



Baryt – charakterystyka i zastosowanie w rentgenodiagnostyce

Barite – characteristics and application in radiology

Ewa Pasieka¹, Jacek Lewandowski²

¹ Zakład Radiologii, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku, ul. M. Skłodowskiej-Curie 24A, 15-276 Białystok, tel. +48 604 175 155, e-mail: ewapass@poczta.onet.pl

² Pracownia Hemodynamiki, Wojewódzki Szpital Zespolony im. J. Śniadeckiego w Białymstoku, ul. M. Skłodowskiej-Curie 26, 15-950 Białystok

Wprowadzenie

Na początku XVII wieku włoski alchemik Vincenzo Cascariolo w poszukiwaniu złota poddawał obróbce termicznej znalezione na wzgórzach otaczających Bolonię kamienie. W przypadku niektórych odkrył, że i bez ogrzania emitują światło [1, 2]. Zjawisko świecenia „kamienia z Bolonii” było dla ówczesnych niewytłumaczalnym fenomenem, o którym wspominał Johann Wolfgang Goethe w *Cierpieniach*

mlodego Wertera. Dopiero w latach siedemdziesiątych XVIII wieku Karl Wilhelm Scheele, analizując próbkę osobliwego minerału, stwierdził, że musi zawierać nieznan pierwiastek. Metaliczny bar został odkryty w 1808 roku [3]. Mineralem, który z pracowni alchemicznej trafił do pracowni rentgenowskiej, jest szpat ciężki, znany jako baryt.

Celem pracy jest charakterystyka barytu oraz omówienie jego zastosowania w rentgenodiagnostyce jako środka kontrastującego i materiału osłon

72

Streszczenie

Baryt to minerał z grupy siarczanów, występujący w żyłach kruszcowych. Stosowany jest głównie w przemyśle wydobywczym do obciążania płuczek wiertniczych. W medycynie znany jest jako środek kontrastujący używany podczas badań przewodu pokarmowego. Bardzo dobra tolerancja i pochłanianie promieniowania rentgenowskiego są podstawowymi cechami warunkującymi wartość barytu w diagnostyce obrazowej. Pochłanianie promieniowania jest także warunkiem stosowania barytu w połączeniu z betonem do konstrukcji osłon stałych. W artykule przedstawiono główne cechy siarczanu baru znajdującego zastosowanie w diagnostyce medycznej.

Słowa kluczowe: baryt, siarczan baru, środek kontrastujący, przewód pokarmowy, osłony stałe, gabinet rentgenowski

Abstract

Barite is naturally occurring barium sulfate and is the predominant barium mineral used for industrial purposes. In medicine known as a contrast agent used during testing of the gastrointestinal tract. It is characterized by two important features: a very good tolerance and absorption of X-rays. It allows for application of barite in a concrete, that finds application in building shielding. The aim of the study is to present the information about barium sulfate in medical diagnostics.

Key words: barite, barium sulfate, contrast agent, gastrointestinal tract, radiation shielding, X-ray room

otrzymano / received:

17.02.2016

poprawiono / corrected:

25.03.2016

zaakceptowano / accepted:

30.03.2016

stałych przed promieniowaniem rentgenowskim. Praca powstała na podstawie analizy piśmiennictwa (PubMed i Google Scholar).

Informacje ogólne

Baryt to minerał z grupy siarczanów o formule chemicznej $BaSO_4$ (zazwyczaj w proporcji 66% BaO i 34% SO_3). Minerał występuje w żyłach kruszcowych, w towarzystwie rud siarczkowych srebra, cynku i ołowiu. Może zawierać domieszki strontu, wapnia, ołowiu, żelaza i radu. Baryt należy do wielościennych minerałów. Występuje w ponad 200 formach i kształtach. Siarczan baru jest najpospolitszym minerałem spośród pierwiastków o dużej masie atomowej. Jego nazwa pochodzi od greckiego „baros”, co oznacza „ciężki” i nawiązuje do jego gęstości [4, 5]. Najważniejsze właściwości minerału przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1 Właściwości barytu [5, 6]

Kolor	biały o perłowym lub szklistym połysku, przy zanieczyszczeniu związkami ołowiu i żelaza – szary, niebieski, w odcieniach żółci i brązu
Gęstość	4,48 g/cm ³
Twardość	3,0-3,5 (skala Mohsa)
Ciężar właściwy	4,3-5,0
Układ kryształów	rombowy – formy narostów, równoległe irozetowe skupienia, łupinowe izbite masy
Pokrój kryształów	tabliczkowy, słupkowy
Łupliwość	kruchy
Przełam	nierówny, kruchy

Baryt stosowany jest w różnych gałęziach przemysłu. Głównym odbiorcą minerału jest przemysł wydobywczy ropy i gazu ziemnego (85% światowego zapotrzebowania), gdzie stanowi materiał obciążający płuczki wiertnicze, co zapobiega niekontrolowanemu uwalnianiu gazowych i ciekłych kopaliny. Inne dziedziny gospodarki, w których siarczan baru ma zastosowanie, to: hutnictwo, cementownie, przetwórstwo gumy i tworzyw sztucznych oraz przemysł farmaceutyczny. Baryt wykorzystywany jest także jako pigment biel permanentna (fr. *blanc fixe*) oraz



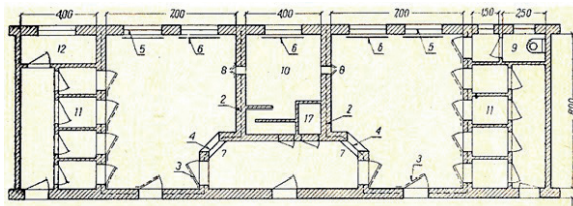
Fot. 1 Skupienie tabliczkowe barytu na matrixie
Źródło: Archiwum własne.

do barwienia sztucznych ogni na kolor żółtozielony. W przeszłości używano minerału do fałszowania ciężaru produktów spożywczych, np. chleba [4, 5]. Baryt ze względu na dużą kruchość i rzadko występujące duże kryształy, które można poddać szlifowaniu, ma małe znaczenie jubilerskie, natomiast jest cennym minerałem kolekcjonerskim (Fot. 1).

Światowym liderem wydobycia barytu są Chiny, w dalszej kolejności Indie, USA i Maroko. W Polsce złoża barytu występują w województwie dolnośląskim (Stanisławów, powiat jaworski) oraz świętokrzyskim (Strawczyn, powiat kielecki). Złoża nie są eksploatowane od końca lat dziewięćdziesiątych XX wieku, a zapotrzebowanie krajowe na ten minerał pokrywane jest z importu (głównie Chin i Słowacji) [7, 8].

Baryt jako środek kontrastujący

W niecały rok od odkrycia promieniowania rentgenowskiego Walter Bradford Cannon, student Uniwersytetu Harvarda, dokonał w badaniach na zwierzętach obserwacji procesu połknięcia i motoryki żołądka. W celu wizualizacji przewodu pokarmowego sporządził mieszaninę soli i ciężkich metali, w tym baru i bizmutu, którą podawał w żelatynowych ostonkach. Wyniki swojej pierwszej pracy opublikował w 1898 roku w *American Journal of Physiology*. Tym samym Cannon stał się prekursorem badań ze środkiem kontrastującym w rentgenodiagnostyce [9, 10]. Warto też wspomnieć, że Walter Bradford Cannon był popularyzatorem stosowania oston z ołowiu przed promieniowaniem rozproszonym podczas fluoroskopii. Fizjolog wprowadził ostonę do wykonywanych badań ze względu na fakt, że cierpią z powodu odczynów popromiennych na skórze dłoni [11]. W 1910 roku Carl Bachem i Hans Günther rekomendowali siarczan baru jako samodzielny środek kontrastujący przewód pokarmowy, który do dziś z powodzeniem jest wykorzystywany w rentgenodiagnostyce tego obszaru ciała. Udoskonalono głównie technikę badania poszczególnych odcinków oraz standard przygotowania pacjenta do diagnostyki. Natomiast rozwój przemysłu farmaceutycznego pozwolił przejść od produktu, który należało przygotować bezpośrednio przed badaniem, co wymagało nawet wyodrębnienia specjalnego pomieszczenia w pracowni rentgenowskiej (Rys. 1), do preparatów w jednorazowych opakowaniach, gotowych do użycia. Obecnie w celu minimalizowania dyskomfortu pacjenta przyjmującego doustnie siarczan baru dodawane są substancje poprawiające smak np. moreli, jabłka, banana [12, 13].



Rys. 1 Rzut pracowni rentgenowskiej z lat 50. XX wieku. Numerem 17 oznaczona „kuchienka do przygotowywania papki barytowej”
Źródło: [14].



Nieprzemijająca wartość stosowania siarczanu baru w rentgenodiagnostyce wynika z jego podstawowych właściwości. Baryt jest związkami [15, 16]:

- 1) nierozpuszczalnym w wodzie,
- 2) stabilnym chemicznie,
- 3) silnie pochłaniającym promieniowanie rentgenowskie,
- 4) niewchłaniającym się z przewodu pokarmowego.

Siarczan baru jest pozytywnym środkiem kontrastującym o bardzo dobrej tolerancji, który osłabia promieniowanie rentgenowskie bardziej niż otaczające tkanki (środek pozytywny). Po podaniu siarczanu baru mogą wystąpić u pacjenta nudności i wymioty, które są konsekwencją rozdęcia i mechanicznego drażnienia jelit. Zaparcia i niedrożność jelit częściej występują u osób odwodnionych lub cierpiących na mukowiscydozę [15-17]. Reakcje alergiczne typu rumień, świąd i pokrzywka występują niezmiernie rzadko i z większym prawdopodobieństwem ujawniają się u pacjentów z objawami silnych alergii w przeszłości. Szacuje się, że łagodne zdarzenia niepożądane występują z częstością 1 przypadek na 750 000 badań [18]. Powikłania ciężkie są jeszcze radsze – 1 przypadek na 2 500 000 badań [19]. Niektórzy autorzy sugerują, że zdarzenia niepożądane po podaniu siarczanu baru mogą być związane z domieszkami stosowanymi w produkcie farmaceutycznym [20].

W literaturze opisywane są nieliczne przypadki zatrucia metalicznym barem związane z niewłaściwą jakością i zanieczyszczeniem siarczanu baru jako wyrobu farmaceutycznego. Ostre objawy zatrucia w postaci nudności, wymiotów i wodnistej biegunki mogą doprowadzić do zaburzeń równowagi elektrolitowej, a w konsekwencji do hipokaliemii. Brak interwencji farmakologicznej – wlew potasu z monitorowaniem zaburzeń elektrolitowych skutkuje niewydolnością mięśni oddechowych, zaburzeniami rytmu serca, śpiączką, a nawet śmiercią [21, 22].

Sporadycznie dochodzi do zalegania siarczanu baru w pętlach jelitowych, co w konsekwencji może stać się podłożem rozwoju stanów zapalnych np. wyrostka robaczkowego [23, 24]. Resztki barytu pozostające w jelicie są utrudnieniem w dalszej diagnostyce obrazowej pacjenta np. podczas tomografii jamy brzusznej, rentgenodiagnostyki klasycznej odcinka lędźwiowo-krzyżowego kręgosłupa. Stąd, o ile jest to możliwe, konieczność planowania badań u danego pacjenta z uwzględnieniem podania siarczanu baru na końcu zamierzonego postępowania diagnostycznego. W przypadku, gdy na topogramie uwidocznione zostanie zaleganie barytu, należy rozważyć odroczenie badania, gdyż jego resztki mogą utrudnić interpretację skanów w wyniku artefaktów promienistych i przesłonięcia badanych struktur [25].

Natomiast ziarniak barowy (*barium granuloma*) jest rzadkim powikłaniem wlewu doodbytniczego. Jako jednostka chorobowa został opisany po raz pierwszy przez Beddoe i wsp. w 1954 roku [26]. Do rozwoju patologii dochodzi, gdy siarczan baru podczas badania przenika w miejscu uszkodzenia śluzówki jelita do niżej położonych warstw i tam zalega, inicjując proces zapalny. Choroba może ujawnić się od kilku dni do kilku lat po wykonaniu badania z siarczanem baru. W literaturze opisywany najdłuższy

okres czasu wynosi 17 lat. W badaniach endoskopowych *barium granuloma* może naśladować inne zmiany chorobowe, łącznie z procesem nowotworowym [27].

Po podaniu siarczanu baru może dojść do perforacji ściany przewodu pokarmowego. Szacuje się, że ciężkie zdarzenie niepożądane może dotyczyć do 0,04% pacjentów, którym wykonywany jest wlew doodbytniczy. Perforacja prowadzi do zapalenia otrzewnej ze względu na uwolnienie do przestrzeni dootrzewnowej środka kontrastującego, kału i bakterii jelitowych. Po raz pierwszy w 1916 roku Rosenthal opisał zapalenie otrzewnej jako konsekwencję perforacji podczas radiologicznej oceny jelita [28, 29]. Ryzyko perforacji wzrasta u ludzi starszych, u których wytrzymałość jelita na rozciąganie jest mniejsza. Do innych czynników należą: uchyłkowość jelita i stany zapalne oraz zwężenie w przebiegu procesu nowotworowego, a także błędy jatrogenne podczas procedury [30, 31].

Konsekwencją dostania się siarczanu baru do naczyń krwionośnych mogą być zaburzenia akcji serca, także zagrażające życiu – asystolia lub migotanie komór. Do ciężkich zdarzeń niepożądanych związanych z zaburzeniami przepływu krwi należą zatętnienia naczyń płucnych i mózgowych. Innym powikłaniem o charakterze ostrym jest zespół rozsianego wykrzepiania wewnątrznaczyniowego DIC (*Disseminated Intravascular Coagulation*) [32]. Sporadycznie ma miejsce refluks siarczanu baru z przewodu pokarmowego do naczyń żółciowych [33].

Należy pamiętać, że historycznie pierwszy angiogram wykonano z użyciem siarczanu baru. W 1886 roku Eduard Haschek i Otto Lindenthal zastosowali baryt razem z bizmutem i ołowiem oraz węglanem wapnia do wizualizacji naczyń krwionośnych amputowanej dłoni. Współcześnie układ naczyniowy diagnozowany jest z wykorzystaniem jodowych środków kontrastujących [34, 35].

Baryt jako komponent osłon stałych


Ostony stałe, czyli ściany, sufit i podłoga danego pomieszczenia gwarantują ochronę przed promieniowaniem jonizującym. Barytobeton jest materiałem, który może być wykorzystany jako materiał na ostony stałe gabinetów rentgenowskich, terapii z wykorzystaniem neutronów i promieniowania gamma oraz pomieszczeń reaktorów atomowych i magazynów odpadów promieniotwórczych. Wielkość współczynnika liniowego tłumienia barytobetonu zależy od energii promieniowania, liczby atomowej i gęstości materiału osłonowego. Gdy gęstość betonu osłony jest większa, to jej grubość może być zmniejszona. Zazwyczaj stosuje się ciężki beton o gęstości objętościowej powyżej 3200 kg/m³ i grubości w zależności od energii źródła promieniowania. W planowaniu konstrukcji osłon stałych z wykorzystaniem barytu jako absorbera należy uwzględnić wartość równoważnika ołowiu LE (*Lead-Equivalence*). Innymi słowy, grubość barytobetonu odpowiada określonej grubości ołowiu przy danych warunkach pomiarowych (należy uwzględnić wartość napięcia anodowego oraz tygodniowy czas pracy lampy RTG i możliwe kierunki wiązki pierwotnej) [36, 37].



W gabinetach rentgenowskich stosowane są również zaprawy murarskie z dodatkiem barytu, które nakładane są na ściany wykonane z bloczków betonowych. Wykończenie wymaga nałożenia kilku warstw tynku chroniącego przed promieniowaniem tak, aby nie pozostało szczelin i pęknięć [38]. Zaprawa do wykonania tynku chroniącego przed promieniowaniem zawiera również ciężkie kruszywo, np. limonit, baryt o uziarnieniu 0,05-2,0 mm. Sposób wykonania nie różni się od wykonania tynku zwykłego [39].

Zastosowanie barytu w budowie osłon stałych jest bardzo dobrym rozwiązaniem z punktu ochrony radiologicznej, ale nie jest to rozwiązanie ekonomiczne. Ponieważ zasoby barytu maleją, poszukuje się tańszych materiałów (pumeks, żużel wielkopiecowy, kolemanit, włókna roślinne) i nowych technologii będących alternatywą dla barytobetonu [40].

Podsumowanie

Wykorzystanie barytu w rentgenodiagnostyce ma ponad stuletnią historię. Mimo licznych innowacji, nadal z powodzeniem jest stosowany w wizualizacji i ocenie przewodu pokarmowego. Barytu używa się w aplikacjach antyradiacyjnych. Możliwe jednak, że w przyszłości baryt jako materiał osłon stałych zostanie zastąpiony materiałami bardziej ekonomicznymi. 

Literatura

1. M. Lastusaari, T. Laamanen, M. Malkamäki, Kari O. Esskola, A. Kotlov, S. Carlson, E. Welter, H. Brito, M. Bettinelli, H. Jungner, J. Hölsä: *The Bologna Stone: history's first persistent luminescent material*, EJM, 24(5), 2012, 885-890.
2. B. Valeur, M.N. Berberan-Santos: *A brief history of fluorescence and phosphorescence before the emergence of quantum theory*, J. Chem. Educ., 88, 2011, 731-738.
3. H. Fors: *Stepping through science's door: C. W. Scheele, from pharmacist's apprentice to man of science*, AMBIX, 55(1), 2008, 29-49.
4. Muzeum Narodowe w Kielcach, [online] http://mnki.pl/pl/obiekt_tygodnia/2011/baryt/?print=1&pdf=1, data pobrania 10.05.2015.
5. P. Enghag: *Encyclopedia of the elements: technical data – history – processing – applications*, Wiley-Vch, Weinheim 2002, 386-371.
6. O. Mendenbach, U. Mendenbach: *Atlas minerałów*, Wydawnictwo RM, Warszawa 2008, 104-105, 182-183.
7. *Mineral commodity summaries 2015*, U.S. Geological Survey, Reston 2015, 24-25.
8. *Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2012*, [online] http://geoportal.pgi.gov.pl/css/surowce/images/2012/Bilans_Gospodarki_Surowcami_Mineralnymi_2012.pdf, data pobrania 10.05.2015.
9. H. Herlinger, D.D.T. Maglinte: *Barium for the small bowel. Historical aspects* [w:] H. Herlinger, D.D.T. Maglinte, B.B. Birnbaum (red.): *Clinical imaging of the small intestine*, Springer-Verlag, Nowy Jork 2001, 41-46.
10. T.M. Brown, E. Fee: *Walter Bradford Cannon. Pioneer physiologist of human emotions*, Am J Public Health, 92(10), 2002, 1594-1595.
11. M.L. Corman: *Walter Bradford Cannon 1871-1945*, DC&R, 26(9), 1983, 634-647.
12. S.E. Rubesin, M.S. Levine, I. Laufer, H. Herlinger: *Double-contrast barium enema examination technique*, Radiology, 215, 2000, 642-650.
13. B. Bonnemain: *Barium, indications and contraindications* [w:] A.L. Baert (red.): *Encyclopedia of diagnostic imaging*, Springer, Nowy Jork 2008, 111-112.
14. J. Dobrski, J. Poppe, J. Rudziński: *Aparaty rentgenowskie. Instalacja, obsługa, konserwacja*, Państwowe Wydawnictwo Techniczne, Warszawa 1953, 32-35.
15. J.M. Widmark: *Imaging-related medications: a class overview*, Proc (Bayl Univ Med Cent), 20(4), 2007, 408-417.
16. J-P. Barraud: *Contrast media, Barium* [w:] A.L. Baert (red.): *Encyclopedia of diagnostic imaging*, Springer, Nowy Jork 2008, 485-488.
17. M.L. Janower: *Hypersensitivity reactions after barium studies of the upper and lower gastrointestinal tract*, Radiology, 161, 1986, 139-140.
18. D.W. Gelfand, J.C. Sowers, K.A. DePonte, T.E. Sumner, D.J. Ott: *Anaphylactic and allergic reactions during double-contrast studies: is glucagon or barium suspension the allergen?*, AJR, 144, 1985, 405-406.
19. P.C. Seymour, C.D. Kesack: *Anaphylactic shock during a routine upper gastrointestinal serie*, AJR, 168, 1997, 957-958.
20. O. Roza, L.B. Berman: *The pathophysiology of barium: hypokalemic and cardiovascular effects*, J Pharmacol Exp Ther, 177, 1971, 433-443.
21. C. Savry, O. Bouche, J.Y. Lefrant, G. Saissy, P. Allain: *Barium sulfate poisoning?*, Ann Fr Anesth Reanim, 18, 1999, 454-457.
22. A.L. Pelissier-Alicot, G. Leonetti, P. Champsaur, P. Allain, Y. Mauras, A. Botta: *Fatal poisoning due to intravasation after oral administration of barium sulfate for contrast radiography*, Forensic Sci Int, 106, 1999, 109-113.
23. N. Muroi, M. Nishibori, T. Fujii, M. Yamagata, S. Hosoi, N. Nakaya, K. Saeki, K. Henmi: *Anaphylaxis from the carboxymethylcellulose component of barium sulfate suspension*, N Engl J Med, 337, 1997, 1275-1277.
24. M. Urade, T. Shinbo: *Barium appendicitis 1 month after a barium meal*, Int Surg, 97(4), 2012, 296-298.
25. M. Prokop, A.J. van der Molen: *Zabiegi wykonywane pod kontrolą tomografii komputerowej* [w:] M. Prokop, M. Galański (red.): *Spiralna i wielorzędowa tomografia komputerowa człowieka*, Medipage, Warszawa 2007, 165-224.
26. H.L. Beddoe, S. Kay, S. Kaye: *Barium granuloma of the rectum: report of a case*, JAMA, 154, 1954, 747-749.
27. J.A. Carney, D.H. Stephens: *Intramural barium (barium granuloma) of colon and rectum*, Gastroenterology, 65, 1973, 316-320.
28. K.K. Gowda, S.K. Sinha, P. Chhabra, K. Vaiphei: *Barium granuloma mimicking carcinoma rectum: an unusual presentation*, IJPM, 57(3), 2014, 506-507.
29. E. Rosenthal: *Roentgenologisch be obachtele magenperforation*, Berl. Klin. Wchnschr., 53, 1916, 945.
30. S. Lakhotia, G.P. Shrivastava: *Barium Meal-induced gastric perforation*, Indian J Surg, 66, 2004, 119-120.
31. N.F. Yaşar, E. İhtiyar: *Colonic perforation during barium enema in a patient without known colonic disease: a case report*, Cases Journal, 2, 2009, 6716.
32. H. Blom, E.H. Nauta, R.F. van Rosevelt, J.W. ten Cate: *Disseminated intravascular coagulation and hypotension after intravasation of barium*, Arch Intern Med, 143, 1983, 1253-1255.
33. A. Walsham, J. Larsen: *Adverse effects of barium sulfate in the biliary tract*, Diagn Interv Radiol, 14, 2008, 94-96.
34. M.A. Quader, C.J. Sawmiller, B.E. Sumpio: *Radio contrast agents: history and evolution*, *Textbook of angiology*, Springer, Nowy Jork 2000, 775-783.
35. B. Meier: *Percutaneous coronary intervention: a review*, MEDICAMUNDI, 50/1, 2006, 26-34.
36. C. Basyigit: *The physical and mechanical properties of heavyweight concretes used in radiation shielding*, Journal of Applied Sciences, 6, 2006, 762-766.
37. Y. Esen, B. Yilmazer: *An investigation of X-ray and radio isotope energy absorption of heavyweight concretes containing barite*, Bull. Mater. Sci., 34 (1), 2011, 169-175.
38. D.G. Sutton, J.R. Williams (red.): *Radiation shielding for diagnostic X-rays, report of a joint BIR/IPEM working party*, British Institute of Radiology, Londyn 2000.
39. W. Martinek, N. Ibadov: *Murarstwo i tynkarstwo. Technologia. Roboty tynkarskie*, WSIP, Warszawa 2010, 85.
40. H. Binici, E. Ortlek: *Engineering properties of concrete made with cholemanite, barite, corn stalk, wheat straw and sunflower stalk ash*, EJET, 3(4), 2015, 23-34.