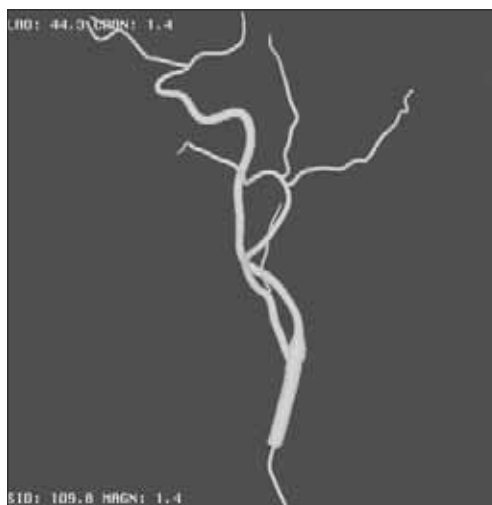


▲ **Tabela 1**

**ZALETY I ZASTOSOWANIE KLINICZNE ANGIOGRAFII ROTACYJNEJ 3D**

Zalety obrazowania	Korzyść kliniczna
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Poprawa pomiarów 3D</li> <li>▪ Minimalizacja artefaktów obrazowania</li> <li>▪ Zmniejszenie ilości środka kontrastowego i ekspozycji na promieniowanie</li> <li>▪ Akwizycja danych niezależna od operatora</li> <li>▪ Obrazowanie 3D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dokładność w określaniu wymiarów urządzeń wewnątrzsercowych</li> <li>▪ Określanie optymalnych projekcji</li> <li>▪ Zmniejszenie ryzyka neurotoksyczności</li> <li>▪ Standaryzacja badań obrazowych</li> <li>▪ Ułatwienie interpretacji</li> </ul>



▲ **Ryc. 3.**

Angiogram oraz obraz rekonstrukcji 3D tętnicy szyjnej. (Oryginalny obraz angiograficzny dzięki uprzejmości Dana McCormicka z Hahnemann University Hospital).

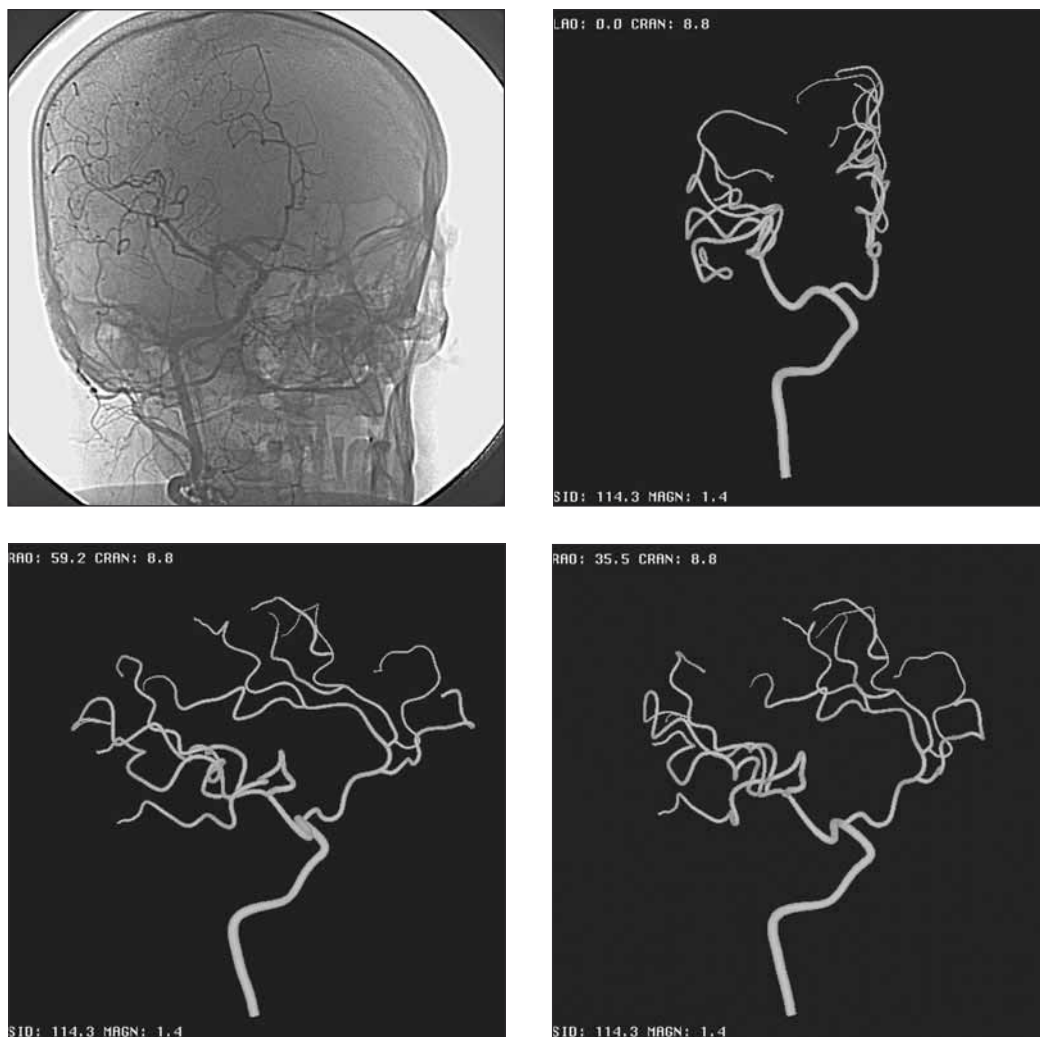
na relatywnie statyczną naturę naczyń mózgowych i obwodowych, objętościowa rekonstrukcja 3D wywodzi się z danych angiograficznych opisujących te właśnie systemy naczyniowe [28, 65]. Inaczej jest w przypadku krążenia wieńcowego, gdzie ciągły ruch i mały rozmiar naczyń utrudniają zastosowanie podobnych technik. Ostatnio opisano rekonstrukcję objętościową z zastosowaniem bramkowanej EKG rotacyjnej angiografii tętnic wieńcowych świni i hybrydową technikę łączącą 3D modelowanie z rekonstrukcją 3D objętościową tętnic wieńcowych u ludzi [27, 66]. W niedalekiej przyszłości dzięki rozwiązaniu ograniczeń technicznych rekonstrukcja objętościowa będzie prawdopodobnie odgrywać istotną rolę w dokładnej rekonstrukcji 3D naczyń.

**Angiografia 3D – zastosowania kliniczne**

Istotne są potencjalne zastosowania kliniczne tej dokładniejszej oraz bezpieczniejszej, w porównaniu z tradycyjną angiografią, techniki obrazowania. Podczas gdy metody nieinwazyjnego obrazowania prawdopodobnie nadal będą miały podstawowe znaczenie we wstępnym diagnozowaniu chorób naczyń obwodowych, mózgo-

wych oraz wieńcowych, nawet ważniejszą rolę będą pełniły w obrazowaniu angiograficznym podczas zabiegów interwencyjnych. Angiografia 3D przyczyni się do poprawy nie tylko dokładności tradycyjnych technik, ale wzrośnie również skuteczność zabiegów, zmniejszy się ekspozycja na kontrast i promieniowanie, a zabiegi będą mogły być wykonywane z precyzyjną nawigacją dzięki zastosowaniu nowych technik (tab. 1).

Ogólnie, angiograficzne techniki 3D wyeliminują lub zminimalizują wiele ograniczeń klinicznych tradycyjnej angiografii. Dzięki zastosowaniu angiografii 3D angiografista będzie w stanie zweryfikować błędnie ocenioną na podstawie obrazu 2D długość naczynia, określić ilościowo krętość naczynia oraz ustalić najlepszy kąt dla zobrazowania złożonych zmian w obrębie rozwidleń [18, 67]. Zastosowanie angiografii 3D umożliwi także dokładną i sprawną identyfikację właściwego nachylenia lampy, który pozwala na odpowiednią ocenę konkretnego segmentu naczynia. Przy zastosowaniu Optimal View Map™ [16] angiografista będzie mógł wybrać określony segment naczynia, a przez algorytm komputerowy opracowana zostanie optymalna projekcja minimalizująca skracanie przestrzenne oraz nakładanie się naczyń. Urządzenie to nie tylko zwiększy



▲ Ryc. 4.

Oryginalny angiogram i obrazy rekonstrukcji 3D w projekcji przednio-tylnej (**prawy górny panel**) oraz w projekcji prawej przedniej skośnej (**panele dolne**). (Oryginalny obraz angiograficzny dzięki uprzejmości Dana McCormicka z Hahnemann University Hospital).

skuteczność zabiegów interwencyjnych, ale spowoduje także zmniejszenie narażenia chorego na promieniowanie oraz zmniejszy zużycie środka kontrastowego, gdyż zabiegi będą wykonywane z dokładnością generowaną komputerowo.

Obecnie doświadczenie z zastosowaniem technik obrazowania 3D najbardziej zaawansowane jest w przypadku krążenia mózgowego. Zastosowanie obrazowania 3D bazującego na angiografii rotacyjnej oraz TK i MRI w praktyce klinicznej zapoczątkowano w ocenie krążenia mózgowego. W latach 70. XX w. użyto DSA w celu poprawy dokładności rozpoznawania złożonych nieprawidłowości mózgowo-naczyniowych. Tradycyjnie liczne projekcje skośne niezbędne były do dokładnej oceny skomplikowanej budowy tętniaków. W przypadku planowania leczenia przezskórnego lub zamykania za pomocą sprężynek [*coiling* – przyp. tłum.] często konieczne były dodatkowe projekcje w celu identyfikacji szypu-

ły tętniaka, naczyń dodatkowych lub innych aspektów anatomicznych ważnych dla przeprowadzenia zabiegu. Angiografia rotacyjna została połączona z technikami rekonstrukcji 3D w celu lepszego określenia anatomii mózgowej [ryc. 3 i 4 oraz zapis wideo tych rycin na dołączonym CD (oryginalny angiogram dzięki uprzejmości Daniela McCormicka, Hahnemann University Hospital)]. Jak wykazali Hochmuth i wsp., angiografia rotacyjna dostarczała ważnych informacji klinicznych i wykazywała przewagę nad tradycyjnymi technikami obrazowania DSA w angiograficznej ocenie tętniaków mózgu [50]. Angiografia trójwymiarowa może mieć także ważny wpływ na losy chorych. Jak wykazali Albuquerque i wsp., w grupie pacjentów poddawanych zabiegowi endowaskularnej embolizacji tętniaków mózgowych za pomocą *coili* (*coils*), angiografia rotacyjna 3D ułatwiała przeprowadzenie zabiegu oraz dostarczała krytycznych informacji, które modyfikowały technikę



▲ Ryc. 5.

Obraz trójwymiarowej rekonstrukcji aorty brzusznej. (Oryginalny obraz dzięki uprzejmości Medical Simulation Corporation and Krishna Rocha-Singh, Prairie Cardiovascular Consultants, Springfield, IL).

lub pozwalały uniknąć zbędnego leczenia [68]. Przy wizualnych, technicznych oraz klinicznych zaletach angiografii 3D w stosunku do tradycyjnej angiografii, 3D-RA staje się standardową metodą obrazowania w wielu pracowniach neuroradiologii zabiegowej.

Z powodu licznych trudności w obrazowaniu tętniczego drzewa wieńcowego, w przypadku angiografii wieńcowej 3D nastąpił mniejszy rozwój w porównaniu z obrazowaniem 3D krążenia mózgowo-naczyniowego. Wizualizacja oraz leczenie chorób sercowo-naczyniowych będzie się rozwijało, ponieważ ograniczenia techniczne są rozwiązywane, a do następnych cykli produkcyjnych systemów obrazowania angiograficznego wprowadzane są wydajne 3D oprogramowania angiograficzne. Angiografia trójwymiarowa może być stosowana w czasie rutynowych procedur diagnostycznych w celu poprawy ich dokładności oraz rozstrzygnięcia istotności wątpliwych zwężeń wykrytych podczas nieinwazyjnego obrazowania. W czasie zabiegów interwencyjnych angiografia 3D może być wykorzystywana w celu ustalenia optymalnej projekcji, która pozwoli na ujawnienie ekscentrycznych zmian, jak również dokładnie określi miejsce i pomoże w implantacji stentu wieńcowego o właściwym rozmiarze. Dzięki temu pacjent w czasie wykonywania zabiegu otrzyma mniej środka kontrastowego, a sam zabieg będzie trwał krócej, co pozwoli zmniejszyć ekspozycję na promieniowanie chorego, operatora i towarzyszącego personelu. Biorąc pod uwagę wzrastającą liczbę pacjentów z chorobami sercowo-naczyniowymi [69], angiografia 3D daje możliwość istotnego wpływu na praktykę kliniczną i prowadzenie chorych poddawanych procedurom inwazyjnym i interwencyjnym.

Tradycyjnie obrazowanie obwodowego systemu naczyniowego wykonywane jest przy zastosowaniu angiografii. Ostatnio wraz ze zdobywaniem doświad-

czenia w zakresie stosowania technik opierających się na TK oraz MRI metody obrazowania nieinwazyjnego mają coraz większe znaczenie w diagnostyce tętniaków, zwężenia tętnic nerkowych oraz chorobach tętnic obwodowych. Zabiegi interwencyjne przeprowadzane są przy zastosowaniu angiografii jako podstawowej metody obrazowania. Obecnie publikowane są wstępne doświadczenia kliniczne zastosowania angiografii 3D w diagnozowaniu i leczeniu chorób naczyń obwodowych [65, 70, 71]. Mając na uwadze względną łatwość obrazowania nieruchomych naczyń obwodowych, w przyszłości angiografia 3D prawdopodobnie będzie odgrywała główną rolę w endowaskularnym leczeniu tętniaków aorty, zwężeń tętnic nerkowych oraz okluzji tętnic biodrowych i udowych [ryc. 5 oraz wideo na dołączonym CD (oryginalny obraz dzięki uprzejmości Medical Simulation Corp. oraz Krishna Rocha-Singh, Prairie Cardiovascular Consultants, Springfield, IL)].

## Wnioski

Odnotowano szybko następujące zmiany oraz rozwój w zakresie trójwymiarowego obrazowania układu sercowo-naczyniowego, mózgowo-naczyniowego i naczyń obwodowych. Jakkolwiek tradycyjna angiografia stosowana jest od trzech dziesięcioleci, to angiografia 3D rozwiązuje wiele wcześniejszych ograniczeń spowodowanych obrazowaniem 2D struktur 3D. Zastosowanie angiografii 3D w krążeniu mózgowym dostarcza więcej klinicznie ważnych informacji niż tradycyjna cyfrowa angiografia subtrakcyjna. Chociaż doświadczenie z zastosowaniem angiografii 3D w ocenie tętnic wieńcowych i tętnic obwodowych jest ograniczone, wstępne badania wykazują poprawę diagnostycznego obrazowania w porównaniu z tradycyjną angiografią. Dzięki tej nowej technice obrazowania istnieje możliwość po-