiedy Miescher zaobserwował długie, cienkie cysty przypominające nitki w poprzecznie prążkowanych mięśniach myszy domowej (18). Przez następne dwie dekady pasożyta tego określano jako cewy, tubule lub cysty Mieschera. W 1865 r. podobny pasożyt został znaleziony w mięśniach świni. Został on opisany przez Kuhna, który zaproponował dla niego nazwę *Synchytrium miescherianum*. Jednak nazwa *Synchytrium* była już w użyciu dla innego organizmu, dlatego w 1899 r. Labbe przyjął dla tego gatunku nazwę *Sarcocystis miescheriana*, co zapoczątkowało również nazwę rodzajową (18). W następnych dziesięcioleciach wiele gatunków *Sarcocystis* zostało nazwanych i opisanych na podstawie wykrycia wewnątrzkomórkowych cyst u różnych gatunków zwierząt. Przez wiele lat klasyfikacja *Sarcocystis* była niejednoznaczna; zaliczano je do królestwa grzybów lub *Protozoa*. Z tego względu w odniesieniu do niektórych *Sarcocystis* używano terminu *Sarcosporidium*, co miało prawdopodobnie związek z badaniami, w których *Sarcocystis* w hodowlach „wytwarzały” strzępki i grzybnie, i mogło wskazywać, że są to grzyby (24). W 1967 r. dzięki wykorzystaniu mikroskopii elektronowej zaobserwowano cechy morfologiczne bradyzoitów charakterystyczne dla pierwotniaków z podtypu *Apicomplexa*. Dzięki temu ostatecznie wykazano, że organizmy znajdujące się w sarkocystach nie są sporami grzybów, a obserwowane w hodowlach strzępki i grzybnie rozwijały się najprawdopodobniej wskutek zanieczyszczenia (24). Ze względu na brak rozwiniętych wówczas technik biologii molekularnej cykl życiowy *Sarcocystis* spp. przez długi czas nie był do końca poznany. Wiadomo było jedynie, że bradyzoity uwolnione z cyst z mięśni niektórych ptaków przekształcały się w hodowlach komórek

ssaków w stadia rozmnażające się płciowo i oocysty typowe dla cyklu życiowego kokcydiów (21, 22). Do bliższego poznania cyklu życiowego *Sarcocystis* spp. przyczyniły się badania nad *Sarcocystis fusiformis* – nazwą tą określano wszystkie cysty znajdujące w mięśniach bydła. W wielu pracach badawczych wykazano, że *S. fusiformis* to w rzeczywistości 3 gatunki, z których każdy tworzy morfologicznie odrębną cystę i ma innego żywiciela ostatecznego (34, 61). Odkrycia te przyczyniły się do poznania cykli życiowych oraz do wykrywania, identyfikacji i schematu nadawania nazw gatunkom z rodzaju *Sarcocystis*.

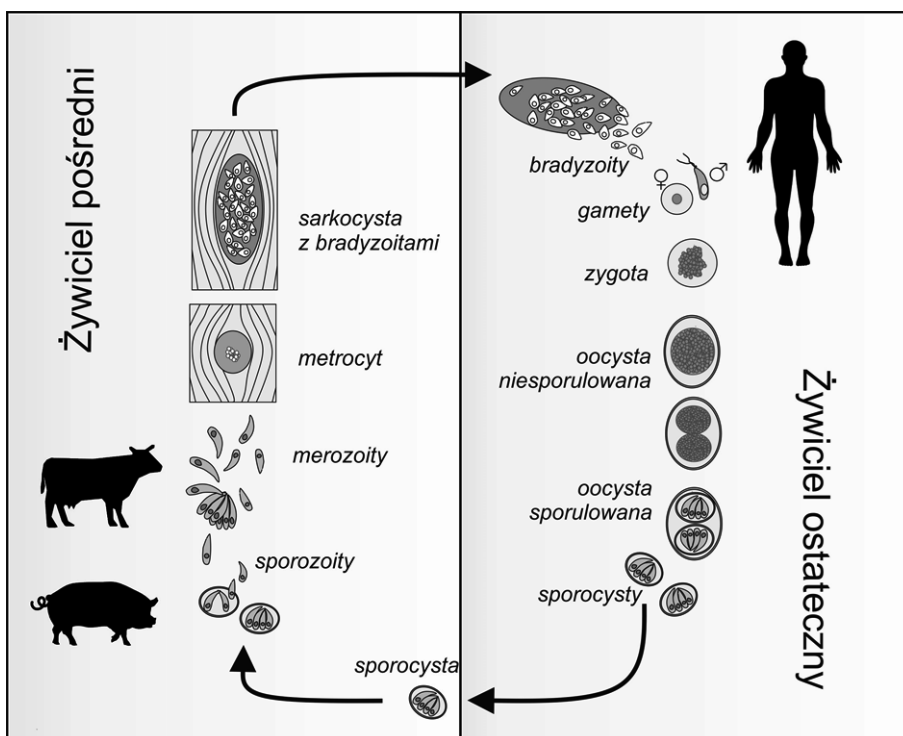
### Cykl rozwojowy

Po spożyciu przez żywiciela ostatecznego tkanek zawierających dojrzałe sarkocysty w przewodzie pokarmowym dochodzi do strawienia ściany sarkocysty, a zawarte w niej bradyzoity uaktywniają się i wnikają do komórek jelita. Bradyzoity przekształcają się w stadia płciowe: mikrogamonty – wytwarzające męskie gamety i makrogamonty przekształcające się w gamety żeńskie (przypominająca komórkę jajową). Po zapłodnieniu powstaje zygota, która przekształca się w dojrzałą oocystę (sporogonia) zawierającą finalnie dwie sporocysty (w każdej z nich znajdują się po 4 sporozoitów). Oocysty uwolnione do światła jelita wydostają się z organizmu z kałem. Delikatna ścianka oocysty często pęka, uwalniając pojedyncze sporocysty, które można obserwować pod mikroskopem. Większość sporocyst mierzy około  $10 \times 15 \mu\text{m}$ . Sporocysty są inwazyjne dla podatnych żywicieli pośrednich. Po dostaniu się sporocyst do układu pokarmowego żywiciela pośredniego przechodzą one przez żołądek do jelita cienkiego, gdzie dochodzi do

uwolnienia sporozoitów. Formy te przenikają przez nabłonek jelitowy i wnikają do komórek śródbłonka naczyń oraz węzłów chłonnych krezkowych, gdzie przechodzą proces rozmnażania bezpłciowego (schizogonia i merogonia), w wyniku którego powstają liczne merozoity (komórki morfologicznie podobne do sporozoitów). W kolejnych pokoleniach merozoity przedostają się do tętniczek, naczyń włosowatych i żył w całym organizmie, gdzie również się rozwijają. Liczba bezpłciowych pokoleń i ich pierwotne miejsca rozwoju różnią się w zależności od gatunku *Sarcocystis*. Merozoity z końcowego pokolenia schizogonii wnikają do komórek mięśniowych, zaokrąglają się, tworząc metrocyty (komórki macierzyste). Metrocyty ulegają serii podziałów. Ostatecznie powstaje sarkocysta, czyli otoczona ścianą cysta wypełniona licznymi bradyzoitami. W zależności od gatunku sarkocysty różnią się czasem dojrzewania (2 miesiące lub dłużej), a także wielkością i kształtem (24).

### *Sarcocystis* spp. u świń i dzików

Świnie domowe i dziki są żywicielami pośrednimi dwóch gatunków *Sarcocystis*: *S. suihominis* i *S. miescheriana* (synonim: *S. suicanis*). Żywicielami ostatecznymi pierwszego wymienionego gatunku są ludzie, co wskazuje na jego potencjał zoonotyczny. Drugi z wspomnianych gatunków wykorzystuje do tego celu różne gatunki zwierząt z rodziny psowatych, takich jak psy, szakale, jenoty, rude lisy i wilki (29, 50). Według niepotwierdzonych danych pochodzących z lat 70., z byłego Związku Radzieckiego, istniało przypuszczenie, że jest również trzeci gatunek – *S. porcifelis* mogący zarażać świnię, jak również koty (29). W warunkach naturalnych zarówno *S. suihominis*, jak i *S. miescheriana* zwykle powodują subkliniczne inwazje u świń. W badaniach eksperymentalnych udowodniono jednak, że spożycie ponad 1 miliona sporocyst może powodować u świni utratę masy ciała, małopłytkowość, plamicę skóry, drżenie mięśni, duszność, poronienie, a nawet śmierć (15). W rzeczywistości w literaturze opisano tylko jeden przypadek klinicznej sarkocystozy po naturalnej inwazji u świni, ze skutkiem śmiertelnym z powodu ciężkiego zapalenia mięśnia sercowego (7). Pomimo braku opisanych klinicznych przypadków u świń domowych, badania prowadzone w Europie wykazały ekstensywność inwazji *Sarcocystis* spp. u świń domowych w zakresie od 3% do 43% (14, 55). Niemniej jednak większość badań dotyczących ekstensywności inwazji sarkocystozy u świń domowych hodowanych w intensywnym systemie produkcji



Ryc. 1. Cykl rozwojowy zoonotycznych *Sarcocystis* spp.

zamkniętej było prowadzonych przed wielu laty i najczęściej nie różnicowały one gatunków *S. miescheriana* i *S. suihominis*. W ostatnich latach nacisk położono na badania częstości występowania *Sarcocystis* spp. u dzików, stwierdzając u nich wyższą prevalencję inwazji niż u świń domowych (6, 11, 32, 34).

U świń odnotowano częstsze występowanie *S. miescheriana*, co prawdopodobnie jest związane z większą liczebnością żywicieli ostatecznych należących do różnych gatunków psowatych, których pożywieniem mogły być tkanki dzików (29). Niska częstość występowania *S. suihominis* jest prawdopodobnie spowodowana rzadkim występowaniem tego gatunku u ludzi oraz niskim stopniem oddziaływania środowiskowego (zanieczyszczenie ludzkim kałem) (29). Pasożyt jest jednak powszechny na obszarach o wysokim stopniu zanieczyszczenia środowiska odchodami ludzkimi, np. w Indiach (45). U ludzi, którzy ulegają zarażeniu poprzez spożycie surowego lub niedogotowanego mięsa wieprzowego zawierającego cysty *S. suihominis*, mogą wystąpić objawy żołądkowo-jelitowe, w tym: nudności, wymioty, ból brzucha i biegunka, niemniej jednak większość zakażeń jest bezobjawowa (24).

### ***Sarcocystis* spp. u bydła**

Bydło uważane jest za częstego żywiciela pośredniego *Sarcocystis* spp., a występowanie pasożyta w mięśniach może sięgać nawet do 100% danej populacji (73). Do niedawna istniały niejasności dotyczące klasyfikacji kilku gatunków *Sarcocystis* spp. pasożytujących u bydła, jednak obecnie panuje powszechna zgoda, że tkanka mięśniowa bydła może być siedliskiem dla co najmniej sześciu gatunków *Sarcocystis* spp., w tym już wcześniej identyfikowanych *S. cruzi*, a także zoonotycznych *S. heydorni* i *S. hominis*, których żywicielami ostatecznymi są, odpowiednio, kotowate, psowate i ludzie, oraz ostatnio opisanych *S. bovifelis*, *S. bovini* i *S. hirsuta*, dla których żywicielami ostatecznymi są kotowate (30, 37, 41).

Sarkocystoza u bydła najczęściej przebiega bezobjawowo, jednak w przypadku intensywnych naturalnych inwazji obserwowane były takie objawy, jak: gorączka, anoreksja, wyniszczenie, spadek wydajności mlecznej, biegunka, skurcze mięśni, anemia, łysienie ogona, nadpobudliwość, słabość oraz śmierć. Znane są również przypadki martwiczego zapalenia mózgu oraz śmiertelnych zapaleń mięśnia sercowego u jałówek. U krów zarażonych w trzecim trymestrze ciąży może dochodzić do zamierania płodów. Po ustąpieniu ostrych objawów cielęta słabo rosną i umierają w stanie kachektycznym (18).

W ostatnich latach zwraca się uwagę na możliwy związek między występowaniem *Sarcocystis* spp. a eozynofilowym zapaleniem mięśni u bydła (BEM), specyficzną zapalną miopatią z wieloogniskowymi szaro-zielonymi zmianami (78). Dowodem na rolę gatunków *Sarcocystis* w patogenezie tego schorzenia może być fakt, że pasożyty te często stwierdza

się w centrum zmian chorobowych (28). Ponadto wykazano, że antygeny gatunków *Sarcocystis* mogą indukować odpowiedź immunologiczną z przewagą eozynofilii (28, 73). Eozynofilowe zapalenie mięśni bydła nie jest wykrywalne u żywego zwierzęcia, ponieważ dotknięte nim zwierzęta zwykle wydają się klinicznie zdrowe (38). Powoduje ono jednak straty ekonomiczne z powodu uznania tuszy za niezdatną do spożycia podczas badania poubojowego, jak również na późniejszym etapie, odrzucenia mięsa w zakładach rozbioru mięsa z powodu jego nieprawidłowego wyglądu. Na całym świecie częstość występowania BEM u bydła poddanego ubojowi wynosi od 0,002% do 5% (3, 25, 38, 43). Dane te mogą wydawać się niespójne, biorąc pod uwagę wysoką częstość występowania *Sarcocystis* spp. u bydła, jednak doniesienia literaturowe wskazują prawdopodobieństwo, że BEM może być związany z jednym lub nawet kilkoma gatunkami *Sarcocystis* (74).

### **Wykrywanie i identyfikacja *Sarcocystis* spp.**

*Sarcocystis* spp. tworzą cysty (sarkocysty) w mięśniach, które z nielicznymi wyjątkami (np. *S. miescheriana* u świń) nie są widoczne gołym okiem, dlatego rzadko są wykrywane podczas rutynowego badania poubojowego składającego się z oceny wzrokowej tkanki mięśniowej oraz wytrawiania (w przypadku badania mięsa świń i dzików) (37). Zmiana metodyki badania tkanki mięśniowej świń i dzików z metody kompresorowej na metodę wytrawiania przyczyniła się do zmniejszenia wykrywalności *Sarcocystis* spp.

Sarkocysty różnią się kształtem i wielkością w zależności od gatunku pasożyta. Sarkocysty zoonotyczne *S. hominis* i *S. suihominis* mają wielkość, odpowiednio, od 9,3 µm do 14,7 µm oraz od 10,5 µm do 13,5 µm, dlatego mogą być wykryte tylko badaniem mikroskopowym, podczas gdy inne są dobrze widoczne gołym okiem, a ich wielkość może przekraczać 1 cm (*S. miescheriana*, *S. gigantea*, *S. muris*) (24). Pierwsze z wymienionych sarkocyst mogą być bardzo długie i wąskie lub krótkie i szerokie, podczas gdy sarkocysty widoczne gołym okiem prawie zawsze znajdują się w mięśniach szkieletowych lub w mięśniach przełyku i mogą mieć kształt: włókienkowy (*S. muris*), przypominający ziarna ryżu (*S. rileyi*, *S. miescheriana*), wrzecionowaty (*S. fusiformis*) lub kulisty (*S. gigantea*). W przypadku wykrycia sarkocyst należy przeprowadzić szczegółową identyfikację, która początkowo opiera się na obserwacji cech morfologicznych, w tym wielkości i grubości ścian sarkocyst, jednak cechy te mogą nie być typowe w obrazie mikroskopowym ze względu na różny etap rozwoju sarkocyst, różną ich lokalizację, a także metody utrwalania używane przy przygotowaniu preparatów mikroskopowych (11). Rozróżnienie między zoonotycznymi i niezo-otycznymi gatunkami *Sarcocystis* spp. jest bardzo ważne ze względu na zagrożenie dla zdrowia ludzi. Różnicowanie gatunkowe oparte na obserwacji

morfologii ścian cyst jest zbyt mało dokładne, aby określić gatunek *Sarcocystis*, a analizy molekularne pozwalające na identyfikację gatunków zoonotycznych wykonywane są jedynie w ramach badań naukowych. Do niedawna identyfikacja molekularna różnych gatunków *Sarcocystis* spp. opierała się niemal wyłącznie na sekwencjach genu 18S rRNA. Obecnie, coraz częściej do tego celu wykorzystywany jest mitochondrialny gen COI, w obrębie którego tempo mutacji jest wystarczająco szybkie, aby możliwe było rozróżnienie gatunków (33). Wykorzystanie genu COI do identyfikacji pierwotniaków okazało się przydatne do rozróżnienia blisko spokrewnionych gatunków z rodziny Sarcocystidae takich jak *S. bovifelis*, *S. bovini*, *S. rommeli* i *S. sinensis*, oraz do zdefiniowania nowych gatunków *Sarcocystis* (31, 37).

### Postacie kliniczne sarkocystozy u ludzi

Czynnikami wpływającymi na rozwój postaci klinicznej sarkocystozy jest poziom odporności gospodarza oraz dawka spożytych sporocyst. U osób zdrowych spożycie mięsa zawierającego cysty zoonotycznych gatunków *Sarcocystis* powoduje najczęściej inwazje bezobjawowe.

U ludzi mogą wystąpić dwie różne postaci kliniczne sarkocystozy: postać jelitowa, wywołwana przez *S. hominis*, *S. heydorni* i *S. suihominis* oraz postać mięśniowa, wywołwana przez *S. nesbitti*, w przypadku której człowiek staje się przypadkowym żywicielem pośrednim.

#### Postać jelitowa

Około 1-2 tygodni po spożyciu tkanki mięśniowej zawierającej cysty *Sarcocystis* spp., człowiek jako żywiciel ostateczny zaczyna wydalać wraz z kałem zakaźne sporocysty, co trwa przez okres kilku miesięcy. Infekcje jelitowe zwykle przebiegają bezobjawowo, jednak u ludzi nieraz obserwuje się występowanie bólów brzucha i biegunek (62). W badaniach eksperymentalnych zarażenie sarkocystami powodowało wystąpienie nudności, bólu brzucha oraz biegunek już po 3 godzinach od spożycia zanieczyszczonego mięsa, a intensywność tych objawów była uzależniona od ilości spożytego mięsa zanieczyszczonego sarkocystami (23). Wymienione objawy zwykle ustępowały samoistnie w ciągu 36 godzin.

#### Postać mięśniowa

W przypadku tego rodzaju inwazji po spożyciu żywności lub wody zanieczyszczonej formami dyspersyjnymi *Sarcocystis* spp. dochodzi do powstania merontów w śródbłonku naczyń, a następnie inwazji uwolnionych merozoitów; późniejsza ich inwazja w mięśniach poprzecznie prążkowanych prowadząca do wystąpienia objawów ze strony układu naczyniowego i/lub mięśniowego (zapalenie mięśni i naczyń krwionośnych). Jednym z objawów może być bolesny obrzęk mięśni, początkowo połączony z rumieniem

pokrywającej go skóry, utrzymujący się od 2 dni do 4 tygodni. Czasami występują również: gorączka, wzmożone napięcie mięśni, osłabienie, eozynofilia i skurcz oskrzeli (49). W literaturze opisano przypadek wystąpienia eozynowego zapalenia mięśni wśród żołnierzy Stanów Zjednoczonych stacjonujących w Malezji. U 7 osób pojawiły się takie objawy, jak: gorączka, bóle mięśni, skurcz oskrzeli, przemijające wysypki ze świądem, przemijające powiększenie węzłów chłonnych i guzków podskórnych związane z eozynofilią, podwyższony wskaźnik sedimentacji erytrocytów oraz podwyższone parametry enzymów wątrobowych i kinazy kreatyninowej w mięśniach (2). Biopsja mięśni ujawniła obecność niezidentyfikowanego gatunku *Sarcocystis* spp. W przypadku innej epidemii, do której doszło również w Malezji, gorączka, bóle mięśni, bóle głowy i kaszel wystąpiły u 93 osób, wśród których u dwóch osób potwierdzono obecność cyst *S. nesbitti* (1, 48, 69).

### Zagrożenie dla zdrowia publicznego

Jak wspomniano wcześniej, spośród ponad 250 znanych gatunków *Sarcocystis* trzy mają potencjał zoonotyczny – są to: *S. hominis* i *S. heydorni* bytujące w mięśniach bydła oraz *S. suihominis*, dla których żywicielem pośrednim są świnie i dziki (64). Ich transmisja następuje poprzez spożycie sarkocyst znajdujących się w mięśniach. Wśród gatunków *Sarcocystis* spp. występujących u zwierząt łownych, *S. suihominis* jako jedyny ma potwierdzony potencjał zoonotyczny, w związku z tym również dziczyzna może stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi (29). Ludzie mogą również stać się przypadkowymi żywicielami pośrednimi dla innych gatunków *Sarcocystis* po przypadkowym połknięciu sporocyst, co może prowadzić do pozajelitowej formy sarkocystozy. Do 2000 r. potwierdzono około 100 takich przypadków i były one w większości związane z jeszcze niepoznanymi gatunkami *Sarcocystis* spp. oraz z *Sarcocystis nesbitti*, dla których żywicielami ostatecznymi są węże, a do zakażenia dochodzi po spożyciu żywności i wody zanieczyszczonej ich odchodami (20, 41, 47). Sarkocystoza u ludzi może występować w postaci bezobjawowych cyst mięśniowych aż po ciężkie, ostre i eozynofilowe zapalenia mięśni połączone z objawami ogólnoustrojowymi i eozynofilią obwodową. Dzika przyroda może być siedliskiem nieodkrytych jeszcze gatunków zoonotycznych *Sarcocystis* spp., dla których ludzie mogą być żywicielami ostatecznymi (po spożyciu sarkocyst) lub przypadkowymi żywicielami pośrednimi (po spożyciu sporocyst) (24, 62).

W przypadku jelitowej formy sarkocystozy przypuszcza się, że czynnikiem odpowiedzialnym za wywoływanie objawów zatrucia pokarmowego, może być białko o masie 15 kDa. Białko to wyizolowano z *S. fayeri*, którym była zanieczyszczona konina, po spożyciu której wystąpiły objawy zatrucia pokarmowego (44). Toksyczna frakcja białkowa cyst *S. cruzi*

została również wyizolowana z wołowiny, jednak dokładne badania tego toksycznego białka nie zostały przeprowadzone (65). Ponadto, niedawno opisano zatrucia pokarmowe u ludzi, do których doszło po spożyciu mięsa jelenia wschodniego zarażonego *Sarcocystis* spp. w Japonii, co potwierdza, że mięso jeleniowatych może stanowić zagrożenie dla zdrowia publicznego związane z obecnością w nim tego pasożyta (5, 40). W opisywanym przypadku 67-letni Japończyk skonsurował surowe mięso jelenia 4 h przed wystąpieniem objawów ze strony przewodu pokarmowego (ból brzucha, wymioty, biegunka i gorączka). W mięsie tym stwierdzono wiele białych cyst zawierających bradyzoity, które na podstawie analizy 18S rRNA zidentyfikowano jako należące do *S. truncata* (54). Inne ognisko zostało opisane w 2019 r., kiedy to 30 osób wykazało analogiczne objawy ze strony przewodu pokarmowego, które wystąpiły również po spożyciu mięsa jelenia. Podczas gdy bakterie i wirusy nie zostały wykryte w próbkach żywności i kału pacjentów, badania molekularne wykazały obecność DNA *Sarcocystis* spp. zarówno w mięsie jelenia, jak i kale pacjentów. W spożywanym mięsie jelenia znaleziono trzy rodzaje cyst, które na podstawie cech morfologicznych i badań molekularnych zidentyfikowano jako *S. japonica*, *S. cf. tarandi* i *S. pilosa*. Wszystkie trzy gatunki *Sarcocystis* wykazały pozytywną reakcję barwienia immunohistochemicznego w kierunku białka o masie cząsteczkowej 15 kDa, które uważa się za odpowiedzialne za toksyczność *S. fayeri* (40). Wskazuje to na konieczność prowadzenia dalszych badań mających na celu ustalenie, czy białko to jest odpowiedzialne za enterotoksyczność *Sarcocystis* spp. wyizolowanych od zwierząt łownych (54). Rosnąca popularność wyrobów z mięsa zwierząt łownych, często nie poddawanych obróbce termicznej, powoduje wzrost zagrożenia ze strony *Sarcocystis* spp. dla ludzi.

Na sarkocystozę najbardziej narażone są osoby, które spożywają niegotowane lub surowe mięso i mieszkają w miejscach, gdzie ludzkie odchody zanieczyszczają pastwiska (4), jednakże powszechne występowanie *S. hominis* u bydła europejskiego, ale nie u bydła amerykańskiego sugeruje, że nawet wśród krajów rozwiniętych może występować zróżnicowanie ryzyka (58, 73).

Chociaż dostępne dane piśmiennictwa wskazują, że przebieg zarażenia *S. hominis* u człowieka jest zazwyczaj łagodny lub bezobjawowy, konieczne jest przeprowadzenie analizy ryzyka, aby ocenić wpływ tego gatunku na zdrowie publiczne. Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) stwierdził, na podstawie przeprowadzonej przez siebie oceny ryzyka (z uwzględnieniem kryteriów zawartych w rozporządzeniu 178/2002/WE), że monitorowanie i wyjaśnienie wpływu na zdrowie publiczne *S. suis/hominis* ma pierwszeństwo przed *S. hominis* (23). W 2008 r. Fosse i wsp. (26) wykazali jednak, że *S. suis/hominis* niesie niskie ryzyko dla zdrowia publicznego, stosując podejście

ilościowe do porównawczej oceny ryzyka przy uboju świń. Autorzy ci wspomnieli, że w przeprowadzonej przez nich analizie brakowało niektórych danych klinicznych dotyczących *S. suis/hominis*. Dlatego też, dopóki wiedza na temat zoonotycznych gatunków *Sarcocystis* spp. nie zostanie uzupełniona, trudno będzie określić ich rzeczywisty wpływ na zdrowie publiczne.

### Zapobieganie sarkocystozie

Aby zapobiec sarkocystozie jelitowej, mięso pozyskane z gatunków będących żywicielami pośrednimi musi być poddane odpowiedniej obróbce termicznej lub zamrożone w celu inaktywacji bradyzoitów znajdujących się w sarkocystach. Działanie odpowiednio wysokiej temperatury sprawia, że bradyzoity nie są zakaźne, co wykazano w badaniu na ohotnikach z udziałem *S. suis/hominis* (34). *S. meischeriana* w wieprzowinie nie powodował zakażenia u psów, którym podano mięso poddane obróbce cieplnej w temperaturze 60°C przez 20 minut, 70°C przez 15 minut i 100°C przez 5 minut lub mrożone w temperaturze -4°C przez 48 godzin, lub w temperaturze -20°C przez 24 godziny (66). Jest to zgodne z ogólnymi wytycznymi CDC (Centers for Disease Control and Prevention), które zalecają poddawanie obróbce termicznej wszystkich mięs innych niż drobiowe do temperatury wewnętrznej 71°C (27). Aby zapobiegać zatruciom pokarmowym dziczyzną, konieczne jest poznanie sposobu dezaktywacji tzw. toksyny biegunkowej (TB) (15 kDa) (31). Badania mające na celu ocenę żywotności *Sarcocystis* spp. i aktywności ich TB w mięsie jelenia po przechowywaniu w chłodni, zamrażaniu, zmianie pH i procesie peklowania wykazały, że poszczególne gatunki tego pasożyta traciły żywotność na skutek zamrażania w temperaturach -20°C, -30°C i -80°C przez co najmniej godzinę, obróbki cieplnej 70°C przez 1 min (w centrum termicznym produktu), traktowaniu roztworem o wysokim pH (10,0) przez 4 dni i działaniu soli o stężeniu 2,0% przez co najmniej 1 dzień. Testy immunoblot wykazały, że TB traciła swoją aktywność wraz z utratą żywotności *Sarcocystis* spp. Pasożyty przeżywały jednak chłodzenie w temperaturze 0°C i 4°C i zakwaszenie (pH 3,0 i 5,0) przez ponad 7 dni z zachowaną aktywnością TB (35).

### Regulacje prawne

Sarkocystoza nie podlega obowiązkowi zgłaszania na terenie Unii Europejskiej (UE), co oznacza, że nie istnieją żadne szczegółowe przepisy dotyczące zwalczania lub zapobiegania tej chorobie (12, 16). W Unii Europejskiej obowiązują jednak przepisy dotyczące kontroli i zapobiegania innym chorobom odzwierzęcym, w tym chorobom wywoływanym przez patogeny przenoszone przez żywność. Ponadto, w UE obowiązują przepisy dotyczące produkcji i przetwarzania produktów mięsnych, w tym wołowiny, w celu zmniejszenia ryzyka zanieczyszczenia patogenami przenoszonymi przez żywność (13). Regulacje te obejmują

wszystkie etapy procesu produkcji, od gospodarstwa rolnego do sprzedaży detalicznej i zawierają wymogi dotyczące zdrowia i dobrostanu zwierząt, normy dotyczące higieny oraz metody kontroli stosowania leków weterynaryjnych (60). W UE ustanowiony jest również kompleksowy system monitorowania i kontroli chorób przenoszonych przez żywność, w tym chorób odzwierzęcych. System ten obejmuje nadzór nad chorobami przenoszonymi przez żywność i wdrażanie środków kontroli w sytuacji wybuchu epidemii (19).

Przepisy UE podkreślają znaczenie odpowiednich praktyk obróbki termicznej w celu zapewnienia zniszczenia pasożytów i zmniejszenia ryzyka chorób przenoszonych przez żywność (59). Odpowiednia temperatura gotowania jest niezbędna do wyeliminowania potencjalnych patogenów i pasożytów w produktach mięsnych. Aby temu zaradzić, prawodawstwo UE ustanawia szczegółowe wymogi dotyczące inspekcji i kontroli mięsa na różnych etapach procesu produkcyjnego. Obejmują one: kontrolę wzrokową tusz, kontrolę organów i usuwanie części dotkniętych inwazjami pasożytniczymi lub innymi chorobami. W przypadku *Sarcocystis* spp. identyfikacja cyst podczas badania mięsa jest trudna, ponieważ zazwyczaj są one mikroskopijnej wielkości. W związku z brakiem zapisów prawnych dotyczących postępowania z mięsem zawierającym cysty *Sarcocystis* spp., zastosowanie mają przepisy ogólne zawarte w Rozporządzeniu Komisji Europejskiej (WE) 627/2019 stanowiące, że mięso przeznaczone do konsumpcji dla ludzi nie może zawierać pasożytów. Dlatego też w przypadku zaobserwowania cyst lub zmian chorobowych (szare i wodniste mięso) sugerujących obecność *Sarcocystis*, mięso jest zazwyczaj niedopuszczane do spożycia przez ludzi (13).

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) jak również CDC zalecają kilka środków w celu zmniejszenia ryzyka zakażenia *Sarcocystis*, w tym dokładną obróbkę termiczną mięsa do temperatury wewnętrznej co najmniej 71°C (160°F), używanie oddzielnych desek do krojenia i przyborów do surowego i gotowanego mięsa oraz mycie rąk i powierzchni mających kontakt z surowym mięsem (77).

Podsumowując, chociaż w UE nie ma szczegółowych przepisów dotyczących sarkocystozy, obowiązujące przepisy dotyczące kontroli i zapobiegania innym chorobom odzwierzęcym, takim jak powodowane przez patogeny przenoszone przez żywność, pomagają zmniejszyć ryzyko zakażenia *Sarcocystis* spp. i innymi pasożytami odzwierzęcymi.

### Podsumowanie

*Sarcocystis* spp. są szeroko rozpowszechnione w przyrodzie. Wśród gatunków *Sarcocystis*, które mogą znajdować się w mięsie świń, dzików i bydła, występują również gatunki mogące stanowić zagrożenie dla zdrowia człowieka. Oprócz gatunków o potwierdzonym potencjale zoonotycznym, również inne

gatunki mogą stwarzać zagrożenie dla zdrowia ludzi, wykorzystując człowieka jako żywiciela przypadkowego. Najbardziej prawdopodobnym źródłem innych cyst tkankowych, jeszcze nie znanych nauce gatunków *Sarcocystis* wydają się inne udomowione zwierzęta gospodarskie (takie jak drób, kozy, owce i renifery). Ludzie spożywają mięso wielu innych zwierząt, również dzikich, które mogą być siedliskiem nieodkrytych jeszcze gatunków potencjalnie zoonotycznych, dla których żywicielem ostatecznym może być człowiek. Nie można wykluczyć, że nieznanne formy *Sarcocystis* spp. wydalone przez inne gatunki zwierząt mięsożernych mogą zagrażać zdrowiu człowieka.

Biorąc pod uwagę ograniczone dane na temat występowania sarkocystozy u ludzi, nadal nie do końca wiadomo, jaki jest potencjał chorobotwórczy tych pasożytów i realny zakres zagrożenia epidemiologicznego i epizootycznego. Z tego względu potrzebne są dalsze badania z użyciem zharmonizowanych metod, aby uzyskać dane epidemiologiczne oraz stworzyć podstawę do opracowania programów monitorowania zarażeń *Sarcocystis* spp.

### Piśmiennictwo

1. Abubakar S., Teoh B. T., Sam S. S., Chang L. Y., Johari J., Hooi P. S., Lakhbeer S. H.-K., Italiano C. M., Syed Omar S. F., Wong K.-T., Ramli N., Tan CH.-T.: Outbreak of human infection with *Sarcocystis nesbitti*, Malaysia, 2012. *Emerg. Infect. Dis.* 2013, 19, 1989-1991, doi: 10.3201/eid1912.120530.
2. Arness M. K., Brown J. D., Dubey J. P., Neafte R. C., Granstrom D. E.: An outbreak of acute eosinophilic myositis attributed to human *Sarcocystis* parasitism. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 1999, 61, 548-553, doi: 10.4269/ajtmh.1999.61.548.
3. Bradley J. A., Taylor C. M.: Disposition of feedlot heifer and beef carcasses under a canadian streamlined inspection system. *Can. Vet. J.* 1993, 1, 38-40.
4. Bunyaratvej S., Unpunyo P., Pongtippan A.: The *Sarcocystis*-cyst containing beef and pork as the sources of natural intestinal sarcocystosis in Thai people. *J. Med. Assoc. Thai* 2007, 90, 2128-2135.
5. Cabaj W., Bień-Kalinowska J., Goździk K., Basalaj K., Steiner-Bogdaszewska Ż., Bogdaszewski M., Moskwa B.: Molecular identification of sarcocysts from tissue of fallow deer (*Dama dama*) farmed in the open pasture system based on ssu rRNA gene. *Acta Parasitol.* 2020, 65, 354-360, doi: 10.2478/s11686-019-00159-0.
6. Calero-Bernal R., Pérez-Martín J. E., Reina D., Serrano F. J., Frontera E., Fuentes I., Dubey J. P.: Detection of zoonotic protozoa *Toxoplasma gondii* and *Sarcocystis suis* in wild boars from Spain. *Zoonoses Public Health* 2016, 63, 346-350, doi: 10.1111/zph.12243.
7. Caspari K., Grimm F., Kühn N., Caspari N. C., Basso W.: First report of naturally acquired clinical sarcocystosis in a pig breeding stock. *Vet. Parasitol.* 2011, 177, 175-178, doi: 10.1016/j.vetpar.2010.11.019.
8. Chhabra M. B., Samantaray S.: *Sarcocystis* and sarcocystosis in India: status and emerging perspectives. *J. Parasitic Dis.* 2013, 37, 1-10.
9. Chiesa F., Muratore E., Dalmesso A., Civera T.: A new molecular approach to assess the occurrence of *Sarcocystis* spp. in cattle and products thereof: preliminary data. *Ital. J. Food Saf.* 2013, 2, 148-151.
10. Claveira F. G., De La Pena C., Cruz-Flores M. J.: *Sarcocystis miescheriana* infection in domestic pigs (*Sus scrofa*) in the Philippines. *J. Parasitol.* 2001, 87, 938-939.
11. Coelho C., Gomes J., Inácio J., Amaro A., Mesquita J. R., Pires I., Lopes A. P., Vieira-Pinto M.: Unraveling *Sarcocystis miescheriana* and *Sarcocystis suis* infections in wild boar. *Vet. Parasitol.* 2015, 212, 100-104, doi: 10.1016/j.vetpar.2015.08.015.
12. Commission Implementing Regulation (EU) 2018/1882 of 3 December 2018 on the application of certain disease prevention and control rules to categories of listed diseases and establishing a list of species and groups of species posing a considerable risk for the spread of those listed diseases. *OJ L* 308, 4.12.2018, 21-29.
13. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/627 of 15 March 2019 laying down uniform practical arrangements for the performance of official controls on products of animal origin intended for human consumption in accordance with Regulation (EU) 2017/625 of the European Parliament and

- of the Council and amending Commission Regulation (EC) No 2074/2005 as regards official controls. OJ L 131, 17.5.2019, 51-100.
14. *Damriyasa I. M., Bauer C., Edelhofer R., Failing K., Lind P., Petersen E., Schares G., Tenter A. M., Volmer R., Zahner H.*: Cross-sectional survey in pig breeding farms in Hesse, Germany: seroprevalence and risk factors of infections with *Toxoplasma gondii*, *Sarcocystis* spp. and *Neospora caninum* in sows. *Vet. Parasitol.* 2004, 126, 271-286, doi: 10.1016/j.vetpar.2004.07.016.
  15. *Daugščies A., Rommel M., Schnieder T., Henning M., Kallweit E.*: Effects of *Sarcocystis miescheriana* infection on carcass weight and meat quality of halothane-tested fattening pigs. *Vet. Parasitol.* 1987, 25, 19-31, doi: 10.1016/0304-4017(87)90061-6.
  16. Directive 2003/99/EC of the European Parliament and of the Council of 17 November 2003 on the monitoring of zoonoses and zoonotic agents, amending Council Decision 90/424/EEC and repealing Council Directive 92/117/EEC. OJ L 325, 12.12.2003, 31-40.
  17. *Domenis L., Peletto S., Sasshi L., Clementi E., Genchi M., Felisari L., Felisari C., Mo P., Modesto P., Zuccon F., Camanella C., Maurella C., Guidetti C., Acutis P. L.*: Detection of a morphogenetically novel *Sarcocystis* hominis-like in the context of a prevalence study in semi-intensively bred cattle in Italy. *Parasitol. Res.* 2011, 109, 1677-1687.
  18. *Dubey J. P., Calero-Bernal R., Rosenthal B. M.*: *Sarcocystosis* of animals and humans. CRC Press, Boca Raton 2015.
  19. EFSA (European Food Safety Authority), *Amore G., Boelaert F., Papanikolaou A., Rizzi V. and Stoicescu A.-V.*, 2023. Manual for reporting on zoonoses and zoonotic agents, within the framework of Directive 2003/99/EC, and on some other pathogenic microbiological agents for information derived from the year 2022. EFSA supporting publication 2023, 20, 1-81, doi: 10.2903/sp.efsa.2023.EN-7825 (dostęp 02.08.2023).
  20. *Esposito D. H., Stich A., Epelboin L., Malvy D., Han P. V., Bottieau E., da Silva A., Zange P., Slesak G.*: Acute muscular sarcocystosis: an international investigation among ill travelers returning from Tioman Island, Malaysia, 2011-2012. *Clin. Infect. Dis.* 2014, 59, 1401-1410, doi: 10.1093/cid/ciu622.
  21. *Fayer R.*: *Sarcocystis*: development in cultured avian and mammalian cells. *Science* 1970, 168, 1104-1105, doi: 10.1126/science.168.3935.1104.
  22. *Fayer R.*: Gametogony of *Sarcocystis* sp. in cell culture. *Science* 1972, 175, 65-67.
  23. *Fayer R.*: *Sarcocystis* spp. in human infections. *Clin. Microbiol. Rev.* 2004, 17, 894-902, doi: 10.1128/cmr.17.4.894-902.2004.
  24. *Fayer R., Esposito D. H., Dubey J. P.*: Human infections with *Sarcocystis* species. *Clin. Microbiol. Rev.* 2015, 28, 295-311, doi: 10.1128/cmr.00113-14.
  25. *Fortier G., Collobert J. F., Viel S., Mariau V.*: Prévalence de la Sarcosporidiose musculaire bovine dans le Calvados. *Rec. Med. Vet. Ec. Alfort* 1993, 169, 779-781.
  26. *Fosse J., Seegers H., Magras C.*: Foodborne zoonoses due to meat: a quantitative approach for a comparative risk assessment applied to pig slaughtering in Europe. *Veterinary Res.* 2007, 39, 1-16.
  27. *Franssen F., Swart A., van der Giessen J., Havelaar A., Takumi K.*: Parasite to patient: A quantitative risk model for *Trichinella* spp. in pork and wild boar meat. *Int. J. Food Microbiol.* 2017, 241, 262-275, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2016.10.029.
  28. *Gajadhar A. A., Marquardt W. C.*: Ultrastructural and transmission evidence of *Sarcocystis cruzi* associated with eosinophilic myositis in cattle. *Can. J. Vet. Res.* 1992, 56, 41-46.
  29. *Gazzonis A. L., Gjerde B., Villa L., Minazzi S., Zanzani S. A., Riccaboni P., Sironi G., Manfredi M. T.*: Prevalence and molecular characterisation of *Sarcocystis miescheriana* and *Sarcocystis suis hominis* in wild boars (*Sus scrofa*) in Italy. *Parasitol. Res.* 2019, 118, 1271-1287, doi: 10.1007/s00436-019-06249-2.
  30. *Gjerde B.*: *Sarcocystis* species in red deer revisited: with a re-description of two known species as *Sarcocystis elongata* n. sp. and *Sarcocystis truncata* n. sp. based on mitochondrial *cox1* sequences. *Parasitology* 2014, 141, 441-452, doi: 10.1017/s0031182013001819.
  31. *Harada S., Furukawa M., Tokuoaka E., Matsumoto K., Yahiro S., Miyasaka J., Saito M., Kamata Y., Watanabe M., Irikura D., Matsumoto H., Sugita-Konishi Y.*: Control of toxicity of *Sarcocystis fayeri* in horsemeat by freezing treatment and prevention of food poisoning caused by raw consumption of horsemeat. *Shokuhin Eiseigaku Zasshi* 2013, 54, 198-203, doi: 10.3358/shokueishi.54.198.
  32. *Helman E., Dellarupe A., Cifuentes S., Chang Reissig E., Moré G.*: Identification of *Sarcocystis* spp. in wild boars (*Sus scrofa*) from Argentina. *Parasitol. Res.* 2023, 122, 471-478, doi: 10.1007/s00436-022-07743-w.
  33. *Herbert P. D. N., Cywinska A., Ball S. L., de Waard J. R.*: Biological identifications through DNA barcodes. *Proc. Biol. Sci.* 2003, 270, 313-321.
  34. *Heydorn A. O., Rommel M.*: Contributions on the life cycle of Sarcosporidia. II. Dog and cat as vectors of cattle Sarcosporidia. *Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr.* 1972, 85, 121-123.
  35. *Honda M., Sawaya M., Taira K., Yamazaki A., Kamata Y., Shimizu H., Kobayashi N., Sakata R., Asakura H., Sugita-Konishi Y.*: Effects of temperature, pH and curing on the viability of *Sarcocystis*, a Japanese sika deer (*Cervus nippon centralis*) parasite, and the inactivation of their diarrheal toxin. *J. Vet. Med. Sci.* 2018, 80, 1337-1344, doi: 10.1292/jvms.18-0123.
  36. *Hornok S., Mester A., Takacs N., Baska F., Majoros G., Fok E., Biksi I., Nemet Z., Hornyak A., Janosi S., Farkas R.*: *Sarcocystis* infection of cattle in Hungary. *Parasit. Vectors* 2015, 8, 69.
  37. *Hu J. J., Wen T., Chen X. W., Liu T. T., Esch G. W., Huang S.*: Prevalence, morphology, and molecular characterization of *Sarcocystis heydorni* sarcocysts from cattle (*Bos taurus*) in China. *J. Parasitol.* 2016, 102, 545-548, doi: 10.1645/16-49.
  38. *Imes G. D., Jr., Migaki G.*: Eosinophilic myositis in cattle – pathology and incidence. *Proc. Annu. Meet. U S Anim. Health Assoc.* 1967, 71, 111-122.
  39. *Imre K., Sala C., Morar A., Imre M., Ciontu C., Chisăliță I., Dudu A., Matei M., Dărbăș G.*: Occurrence and first molecular characterisation of *Sarcocystis* spp. in wild boars (*Sus scrofa*) and domestic pigs (*Sus scrofa domestica*) in Romania: Public health significance of the isolates. *Acta Tro.* 2017, 167, 191-195.
  40. *Inomata A., Aoki J., Kimura Y., Kon M., Shichiku M.*: A food poisoning case by the deer meat with three kinds of *Sarcocystis* spp. Niigata Prefecture, Japan. *Jpn. J. Food Microbiol.* 2020, 37, 178-182.
  41. *Italiano C. M., Wong K. T., AbuBakar S., Lau Y. L., Ramli N., Syed Omar S. F., Kahar Bador M., Tin Tan C.*: *Sarcocystis nesbitti* causes acute, relapsing febrile myositis with a high attack rate: description of a large outbreak of muscular sarcocystosis in Pangkor Island, Malaysia, 2012. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 2014, 8, e2876, doi: 10.1371/journal.pntd.0002876.
  42. *Januškevičius V., Januskeviciene G., Prakas P., Butkauskas D., Petkevicius D.*: Prevalence and intensity of *Sarcocystis* spp. infection in animals slaughtered for food in Lithuania. *Vet. Med. (Praha)* 2019, 64, 149-157, doi: 10.17221/151/2017-VETMED.
  43. *Jensen R., Alexander A. F., Dahlgren R. R., Jolley W. R., Marquardt W. C., Flack D. E., Bennett B. W., Cox M. F., Harris C. W., Hoffmann G. A.*: Eosinophilic myositis and muscular sarcocystosis in the carcasses of slaughtered cattle and lambs. *Am. J. Vet. Res.* 1986, 47, 587-593.
  44. *Kamata Y., Saito M., Irikura D., Yahata Y., Ohnishi T., Bessho T., Inui T., Watanabe M., Sugita-Konishi Y.*: A toxin isolated from *Sarcocystis fayeri* in raw horsemeat may be responsible for food poisoning. *J. Food Prot.* 2014, 77, 814-819, doi: 10.4315/0362-028X.Jfp-13-351.
  45. *Kaur M., Singh B. B., Sharma R., Gill J. P.*: Pervasive environmental contamination with human feces results in high prevalence of zoonotic *Sarcocystis* infection in pigs in the Punjab, India. *J. Parasitol.* 2016, 102, 229-232, doi: 10.1645/15-828.
  46. *Lassen B., Talvik H.*: Parasitic protozoans in livestock and pets in Estonia. *Vet. Med. Zoot.* 2009, 46, 30-36.
  47. *Lau Y. L., Chang P. Y., Subramaniam V., Ng Y. H., Mahmud R., Ahmad A. F., Fong M. Y.*: Genetic assemblage of *Sarcocystis* spp. in Malaysian snakes. *Parasit. Vectors.* 2013, 6, 257, doi: 10.1186/1756-3305-6-257.
  48. *Lau Y. L., Chang P. Y., Tan C. T., Fong M. Y., Mahmud R., Wong K. T.*: *Sarcocystis nesbitti* infection in human skeletal muscle: possible transmission from snakes. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 2014, 90, 361-364, doi: 10.4269/ajtmh.12-0678.
  49. *Mehrotra R., Bisht D., Singh P. A., Gupta S. C., Gupta R. K.*: Diagnosis of human sarcocystis infection from biopsies of the skeletal muscle. *Pathology* 1996, 28, 281-282, doi: 10.1080/00313029600169164.
  50. *Moré G., Maksimov A., Conraths F. J., Schares G.*: Molecular identification of *Sarcocystis* spp. in foxes (*Vulpes vulpes*) and raccoon dogs (*Nyctereutes procyonoides*) from Germany. *Vet. Parasitol.* 2016, 220, 9-14, doi: 10.1016/j.vetpar.2016.02.011.
  51. *Moré G., Pantcher A., Skuballa J., Langenmayer M. C., Maksimov P., Conraths F. J., Venturini M. C. D., Schares G.*: *Sarcocystis sinensis* is the most prevalent thick-walled *Sarcocystis* species in beef on sale for consumers in Germany. *Parasitol. Res.* 2014, 113, 2223-2230.
  52. *Nourollahi-Fard S. R., Asghari M., Nouri F.*: Survey of *Sarcocystis* infections in slaughtered cattle in Kerman, Iran. *Trop. Anim. Health Prod.* 2009, 41, 1633-1636.
  53. *Omata Y., Heydorn A. O., Heidrich H. G., Igarashi I., Saito A., Toba H., Suzuki N.*: Survey of *Sarcocystis* spp. infection in slaughtered pigs in East Hokkaido, Japan. *J. Prot. Res.* 1993, 3, 29-30.
  54. *Ota T., Nakano Y., Mizuno T., Shiozaki A., Hori Y., Yamanishi K., Hayakawa K., Hayakawa T., Fujimoto T., Nakamoto C., Maejima K., Wada Y., Terasoma F., Ohnishi T.*: First case report of possible *Sarcocystis truncata*-induced Food Poisoning in Venison. *Intern. Med.* 2019, 58, 2727-2730, doi: 10.2169/internalmedicine.2817-19.
  55. *Pereira A., Bermejo M.*: Prevalence of *Sarcocystis* cyst in pigs and sheep in Spain. *Vet. Parasitol.* 1988, 27, 353-355, doi: 10.1016/0304-4017(88)90049-0.



56. *Prakas P., Balčiauskas L., Juozaitytė-Ngugu E., Butkauskas D.*: The role of mustelids in the transmission of *Sarcocystis* spp. using cattle as intermediate hosts. *Animals* 2021, 11, 822, doi: 10.3390/ani11030822.
57. *Prakas P., Kirillova V., Dzerkale A., Kirjušina M., Butkauskas D., Gavarāne I., Rudaityte-Lukošiene E., Šulinskas G.*: First molecular characterization of *Sarcocystis miescheriana* in wild boars (*Sus scrofa*) from Latvia. *Parasitol. Res.* 2020, 119, 3777-3783.
58. *Pritt B., Trainer T., Simmons-Arnold L., Evans M., Dunams D., Rosenthal B. M.*: Detection of sarcocystis parasites in retail beef: a regional survey combining histological and genetic detection methods. *J. Food. Prot.* 2008, 71 (10), 2144-2147, doi: 10.4315/0362-028x-71.10.2144.
59. Regulation (EC) No 853/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific hygiene rules for food of animal origin. *OJ L* 139, 30.4.2004, p. 55-205.
60. Regulation (EU) 2017/625 of the European Parliament and of the Council of 15 March 2017 on official controls and other official activities performed to ensure the application of food and feed law, rules on animal health and welfare, plant health and plant protection products, amending Regulations (EC) No 999/2001, (EC) No 396/2005, (EC) No 1069/2009, (EC) No 1107/2009, (EU) No 1151/2012, (EU) No 652/2014, (EU) 2016/429 and (EU) 2016/2031 of the European Parliament and of the Council, Council Regulations (EC) No 1/2005 and (EC) No 1099/2009 and Council Directives 98/58/EC, 1999/74/EC, 2007/43/EC, 2008/119/EC and 2008/120/EC, and repealing Regulations (EC) No 854/2004 and (EC) No 882/2004 of the European Parliament and of the Council, Council Directives 89/608/EEC, 89/662/EEC, 90/425/EEC, 91/496/EEC, 96/23/EC, 96/93/EC and 97/78/EC and Council Decision 92/438/EEC (Official Controls Regulation)Text with EEA relevance. *OJ L* 95, 7.4.2017, p. 1-142.
61. *Rommel M., Heydorn A. O., Gruber F.*: Life cycle of Sarcosporidia. 1. The sporocyst of *S. tenella* in cat feces. *Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr.* 1972, 85, 101-105.
62. *Rosenthal B. M.*: Zoonotic *Sarcocystis*. *Res. Vet. Sci.* 2021, 136, 151-157, doi: 10.1016/j.rvsc.2021.02.008.
63. *Rubiola S., Civera T., Panebianco F., Vercellino D., Chiesa F.*: Molecular detection of cattle *Sarcocystis* spp. in North-West Italy highlights their association with bovine eosinophilic myositis. *Parasit. Vectors* 2021, 14, 223, doi: 10.1186/s13071-021-04722-5.
64. *Rubiola S., Pasquariello L., Panebianco F., Capucchio M. T., Colombino E., Bordese F., Giobbio E., Fioriello L., Braghin S., Korpysa-Dzirba W., Różycki M., Chiesa F.*: Macroscopic sarcocystosis in a pig carcass from an Italian abattoir. *Vet. Res. Commun.* 2023, doi: 10.1007/s11259-023-10137-7.
65. *Saito M., Taguchi K., Shibata Y., Kobayashi T., Shimura K., Itagaki H.*: Toxicity and properties of the extract from *Sarcocystis* cruzi cysts. *J. Vet. Med. Sci.* 1995, 57, 1049-1051, doi: 10.1292/jvms.57.1049.
66. *Saleque A., Juyal P. D., Bhatia B. B.*: Effect of temperature on the infectivity of *Sarcocystis miescheriana* cysts in pork. *Vet. Parasitol.* 1990, 36 (3), 343-346, doi: 10.1016/0304-4017(90)90047-F.
67. *Serdobijceva O. V., Sidorkin V. A.*: Sarcocystosis in animals of Saratov region. *Veterinarija* 2011, 4, 31-33.
68. *Sertin M., Lemieux D., Rossero A., Alsaric O., Oudot N., Willemse C., Chiesa F., Magras C., Cappelier J. M.*: *Sarcocystis hominis* is frequently associated with bovine eosinophilic myositis. *Rene Reeh Ruminants* 2013, 3, 36-39.
69. *Shahari S., Tengku-Idris T. I. N., Fong M. Y., Lau Y. L.*: Molecular evidence of *Sarcocystis nesbitti* in water samples of Tioman Island, Malaysia. *Parasit. Vectors* 2016, 9, 598, doi: 10.1186/s13071-016-1883-9.
70. *Siva da N. R. S., Rodrigues R. J. D., Araujo F. A. P., Beck C., Olicheski A. T.*: Detection of bovine *Sarcocystis* cruzi cysts in cardiac muscles: a new technique of concentration for diagnostic. *Acta Sci. Vet.* 2002, 30, 127-129.
71. *Tabaran A., Mihasiu S. M., Dan R., Mihaiu I. V., Cordis D.*: Cordeia incidence of *Sarcocystis* spp. infestation in pork and wild boar samples in Transylvania. *Porcine Research* 2013, 3, 36-39.
72. *Tropilo J., Katkiewicz M. T., Wiśniewski J.*: *Sarcocystis* spp. infection in free-living animals: wild boar (*Sus scrofa* L.), deer (*Cervus elaphus* L.), roe deer (*Capreolus capreolus* L.). *Polish J. Vet. Sci.* 2001, 1, 15-18.
73. *Vangeel L., Houf K., Chiers K., Vercruyse J., D'Herde K., Ducatelle R.*: Molecular-based identification of *Sarcocystis hominis* in belgian minced beef. *J. Food Protect.* 2007, 70, 1523-1526, doi: 10.4315/0362-028X-70.6.1523.
74. *Vangeel L., Houf K., Geldhof P., De Preter K., Vercruyse J., Ducatelle R., Chiers K.*: Different *Sarcocystis* spp. are present in bovine eosinophilic myositis. *Vet. Parasitol.* 2013, 197, 543-548, doi: 10.1016/j.vetpar.2013.06.001.
75. *Wilairatana P., Radomyos P., Radomyos B., Phraevanich R., Plooksawadi W., Chanthavanich P., Viravan C., Looareesuwan S.*: Intestinal sarcocystosis in Thai laborers. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 1996, 27, 43-46.
76. *Wong K. T., Pathmanathan R.*: Ultrastructure of the human skeletal muscle sarcocyst. *J. Parasitol.* 1994, 80, 327-330, doi: 10.2307/3283767.
77. World Health Organization (WHO) Five keys to safer food manual. World Health Organization 2006, p. 28.
78. *Wouda W., Snoep J. J., Dubey J. P.*: Eosinophilic myositis due to *Sarcocystis hominis* in a Beef Cow. *J. Comp. Pathol.* 2006, 135, 249-253, doi: 10.1016/j.jcpa.2006.07.004.

**Autor korespondencyjny: dr n. wet. Weronika Korpysa-Dzirba, ul. Różana 19, 24-100 Puławy**