

Wprowadzenie

Niniejsza rozprawa doktorska stanowi pierwsze na świecie zbiorcze opracowanie tematu wykorzystania kości słoniowej w chirurgii urazowo - ortopedycznej. Praca powstała w oparciu o cztery tematycznie powiązane artykuły, opublikowane w recenzowanych międzynarodowych czasopismach w języku angielskim. Uzupełnienie stanowią prezentacje przedstawione na międzynarodowych konferencjach powiązane z cyklem. Celem pracy była retrospektywna analiza zastosowania kości słoniowej, jako substytutu kości oraz pierwszego biomateriału z sukcesem wykorzystywanego w chirurgii kostno-stawowej do leczenia stawów rzekomych oraz świeżych złamań. Powyższej analizie poświęcono dwa artykuły. Dodatkowo w dwóch kolejnych artykułach przedstawiono po raz pierwszy w międzynarodowym piśmiennictwie medycznym postać Dr San Baw z Birmy. Opisano w nich wyniki stosowania endoprotez połowicznych stawu biodrowego jego autorstwa wykonanych z kości słoniowej. Dodatkowo zaprezentowano przypadek pacjentki z endoprotezą połowiczą stawu biodrowego z kości słoniowej po 25 latach od implantacji. Dynamiczny rozwój chirurgii kostno-stawowej, który nastąpił w XIX wieku, spowodowany został wprowadzeniem przez Williama T. G. Mortona w 1846 roku znieczulenia pod postacią eteru siarkowego, a następnie w 1865 roku kwasu karbolowego przez Josepha Listera, ojca współczesnej aseptyki. Dalszy rozwój oraz wzrost dynamiki chirurgii kostno-stawowej dopełniły wprowadzone przez Wilhelma Roentgena w 1895 roku promienie X. Powyższe odkrycia pozwoliły na bardziej ekspansywny sposób leczenia złamań, które dotychczas leczone były głównie zachowawczo, a jedynym powszechnym i znanym sposobem leczenia chirurgicznego złamanej kończyny było wykonanie amputacji. Znieczulenie pacjenta do zabiegu pozwoliło na wykonywanie dużo bardziej skomplikowanych rekonstrukcji chorobowo zmienionych stawów oraz leczenie braku8 zrostu kostnego, wymuszając tym samym dużo większą kreatywność w poszukiwaniu materiałów wytrzymałych, a zarazem nadających się do modelowania oraz implantacji. Analiza fachowego piśmiennictwa obejmująca okres ponad 160 lat, począwszy od 1846 roku, wykazała, że najczęściej używanym w XIX i na początku XX wieku w chirurgii kostno-stawowej materiałem była kość słoniowa. Popularność zyskała dzięki możliwości łatwego modelowania i uzyskiwania zadanego kształtu bez potrzeby wykorzystywania specjalistycznej obróbki przemysłowej. Połączenie twardości, elastyczności oraz słabe przewodzenie ciepła dawało więcej możliwości niż obróbka alternatywnego materiału, jakim była kość wołowa również wykorzystywana przez niektórych chirurgów w leczeniu złamań kości. Oprócz wykorzystania w rzemiośle artystycznym jako przedmiot dekoracyjny oraz jako materiał do produkcji przedmiotów codziennego użytku, jak grzebienie czy okładziny sztuców, kość słoniowa była od dawna wykorzystywana w medycynie, począwszy od wytwarzania okładzin narzędzi chirurgicznych, protez zębowych, epitez nosa, narzędzi diagnostycznych, takich jak stetoskopy, po prymitywne mikroskopy, a w niektórych rejonach świata w postaci sproszkowanej jako lek na potencję. Kość słoniowa, materiał obecny w życiu człowieka od zarania dziejów, w przeciwieństwie do innych materiałów organicznych, zapewniła sobie stabilną pozycję w historii medycyny, która trwała ponad sto lat. Wiedza o tak szerokim zastosowaniu kości słoniowej w chirurgii kostno-stawowej niestety nie dotrwała do czasów współczesnych, a podręczniki ortopedii milczą o zastosowaniu kości słoniowej w XIX i XX wieku, kiedy używana była z powodzeniem jako materiał zespalający w leczeniu świeżych złamań, bądź substytut kości w leczeniu zaburzeń zrostu lub stawów rzekomych. Zapomniano również o jej znaczącym wpływie na dzisiejszą ortopedię czy nawet chirurgię plastyczną, gdzie kość słoniowa stanowiła podstawowy materiał rekonstrukcyjny stosowany w plastyce nosa aż do lat 70-tych XX wieku. Ekspansja XIX-wiecznego kolonializmu i rabunkowej kolonialnej gospodarki przez Wielką Brytanię, Francję, Belgię i Niemcy sprzyjała

dostawom świeżej kości słoniowej na rynki europejskie. Pod koniec XIX wieku Zanzibar jako centralny punkt eksportu kości słoniowej eksportował do samej Europy pomiędzy 530 a 570 ton kości słoniowej rocznie, a w latach 1911 - 1914 ponad 600 ton. Po I Wojnie Światowej nastąpił spadek eksportu o prawie połowę. Według hamburskiej firmy H.A. Mayer, będącej liderem w obróbce i handlu kością słoniową, i jej statystyk opublikowanych w 1888 roku, w samych latach 1879-1883 średnie zużycie kości słoniowej na świecie wynosiło ok. 868 ton, z czego 848 ton pochodziło z samej Afryki. Według H.A. Mayera równało się to śmierci ok 65 tysięcy słoni rocznie. Dorosłe słonie poza człowiekiem nie posiadają naturalnych wrogów, dlatego zwiększone zapotrzebowanie na kość słoniową doprowadziło do zdziesiątkowania ich populacji przez europejskich kolonizatorów. Według różnych źródeł z okresu przedkolonialnego pod koniec XVIII wieku populacja afrykańskich słoni wynosiła blisko 26 milionów. Wiek XIX zmniejszył ich liczbę o ponad połowę doprowadzając do poziomu około 12 milionów przed I wojną światową, aby po II wojnie obniżyć o kolejne 3 miliony. Obecnie mówi się o 415 tysiącach afrykańskich słoni, które mimo obowiązujących międzynarodowych zakazów handlu kością słoniową nadal są zagrożone przez międzynarodowe gangi kłusowników eksportujących kość słoniową do Azji, a w szczególności do Chin, gdzie cieszy się niesłabnącym powodzeniem pomimo obecnego od 2017 zakazu handlu. Ogromna podaż surowej kości słoniowej na XIX wieczny rynek przemysłowy czasowo obniżyła też jej cenę i umożliwiła poza wykorzystaniem jej do produkcji elementów codziennego użytku, takich jak ręczki do noży, grzebień, kule bilardowe czy klawisze fortepianowe, zastosowanie do produkcji implantów ortopedycznych. Aż do lat 40 XX wieku, kość słoniowa wykorzystywana w chirurgii kostno-stawowej była szeroko dostępna w specjalistycznych przedsiębiorstwach zajmujących się obróbką i dystrybucją surowej kości słoniowej lub u niektórych dostawców sprzętu medycznego, jak np. V. Mueller & Co, producent narzędzi chirurgicznych z Chicago, który w swoim katalogu z 1911 posiadał w stałej ofercie gwoździe z kości słoniowej. Analiza historyczna pokazuje, że pierwsze chirurgiczne zastosowanie kości słoniowej można przypisać ojcu nowoczesnej chirurgii plastycznej, urodzonemu w 1792 roku w Królewcu Johannowi Friedrichowi Dieffenbachowi, który w 1845 roku po raz pierwszy wykorzystał z sukcesem kołki z kości słoniowej do zespolenia stawu rzekomego. Nie jest do końca jasne, w jaki sposób Dieffenbach wpadł na pomysł zastosowania kości słoniowej jako materiału, który można zastosować do zespalania ludzkich kości. Dzięki bogatemu doświadczeniu z ranami postrzałowymi z okresu wojen napoleońskich Dieffenbach wiedział, że obce ciała takie jak pociski, po dostaniu się do wnętrza kości pobudzały wytwarzanie dużej ilości twardej kostniny. Wykorzystał ten model do stymulacji opóźnionego zrostu kostnego, gdzie kołki z kości słoniowej po wprowadzeniu do środka trzonu złamanej kości poprzez przełom złamania, miały za zadanie pobudzić zrost. Kołki usuwane były po 10-ciu dniach od implantacji. W zaprezentowanych przypadkach braku po ponad 12 miesiącach od pierwotnego urazu nastąpił zadowalający zrost kostny i pacjenci po 3 miesiącach od zabiegu powrócili do pełnej sprawności. Metoda Dieffenbacha w leczeniu braku zrostu przy pomocy kołków z kości słoniowej została mocno spopularyzowana w XIX wieku jako nowatorskie rozwiązanie i zyskała popularność zarówno wśród chirurgów niemieckich jak i brytyjskich w leczeniu opóźnionych zrostów oraz stawów rzekomych. W oparciu o metodę Dieffenbacha zaczęto modyfikować rodzaj stosowanych kołków z kości słoniowej oraz używać różnego rodzaju gwoździ oraz śrub, jak również wprowadzać nowe sposoby ich implantacji. W Stanach Zjednoczonych metoda Dieffenbacha została spopularyzowana przez takich chirurgów jak Nicolas Senn z Chicago i Paul B Magnuson, który jako pierwszy dogłębnie zbadał kość słoniową w laboratorium, wykonując różnorodne testy i doświadczenia na zwierzętach, w tym implantacje u psów. Wraz z rozwojem wiedzy o gojeniu kości oraz mechanice złamań, kość słoniowa wykorzystywana była do coraz bardziej zaawansowanych zabiegów rekonstrukcyjnych. Przykładem

mogą być pionierskie operacje zaprezentowane w 1891 roku przez Themistoklesa Glücka. Dokonywał on wymiany stawów kolanowego, biodrowego i łokciowego endoprotezy własnego autorstwa wykonane z kości słoniowej. Nie sposób pominąć tutaj opracowań Prof. Königa na temat protez z kości słoniowej, który w swoim kluczowym artykule z 1913 dogłębnie przeanalizował protezy własnego autorstwa zastosowane do rekonstrukcji bliższego końca kości ramiennej, stawu łokciowego, trzonu kości śródstopia czy żuchwy, zaimplantowane u chorych po resekcjach nowotworów opisanych jako mięsaki kości. Jeden z największych materiałów obejmujący zespolenia ponad 500 złamań trzonów kości długich przy użyciu cylindrów z kości słoniowej przedstawił w swoich artykułach Dr Zielke ze szpitala Dr. Siegfrieda Staemmlera w Bydgoszczy w 1943 roku, a potem z kliniki chirurgicznej w Ahrensburgu w 1956 roku. Mariaż z kością słoniową nie ominął wielkich postaci XIX-wiecznej chirurgii, takich jak Trendelenburg, Billroth, Volkmann, Paget czy nawet Ludwig Rydygier, który opisał swoje doświadczenia w zastosowaniu kości słoniowej w 1878 w artykule "Eine neue Methode zur Behandlung von Pseudarthrosen". Najbardziej współczesne nam przypadki użycia kości słoniowej pochodzą z lat 60-tych ubiegłego wieku. Dr San Baw z Birmy odnosił znaczące sukcesy wykorzystując kość słoniową do produkcji połowicznych protez stawu biodrowego. Rekonstruował stawy biodrowe po złamaniach bliższego końca kości udowej bądź w przypadkach chorobowo zmienionej głowy w jałowych martwicach. Implantował endoprotezy połowiczne własnego projektu i produkcji nawet 12-letnim dzieciom. Niesamowita funkcjonalność, wysmienita osteointegracja potwierdzona zdjęciami RTG oraz badaniami tomokomputerowymi, jak również bardzo niski odsetek powikłań oraz okres przeżycia implantów powyżej 50 lat, w znaczący sposób skłaniają do zastanowienia się nad biologicznymi właściwościami tego biomateriału. Kość słoniowa była przez ponad 100 lat powszechnym, naturalnym substytutem kości ludzkiej, służącym do leczenia złamań, a także materiałem służącym do rekonstrukcji ubytków lub zmienionych chorobowo stawów. W dobie szybkiego rozwoju chirurgii kostnej oraz coraz bardziej agresywnego leczenia złamań, kość słoniowa stała się materiałem z wyboru w przypadku leczenia ciężkich urazów kostnych lub leczenia stawów rzekomych z zadziwiająco dobrymi wynikami. Rozwój w dziedzinie metalurgii, wprowadzenie stali nierdzewnej oraz stopu vitalium, znacząco ograniczyło zastosowanie kości słoniowej na długo przed oficjalnym zakazem jej wykorzystywania. Niestety do dzisiaj jej miejsca nie zastąpił żaden materiał o podobnych właściwościach i zachowaniu w warunkach in vivo. Retrospektywna analiza artykułów opublikowanych w latach 1846-2017 pokazuje, że kość słoniowa cechuje się dużą wytrzymałością oraz niespotykaną w przypadku innych materiałów biozgodnością, rozumianą tutaj jako zdolność prawidłowego zachowania się w kontakcie z tkanką kostną. Pozwala na skuteczne leczenie zarówno świeżych złamań jak i zaburzeń zrostu oraz rekonstrukcję stawów bez negatywnego wpływu na szkielet kostny. Kość słoniowa spełnia większość wymaganych przez współczesne standardy biomateriałowe właściwości, takich jak biokompatybilność, biozgodność, brak reakcji alergicznych bądź toksycznych, a mając na uwadze rodzaj zastosowań historycznych posiada też odpowiednią wytrzymałość mechaniczną i zmęczeniową. Strukturalnie kość słoniowa charakteryzuje się siecią pustych kanalików, a pod mikroskopem przedstawia trójwymiarowe rusztowanie kolagenowe wypełnione hydroksyapatytem bogatym w magnez oraz wodę. Większą część kości słoniowej stanowi zębina pokryta od zewnątrz cementem będącym pochodną szkliwa, w której na przekroju prostopadle do osi kła widoczny jest naprzemienny wzór jasnociemnych linii zwanych liniami Schregera, charakterystycznych wyłącznie dla rzędu Trąbowców (Proboscidea), do których należą współczesne słonie. Wiele badań przypisuje tworzenie wzoru Schregera trójwymiarowemu ułożeniu kanalików zębinowych, jednakże może również wynikać ze specyficznej orientacji zmineralizowanych włókien kolagenowych. Stosowanie kości słoniowej oraz zasady przyjęte w celu

jej implantacji nakreśliły podstawy nowoczesnej chirurgii urazowo-ortopedycznej oraz rekonstrukcyjnej i nie uległy znaczącym modyfikacjom aż do czasów współczesnych. Fakt tak powszechnego wykorzystania kości słoniowej w chirurgii urazowo-ortopedycznej oraz przyjętych podczas jej stosowania reguł zespalandia kości został zapomniany na przestrzeni lat, a ona sama została stopniowo wyparta przez stal nierdzewną, odkrytą w 1913 roku w Sheffield przez Harrego Brearley'a . Analiza wyników zastosowania kości słoniowej przygotowana w niniejszej rozprawie doktorskiej, może przynieść postęp nad opracowywaniem nowych materiałów kośćciozastępczych, znajdujących zastosowanie w rekonstrukcjach ubytków powstałych po rozległych resekcjach nowotworów kości. Ze względu na duży odsetek powikłań wczesnych i odległych, charakterystyczny dla implantów poresekcyjnych ze stopów metalowych, istnieje potrzeba opracowania nowych, odpornych na kolonizację bakteryjną biomateriałów, mogących służyć jako samodzielne implanty rekonstrukcyjne lub jako powłoka dla implantów poresekcyjnych ze stopów metalowych.