

Piotr Radwan-Röhrenscheff<sup>1</sup>, Barbara Burakowska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>I Klinika Chorób Płuc, Instytut Gruźlicy i Chorób Płuc w Warszawie

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Jan Kuś

<sup>2</sup>Zakład Radiologii, Instytut Gruźlicy i Chorób Płuc w Warszawie

Kierownik: lek. med. Iwona Bestry

## Porównanie wartości diagnostycznej bronchoskopii wirtualnej i bronchofiberoskopii w diagnostyce centralnego guza płuca

### Virtual bronchoscopy and bronchofiberoscopy — a comparison of diagnostic value in assessment of centrally localized lung tumor

Praca sfinansowana ze środków statutowych Instytutu Gruźlicy i Chorób Płuc w ramach działalności naukowej

#### Abstract

**Introduction:** Virtual bronchoscopy (VB) is a new, noninvasive diagnostic technique which allows visualizing trachea and bronchi. Virtual images are created on the basis of data derived from helical CT scans using special protocol. A reconstructed, virtual image of the bronchial tree is very similar to that seen during conventional bronchofiberoscopy (FOB). The aim of the study was to compare VB images of the bronchi with those coming from FOB and evaluate diagnostic value of VB in centrally localized lung tumor.

**Material and methods:** The studied group consisted of 40 patients with suspicion of centrally localized lung cancer. Primary diagnosis was based on the chest X-ray. Each patient underwent CT and bronchofiberoscopy and after those routine procedures the VB analysis was performed. The results of the FOB were not known for radiologist performing VB. In both used methods, FOB and VB, the evaluation and comparison of the features of tumor presence, bronchial stenosis and widening of the carina were performed. In all 40 patients lung cancer was confirmed. The diagnosis was established by histopathologic examination of the tissue biopsy: 32 patients (80%) — non small cell lung cancer, 2 patients (5%) — small cell lung cancer, 5 patients (12.5%) — *squamous cell carcinoma*, 1 patient (2.5%) — carcinoid.

**Results:** Diagnostic value of VB in assessment of the for presence of the tumor in bronchus was: sensitivity 79.5%, specificity 95.5%, for bronchial stenosis: sensitivity 58.6%, specificity 98.1% and for widening of carina: sensitivity 60.7%, specificity 97.7%.

**Conclusion:** The results indicate that virtual bronchoscopy is highly sensitive and specific diagnostic method, a clinically valuable for the evaluation of lung tumor with a central location.

**Key words:** lung tumor, bronchofiberoscopy, computed tomography, virtual bronchoscopy

**Pneumonol. Alergol. Pol. 2012; 80, 2: 127–139**

#### Streszczenie

**Wstęp:** Bronchoskopia wirtualna (VB) jest nową, nieinwazyjną metodą obrazowania oskrzeli. Jej zasada opiera się na komputerowym przetworzeniu obrazów uzyskanych w trakcie wykonywania spiralnej tomografii komputerowej (CT). Badanie wykonuje się na tomografie wielorzędowym. Po przetworzeniu za pomocą specjalnego programu, uzyskuje się rekonstrukcję drzewa oskrzelowego odwzorowującą obraz widoczny w trakcie bronchofiberoskopii (FOB). Celem pracy była próba porównania obrazów drzewa oskrzelowego uzyskanych za pomocą VB i FOB.

**Materiał i metody:** Do badania zakwalifikowano 40 pacjentów z podejrzeniem guza płuca umiejscowionego centralnie, hospitalizowanych w I Klinice Instytutu Gruźlicy i Chorób Płuc w Warszawie. Rozpoznanie wstępne postawiono na podstawie zdjęcia przeglądowego klatki piersiowej (PA i boczne). Każdy pacjent miał wykonaną CT i FOB (badania rutynowe) oraz równoległe VB. Osoba wykonująca VB nie знаła wyniku badania FOB; również osoba wykonująca FOB nie znała wyniku VB.

**Adres do korespondencji:** dr n. med. Piotr Radwan-Röhrenscheff, I Klinika Chorób Płuc IGIChP, ul. Płocka 26, 01–138 Warszawa, tel.: (22) 431 21 47, e-mail: [p.radwan@igichp.edu.pl](mailto:p.radwan@igichp.edu.pl)

Praca wpłynęła do Redakcji: 20.05.2011 r.

Copyright © 2012 Via Medica

ISSN 0867–7077

Oceniano obecność guza w oskrzeli, obecność zwężenia oskrzela oraz obecność poszerzenia ostrogi. Następnie porównano wyniki uzyskane za pomocą FOB i VB. U wszystkich pacjentów na podstawie badania histopatologicznego uzyskano rozpoznanie raka płuca: 32 osoby (80%) — rak niedrobnokomórkowy bez dokładnego określenia rodzaju komórek, 5 osób (12,5%), — rak płaskonabłonkowy, 2 osoby (5%) — rak drobnokomórkowy, jeden chory (2,5%) — rakowiak.

**Wyniki:** W VB uzyskano następujące wyniki: dla obecności guza w oskrzeli czułość VB wynosiła 79,5%, a swoistość 95,5%, dla oceny zwężenia oskrzela czułość wynosiła 58,6%, swoistość 98,1%, dla oceny poszerzonej ostrogi — czułość 60,7%, swoistość 97,7%.

**Wnioski:** Uzyskane wyniki wskazują, że VB jest czułą i wysoce swoistą metodą diagnostyczną, wartościową klinicznie dla oceny guza płuca o centralnej lokalizacji.

**Słowa kluczowe:** guz płuca, bronchoskopia, tomografia komputerowa, bronchoskopia wirtualna

**Pneumonol. Alergol. Pol. 2012; 80, 2: 127–139**

## Wstęp

Rak płuca jest drugim co do częstości występowania nowotworem złośliwym u mężczyzn i trzecim pod względem częstości u kobiet. Stanowi 17% nowych zachorowań oraz 23% nowych zgonów. Według opublikowanych danych [1, 2] zapadalność na świecie (dane z 2008 roku) wynosiła dla mężczyzn 1 095 200 przypadków (wsk. zapadalności 47, 4/100 tys.), a dla kobiet 513 800 przypadków (wsk. zapadalności 18,6/100 tys.). Zarejestrowano odpowiednio 951 000 zgonów (wsk. umieralności 39,4/100 tys.) u mężczyzn i 417 000 zgonów (wsk. umieralności 13,6/100 tys.) u kobiet [2]. W Polsce wskaźniki zachorowalności i umieralności są jednymi z najwyższych spośród wszystkich krajów europejskich. W 2007 roku zarejestrowano 20 360 nowych przypadków raka płuca (15 742 u mężczyzn i 4618 u kobiet) [3]. Jest to najczęstszy nowotwór złośliwy u mężczyzn, a u kobiet zajmuje trzecie miejsce po raku piersi i raku jelita grubego.

Przytoczone powyżej dane wskazują, że diagnostyka guzów płuca powinna być priorytetem. Od wielu lat wykorzystuje się diagnostykę obrazową, czyli badanie radiologiczne klatki piersiowej i tomografię komputerową (CT, *computed tomography*), bronchoskopię (FOB, *fiberoptic bronchoscopy*) i bronchoskopię fluorescencyjną oraz metody biopsyjne. Dzięki rozwojowi techniki w ostatnich latach wprowadzono do diagnostyki guza płuca bronchoskopię wirtualną (VB, *virtual bronchoscopy*).

Bronchoskopia wirtualna jest badaniem radiologicznym. Jej działanie polega na przetworzeniu, za pomocą specjalnego oprogramowania, obrazu uzyskanego w tomografii spiralnej na obraz trójwymiarowy, podobny do uzyskiwanego w trakcie wykonywania bronchofiberoskopii. Do przetworzenia obrazu wykorzystuje się jeden z dwóch algorytmów: algorytm cieniujący powierzchnię (SSD, *surface shadow display*) lub algorytm perspektywicznego odtwarzania objętości (PVR, *per-*

*spective volume rendering*). Mechanizm powstawania obrazu opiera się na istnieniu naturalnego kontrastu pomiędzy światłem oskrzela wypełnionym powietrzem a otaczającą tkanką [4, 5] oraz na zróżnicowaniu współczynnika pochłaniania promieni rentgenowskich w CT.

Zastosowanie VB pozwala na anatomiczne obrazowanie dróg oddechowych i ocenę odmian anatomicznych, możliwość wielokrotnego oglądania zrekonstruowanego obrazu i ocenę lokalizacji zmian patologicznych (np. guzów, zwężeń). Technika VB umożliwia wirtualne „przejście” przez zwężenie i obejrzenie dalszego odcinka oskrzela poniżej zwężenia, obejrzenie guza zamykającego światło oskrzela „od spodu”. Dzięki zastosowaniu opcji częściowej „przezierności” ściany (w zależności od oprogramowania) pozwala na ocenę zmian położonych zewnątrzoskrzelowo (guzów, powiększonych węzłów chłonnych). Dodatkowo umożliwia obrazowanie oskrzeli u chorych po chemio-/radioterapii (ocena dynamiki zmian i drożności oskrzeli), po przeszczepieniu płuc i ocenę miejsca połączenia oskrzeli, diagnostykę i ocenę przetok oskrzelowych. Jest także unikalną formą treningu dla osób uczących się wykonywania bronchofiberoskopii. Główną zaletą VB jest nieinwazyjność, co oznacza możliwość wykonania badania u osób w cięższym stanie, nawet z niewydolnością krążeniowo-oddechową. Bardzo ważne jest także unikanie powikłań mogących wystąpić w trakcie bronchoskopii i po podaniu kontrastu, albowiem VB można wykonać bez środków kontrastujących. Ponadto VB nie wymaga sedacji.

Bronchoskopia wirtualna ma też kilka ograniczeń. Najistotniejszym z nich jest brak możliwości pobrania materiału biopsyjnego oraz brak możliwości oceny błony śluzowej oskrzeli [6]. Niemniej jednak, VB może mieć zastosowanie w diagnostyce centralnego i obwodowego guza płuca [5, 7]. Według różnych autorów czułość VB w wykrywaniu guza płuca wynosiła 83–90,9% [5, 8], w wykrywaniu zwężenia oskrzela 92,8–95% [7, 9]. Opi-

suje się też przydatność VB w diagnostyce ziarniakowatości Wegnera, zwężeń powstałych z innych, nienowotworowych przyczyn, u chorych po przeszczepieniu płuca, w diagnostyce zespołu Williama-Campbella, w ocenie zmian w przebiegu endometriozy wewnątrzoskrzelowej, w diagnostyce kłębczaka (ang. *glomus tumor*, łac. *glomangioma*) tchawicy i ucisku tchawicy w przebiegu zaawansowanej kyfozy oraz w ocenie anomalii rozwojowych. To ostatnie zastosowanie jest szczególnie przydatne w pediatrii [10–20].

### Cel pracy

Celem pracy była korelacja obrazu uzyskanego w technice VB z obrazem uzyskanym w FOB oraz ocena przydatności VB w określeniu umiejscowienia guza i zwężenia oskrzela. Oceniano trzy cechy mogące świadczyć o obecności guza w centralnych drogach oddechowych, a więc: obecność guza w świetle oskrzela, obecność zwężenia oskrzela oraz obecność poszerzenia ostrogi. Ponadto oceniono możliwość uzyskania prawidłowego rozpoznania w zależności od średnicy oskrzela.

### Materiał i metody

Badaną grupę stanowiło 40 chorych hospitalizowanych w I Klinice Chorób Płuc Instytutu Gruźlicy i Chorób Płuc w Warszawie w okresie od końca listopada 2004 roku do początku lutego 2007 roku z podejrzeniem centralnego guza płuca. Za zmianę centralną uważano zmianę wychodzącą z oskrzela głównego, płatowego lub segmentarnego widoczną na przeglądowym zdjęciu klatki piersiowej, jako poszerzenie wnęk bądź masa łącząca się ze śródpiersem [21]. W grupie tej było 22 mężczyzn i 18 kobiet, co odpowiednio stanowiło 55% i 45% badanej grupy. Wiek chorych zawierał się w przedziale pomiędzy 43. a 83. rokiem życia, średnio  $62,7 \pm 8,7$  roku.

Spośród badanych chorych 37 (92,5%) paliło papierosy, pozostałe trzy osoby (7,5%) były niepalące. U wszystkich badanych rozpoznano raka płuca na podstawie badania histopatologicznego wycinków pobranych w trakcie FOB i u części chorych badania cytologicznego płwociny i/lub wydzieliny oskrzelowej. Pod względem histopatologicznym rozpoznanie przedstawiało się następująco: 32 osoby (80% — rak niedrobnokomórkowy bez dokładnego określenia podtypu histologicznego, 5 — rak płaskonabłonkowy (12,5%), 2 — rak drobnokomórkowy (5%), jeden chory — rakowiak (2,5%). Radiologicznie u 25 chorych (62,5%) zmiany były zlokalizowane w prawym płucu, a u 15 pacjentów (37,5%) w płucu lewym.

U wszystkich chorych pierwszym badaniem diagnostycznym było przeglądowe zdjęcie radiologiczne klatki piersiowej. Podejrzenie guza zlokalizowanego centralnie stanowiło kryterium włączenia pacjenta do badanej grupy. Następnie u każdego pacjenta wykonano rutynowe badanie CT, którego wynik był podstawą do wykonania wirtualnej rekonstrukcji drzewa oskrzelowego. Badanie było wykonywane przy użyciu tomografu 16-rzędowego Somatom Sensation 16, firmy Siemens AG. Wszystkie badania były ocenione przez tego samego, doświadczonego radiologa.

Kolejnym etapem rutynowo przeprowadzanej diagnostyki była FOB, wykonywana zawsze przez tego samego klinicystę. Okres między tymi badaniami wynosił 1–5 dni, co wynikało z trybu pracy pracowni bronchoskopowej.

Po wykonaniu obu badań u danego pacjenta ujawniano ich wyniki i porównywano zgodność interpretacji.

Przy ocenie zgodności wyników FOB i VB brano pod uwagę następujące cechy:

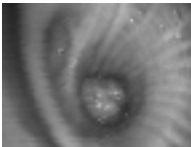

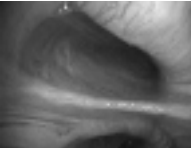
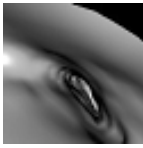


- obecność lub brak nieprawidłowej masy w oskrzelu/zamknięcia oskrzela,
- obecność lub brak zwężenia,
- obecność lub brak poszerzenia ostrogi głównej, płatowej lub segmentarnej (tab. 1).

### Technika wykonywania bronchoskopii

Badanie bronchofiberoskopowe było wykonywane w Pracowni Endoskopii Kliniki Chirurgii Klatki Piersiowej IGiChP po wcześniejszym uzyskaniu pisemnej zgody chorego. Wykorzystywano wideobronchoskopy firmy Pentax następujących typów: EB 1830, EB 1830T2, EB 1830T3, EB 1530T3 o średnicy zewnętrznej odpowiednio: 6,0 mm, 6,0 mm, 6,0 mm i 5,1 mm oraz kanale roboczym o średnicy odpowiednio: 2,0 mm, 2,6 mm, 2,6 mm i 2,0 mm. Pacjenci mieli wykonywaną bronchofiberoskopię w sposób standardowy zgodnie z wytycznymi [22], czyli w znieczuleniu miejscowym 2-procentowym roztworem lidokainy (Lignocain 2%, Braun) i 10-procentowym roztworem lidokainy (Egis Pharmaceuticals Ltd). W związku z negatywnymi doświadczeniami własnymi odstąpiono od premedykacji. Bronchofiberoskop był wprowadzany przez usta.

Oceniano całe dostępne badaniem drzewo oskrzelowe, czyli tchawicę, oba oskrzela główne, oskrzela płatowe i segmentarne oraz ostrogi. Ponadto oceniano wszystkie widoczne patologie wewnątrzoskrzelowe. Rutynowo pobierano wydzielinę oskrzelową do badania cytologicznego i bakterioskopowego oraz 2–4 wycinki z guza, za pomocą kleszczyków biopsyjnych o gładkich brze-

**Tabela 1. Wygląd ocenianych cech w bronchofiberoskopii (FOB) i bronchoskopii wirtualnej (VB)****Table 1. Features evaluated in FOB and VB**

| Opis zmiany               | Obraz zmiany w FOB  | Obraz zmiany w VB   |
|---------------------------|---|---|
| Guz w oskrzelu            |  |  |
| Zwężenie światła oskrzela |  |  |
| Poszerzenie ostrogi       |  |  |

gach miseczek (firmy Olympus lub Pentax, odpowiednimi do każdego rodzaju fibroskopu). Preparaty były oceniane przez histopatologa w trakcie rutynowego badania. Każde badanie było archiwizowane na taśmie magnetowidowej S-VHS.

### Technika wykonywania tomografii komputerowej

Tomografia komputerowa była wykonywana 1–4 dni przed FOB tomografem wielorzędowym (16-rzędowym) Somatom Sensation (Siemens AG) o następujących parametrach: 120 kV, 175 mA. W celu wykonania dokumentacji zdjęciowej wykonywano rekonstrukcję obrazu warstwami o grubości 5 mm, natomiast w celu wykonania VB — warstwami o grubości 2 mm. Współczynnik skoku (*pitch*) wynosił 1,125, a kolimacja 1,5. Badanie było archiwizowane na nośniku CD. Przed jego wykonaniem pacjenci pozostawali minimum 6 godzin na czczo. Każde badanie wykonywano z zastosowaniem niejonowego kontrastowego środka cieniującego w dawce 90 ml (Ultravist, Schering AG, Visipaque 320, Nycomed Imaging A.S., Optiray 350, Tyco Healthcare — wszystkie w dawce 90 ml). W trakcie badania pacjent znajdował się pod kontrolą personelu technicznego, pielęgniarki i lekarza radiologa. Całkowity czas badania wynosił 5–10 minut, z czego ekspozycja na promieniowanie rentgenowskie wynosiła kilka–kilkanaście sekund. Badanie było wykonywane w głębokim wdechu, w pozycji leżącej na plecach, w kierunku od głowy do stóp.

### Technika wykonywania bronchoskopii wirtualnej

Uzyskane obrazy tomograficzne były zapisywane w formacie *Digital Imaging and Communication in Medicine* (DICOM) i przesyłane do wtórnego opracowania. Do przetworzenia danych używano programu syngo Fly Through; wartość progowa współczynnika pochłaniania wiązki promieniowania (*threshold*) wynosiła  $-520$  HU (*Hounsfield unit*) z modyfikacjami zakresie od  $-400$  do  $-550$  HU (wg zaleceń De Wevera i wsp. [23]). Do rekonstrukcji używano matrycy  $512 \times 512$  i algorytmu rekonstrukcyjnego SSD, który pozwala na rekonstrukcję i interpretację objętości i powierzchni. W trakcie wykonywania rekonstrukcji VB używano nawigatora, zaczynając badanie od tchawicy poprzez oskrzela główne do obwodu. Nawigację wykonywano manualnie i badano całe dostępne drzewo oskrzelowe. Czas potrzebny do wykonania VB u jednego pacjenta wynosił od 15 do 30 minut. Każde badanie VB było archiwizowane na nośniku CD. Wynik badania VB był udostępniany lekarzowi wykonującemu bronchoskopię dopiero po wykonaniu i opisaniu bronchoskopii celem porównania zgodności obu badań.

### Metodyka oceny bronchoskopii wirtualnej

Porównano wyniki uzyskane za pomocą VB i FOB u tych samych pacjentów.

Typowo u każdego człowieka, bez anomalii rozwojowych w budowie drzewa oskrzelowego, wyróżnia się tchawicę oraz 28 oskrzeli do poziomu oskrzeli segmentarnych włącznie (główne, płątowe i segmentarne), czyli 15 po stronie prawej i 13 po stronie lewej. Wobec tego u 40 pacjentów ogółem znajduje się łącznie 1160 obszarów na różnych poziomach drzewa oskrzelowego. W przypadku oceny obecności lub braku nieprawidłowej masy w oskrzeli w obu metodach łącznie było możliwe ocenienie 988 obszarów. Ocena pozostałych 172 oskrzeli była niemożliwa w FOB i w związku z tym odpowiadające im obszary (możliwe do uwidocznienia w VB) nie były uwzględnione w wynikach.

Przy opisie wyniku bronchoskopii wirtualnej jako obecność guza kwalifikowano zarówno przypadek obecności nieprawidłowej masy w oskrzeli bez zamknięcia jego światła, jak i taki, kiedy było widoczne całkowite zamknięcie oskrzela.

Z kolei przy ocenie zwężenia oskrzela na 1160 obszarów drzewa oskrzelowego w obu metodach łącznie było możliwe ocenienie 968 obszarów. Ocena pozostałych 192 obszarów była niemożliwa w bronchofiberoskopii i w związku z tym odpowiadające im oskrzela (możliwe do uwidocznienia w VB) nie były uwzględnione w wynikach. Jako

zwężenie traktowano taką patologią, która w obrazie VB dawała zwężenie lejkwate, koncentryczne lub też był to ewidentny ucisk z zewnątrz, np. na jedną ze ścian tchawicy. Obecność nieprawidłowej masy w oskrzeli bez zamknięcia jego światła nie była kwalifikowana jako zwężenie oskrzela, ale jako guz, chociaż zazwyczaj zwęża ona światło oskrzela.

U człowieka do poziomu oskrzeli segmentarnych wyróżnia się 18 ostróg, co oznacza, że u 40 pacjentów jest 720 ostróg jako obszarów badania. Przy ocenie poszerzenia ostrogi w obu metodach u 40 pacjentów oceniono 604 ostrogi. Pozostałych 116 było niemożliwe do oceny bądź ich obraz nie mógłby być porównany z obrazem w FOB, który nie był dostępny.

### Analiza statystyczna wyników badań

Analizę statystyczną wyników badań wykonano za pomocą programu komputerowego STATISTICA 6,0 dla Windows XP. Zastosowano testy: chi-kwadrat z poprawką Yatesa do dwudzielczych tablic częstości oraz test-kwadrat do tablic wielodzielczych. Dla obydwu testów przyjęto jednakowo poziom istotności  $p \leq 0,05$ , zgodnie z ogólnie przyjętą konwencją obliczeń statystycznych.

### Wyniki

Ogólnie za pomocą VB stwierdzono obecność 53 nieprawidłowych mas/zamknięć oskrzela. Z kolei w bronchofiberoskopii, która była metodą

kontrolną, w sumie wykryto obecność 49 guzów. W 39 przypadkach był to ten sam guz, który rozpoznano w VB, co oznacza, że była to całkowita zgodność rozpoznań VB i FOB. W 14 przypadkach w VB wykazano obecność guza, a w rzeczywistości w badaniu FOB guz nie był widoczny (wynik fałszywie dodatni). W 10 przypadkach natomiast w VB nie stwierdzono obecności guza, który w badaniu bezpośrednim był widoczny (wynik fałszywie ujemny). W 925 obszarach nie wykazano żadnych zmian w VB, co zostało potwierdzone przez ocenę bronchofiberoskopową. Opisane wyniki wraz z rozkładem procentowym przedstawiono w tabeli 2.

W zbadanej grupie czułość VB w rozpoznawaniu guza wynosiła 79,6%, swoistość 98,5%, a odsetek zgodności wynosił 97,6 (CI [confidence interval] 96,4–98,4). Ponadto dokonano oceny tych zmian dla każdego oskrzela z osobna. Największą zgodność diagnostyczną pod względem obecności guza dokładnie w tym samym oskrzeli zaobserwowano w dużych oskrzelach, czyli w oskrzeli głównym lewym i prawym, obu oskrzelach górnopłatowych oraz oskrzeli dolnopłatowym lewym i prawym. Największą zgodność obserwowano w oskrzeli górnopłatowym prawym, gdzie na 10 zmian wykrytych w VB w bronchofiberoskopii potwierdzono 8, czyli 80%. U żadnego z pacjentów w obu metodach nie znaleziono zmian egzofitycznych w tchawicy (tab. 3, 4).

**Tabela 2. Rozkład wykrywalności guza w bronchofiberoskopii (FOB) i bronchoskopii wirtualnej (VB)**

**Table 2. Detection of the tumor in FOB and VB**

| FOB<br>VB    | Brak guza<br>n (%) | Widoczny guz<br>n (%) | Razem |
|--------------|--------------------|-----------------------|-------|
| Brak guza    | 925 (98,5)         | 10 (20,4)             | 935   |
| Widoczny guz | 14 (1,5)           | 39 (79,6)             | 53    |
| Razem        | 939 (100)          | 49 (100)              | 988   |

**Tabela 3. Analiza zgodności rozpoznań guza w bronchoskopii wirtualnej (VB) i bronchofiberoskopii (FOB) dla wszystkich oskrzeli (bez tchawicy) — strona prawa**

**Table 3. Analysis of the true and false diagnosis of the tumor in VB and FOB (without trachea) — right side**

| Rozpoznanie      | O.Gł. | O.G. | O.s.1 | O.s.2 | O.s.3 | O.P. | O.P.śr. | O.s.4 | O.s.5 | O.D. | O.s.6 | O.s.7 | O.s.8 | O.s.9 | O.s.10 |
|------------------|-------|------|-------|-------|-------|------|---------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Zgodne VB/FOB    | 3     | 8    | 4     | 0     | 2     | 3    | 2       | 0     | 0     | 1    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0      |
| Niezgodne VB/FOB | 1     | 2    | 1     | 1     | 1     | 1    | 1       | 0     | 1     | 0    | 1     | 0     | 1     | 0     | 0      |

Oznaczono:

O.Gł. — oskrzele główne, O.G. — oskrzele górnopłatowe, O.s.1 — oskrzele segmentu szczytowego, O.s.2 — oskrzele segmentu tylnego, O.s.3 — oskrzele segmentu przedniego, O.P. — oskrzele pośrednie, O.P.śr. — oskrzele płata środkowego, O.s.4 — oskrzele segmentu bocznego, O.s.5 — oskrzele segmentu przyśrodkowego, O.D. — oskrzele dolnopłatowe, O.s.6 — oskrzele segmentu szczytowego, O.s.7 — oskrzele segmentu podstawnego przyśrodkowego, O.s.8 — oskrzele segmentu podstawnego przedniego, O.s.9 — oskrzele segmentu podstawnego bocznego, O.s.10 — oskrzele segmentu podstawnego tylnego

**Tabela 4. Analiza zgodności rozpoznań guza w bronchoskopii wirtualnej (VB) i bronchofiberoskopii (FOB) dla wszystkich oskrzeli (bez tchawicy) — strona lewa****Table 4. Analysis of the true and false diagnosis of the tumor in VB and FOB (without trachea) — left side**

| Rozpoznanie      | O.Gf. | O.G. | O.G.W. | O.s.1+2 | O.s.3 | O.J. | O.s.4 | O.s.5 | O.D. | O.s.6 | O.s.8 | O.s.9 | O.s.10 |
|------------------|-------|------|--------|---------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|
| Zgodne VB/FOB    | 1     | 3    | 2      | 0       | 0     | 0    | 1     | 7     | 0    | 0     | 0     | 1     | 0      |
| Niezgodne VB/FOB | 2     | 1    | 0      | 1       | 0     | 1    | 1     | 0     | 1    | 3     | 1     | 1     | 2      |

Oznaczono:

O.Gf. — oskrzele główne, O.G. — oskrzele górnopłątowe, O.G.W — oskrzele gałęzi wstępującej, O.s.1+2 — oskrzele segmentu szczytowo-tylnego, O.s.3 — oskrzele segmentu przedniego, O.J. — oskrzele jęczyczka, O.s.4 — oskrzele jęczyczka górne, O.s.5 — oskrzele jęczyczka dolne, O.D. — oskrzele dolnopłątowe, O.s.6 — oskrzele segmentu szczytowego, O.s.8 — oskrzele segmentu podstawnego przedniego, O.s.9 — oskrzele segmentu podstawnego bocznego, O.s.10 — oskrzele segmentu podstawnego tylnego

**Tabela 5. Porównanie wyników bronchoskopii wirtualnej (VB) i bronchofiberoskopii (FOB) w zakresie obrazowania guza w zależności od średnicy oskrzela (nie uwzględniono tchawicy)****Table 5. The comparison of the results of VB and FOB in tumor imaging due to diameter of the bronchus (without trachea)**

| Obecność guza | Grupa 1 n (%) | Grupa 2 n (%) | Grupa 3 n (%) | Grupa 4 n (%) |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| VB(+)/FOB (+) | 7 (70)        | 19 (100)      | 4 (66,7)      | 9 (64,3)      |
| VB(-)/FOB (+) | 3 (30)        | 0 (0)         | 2 (33,3)      | 5 (35,7)      |
| VB(+)/FOB(-)  | 1             | 3             | 0             | 10            |
| VB(-)/FOB(-)  | 107           | 124           | 95            | 543           |
| Razem         | 118           | 146           | 101           | 567           |

Ponadto oceniano zdolność uwidocznienia guza w bronchoskopii wirtualnej w zależności od średnicy oskrzela. Ponieważ średnica oskrzeli na odpowiednich „piętrach” podziału jest zbliżona, dla celów pracy podzielono je na 4 grupy [24, 25]:

- grupa 1 — oskrzele główne prawe, oskrzele główne lewe oraz oskrzele pośrednie;
- grupa 2 — oskrzele górnopłątowe prawe, oskrzele górnopłątowe lewe, oskrzele dolnopłątowe prawe, oskrzele dolnopłątowe lewe;
- grupa 3 — oskrzele płata środkowego, oskrzele gałęzi wstępującej, oskrzele jęczyczka;
- grupa 4 — wszystkie oskrzela segmentarne.

Tchawica nie podlegała analizie, ponieważ w omawianym materiale nie stwierdzono obecności guza w tym obszarze u żadnego z pacjentów.

W grupie 1 wynik VB i FOB w ocenie obecności nieprawidłowej masy był zgodny w 7/10 przypadków, w grupie 2 w 19/19, w grupie 3 w 4/6, a w grupie 4 w 9/14 przypadków. Z kolei za pomocą VB w grupie 1 nie uwidoczniono 3/10 rzeczywiście istniejących guzów, w grupie 2 nie było takich zmian, w grupie 3 nie uwidoczniono 2/6 zmian, a w grupie 4 — 5/14 guzów (tab. 5).

Wirtualna bronchoskopia wykazała 14 wyników fałszywie dodatnich, czyli w grupie 1 — 1 wynik, w grupie 2 — 3 wyniki, w grupie 3 — 0 wyników i w grupie 4 — 10 wyników.

Zbadano też zależność trafnych rozpoznań VB i FOB w zależności od grupy, włączając do analizy także przypadki, w których zarówno VB, jak i FOB nie wykazały patologii. Rozkład przedstawiono w tabeli 5.

Dla ogólnie przyjętego poziomu istotności  $p \leq 0,05$  (test chi-kwadrat) nie stwierdzono istotnej różnicy w częstości uzyskania diagnozy metodą VB w zależności od kalibru oskrzela ( $p = 0,3448$ ). Stwierdzono natomiast statystycznie istotną zależność wykrywalności guza za pomocą VB od średnicy oskrzela ( $p = 0,0439$ ).

Kolejno oceniano przydatność VB w ocenie obecności lub braku zwężenia oskrzela. Przy zastosowaniu VB wykazano obecność 35 zwężeń; 17 z nich zgadzało się z tym, co było widoczne w FOB, przy czym 18 zwężeń było przeszacowanych, czyli stanowiło wynik fałszywie dodatni, a w 12 przypadkach w VB uzyskano wynik fałszywie ujemny (tab. 6).

Czułość VB dla oceny zwężenia oskrzela wynosiła 58,6%, swoistość VB 98,1%, a odsetek zgodności rozpoznań pomiędzy VB a FOB — 96,9 (CI 95,6–97,8). Ponadto dokonano oceny tych zmian dla każdego oskrzela z osobna. Największą zgodność diagnostyczną pod względem obecności zwężenia dokładnie w tym samym oskrzelu zaobserwowano w tchawicy i dużych oskrzelach, czyli

**Tabela 6. Rozkład wykrywalności zwężenia oskrzela w bronchofiberoskopii (FOB) i bronchoskopii wirtualnej (VB)****Table 6. Detection of the narrowing of the bronchus in FOB and VB**

| FOB<br>VB         | Brak zwężenia<br>n (%) | Widoczne zwężenie<br>n (%) | Razem |
|-------------------|------------------------|----------------------------|-------|
| Brak zwężenia     | 921 (98,1)             | 12 (41,4)                  | 933   |
| Widoczne zwężenie | 18 (1,9)               | 17 (58,6)                  | 35    |
| Razem             | 939 (100)              | 29 (100)                   | 968   |

**Tabela 7. Analiza zgodności rozpoznania zwężenia w bronchoskopii wirtualnej (VB) i bronchofiberoskopii (FOB) dla wszystkich oskrzeli — strona prawa****Table 7. Analysis of the true and false diagnosis of the narrowing of the bronchus in VB and FOB — right side**

| Rozpoznanie      | O.Gł. | O.G. | O.s.1 | O.s.2 | O.s.3 | O.P. | O.P.śr. | O.s.4 | O.s.5 | O.D. | O.s.6 | O.s.7 | O.s.8 | O.s.9 | O.s.10 |
|------------------|-------|------|-------|-------|-------|------|---------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Zgodne VB/FOB    | 5     | 0    | 0     | 1     | 0     | 3    | 1       | 0     | 0     | 1    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      |
| Niezgodne VB/FOB | 5     | 2    | 1     | 2     | 2     | 2    | 0       | 0     | 0     | 1    | 0     | 0     | 2     | 2     | 2      |

Oznaczono:

O.Gł. — oskrzela główne, O.G. — oskrzela górnopłatowe, O.s.1 — oskrzela segmentu szczytowego, O.s.2 — oskrzela segmentu tylnego, O.s.3 — oskrzela segmentu przedniego, O.P. — oskrzela pośrednie, O.P.śr. — oskrzela płata środkowego, O.s.4 — oskrzela segmentu bocznego, O.s.5 — oskrzela segmentu przyśrodkowego, O.D. — oskrzela dolnopłatowe, O.s.6 — oskrzela segmentu szczytowego, O.s.7 — oskrzela segmentu podstawnego przyśrodkowego, O.s.8 — oskrzela segmentu podstawnego przedniego, O.s.9 — oskrzela segmentu podstawnego bocznego, O.s.10 — oskrzela segmentu podstawnego tylnego

**Tabela 8. Analiza zgodności rozpoznania zwężenia w bronchoskopii wirtualnej (VB) i bronchofiberoskopii (FOB) dla wszystkich oskrzeli — strona lewa****Table 8. Analysis of the true and false diagnosis of the narrowing of the bronchus in VB and FOB — left side**

| Rozpoznanie      | O.Gł. | O.G. | O.G.W. | O.s.1+2 | O.s.3 | O.J. | O.s.4 | O.s.5 | O.D. | O.s.6 | O.s.8 | O.s.9 | O.s.10 |
|------------------|-------|------|--------|---------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|
| Zgodne VB/FOB    | 2     | 0    | 0      | 0       | 0     | 1    | 0     | 0     | 1    | 0     | 0     | 0     | 1      |
| Niezgodne VB/FOB | 0     | 0    | 0      | 0       | 0     | 2    | 0     | 0     | 1    | 2     | 0     | 0     | 0      |

Oznaczono:

O.Gł. — oskrzela główne, O.G. — oskrzela górnopłatowe, O.G.W. — oskrzela gałęzi wstępującej, O.s.1+2 — oskrzela segmentu szczytowo-tylnego, O.s.3 — oskrzela segmentu przedniego, O.J. — oskrzela języczka, O.s.4 — oskrzela języczka górna, O.s.5 — oskrzela języczka dolna, O.D. — oskrzela dolnopłatowe, O.s.6 — oskrzela segmentu szczytowego, O.s.8 — oskrzela segmentu podstawnego przedniego, O.s.9 — oskrzela segmentu podstawnego bocznego, O.s.10 — oskrzela segmentu podstawnego tylnego

oskrzela głównym lewym i prawym i oskrzela pośrednim. Całkowitą zgodność obserwowano w oskrzela pośrednim, gdzie na 3 zmiany wykryte w VB w bronchofiberoskopii potwierdzono je wszystkie, czyli 100% (tab. 7, 8).

Oceniano zdolność uwidocznienia zwężenia w bronchoskopii wirtualnej w zależności od średnicy oskrzela. W tchawicy wynik VB i FOB pokrywał się w 2 przypadkach, w 2 przypadkach wystąpił wynik fałszywie dodatni, a w jednym fałszywie ujemny. W grupie 1. wynik VB i FOB w ocenie uwidocznienia zwężenia oskrzela pokrywał się w 10/13 przypadków, w grupie 2. w 2/4, w grupie 3. w 2/2, a w grupie 4. w 1/7 przypadków. Z kolei za pomocą VB w grupie 1 nie uwidoczniono trzech rzeczywiście istniejących zwężeń, w grupie 2 dwóch zwężeń, w grupie

3 nie było takich zmian, a w grupie 4 — sześciu zwężeń. Ponadto w VB uzyskano w tych czterech grupach 16 wyników fałszywie dodatnich, czyli w grupie 1 — 4 wyniki, w grupie 2 — 2 wyniki, w grupie 3 — 2 wyniki i w grupie 4 — 8 wyników (tab. 9).

Największą zgodność rozpoznania VB i FOB uzyskano w grupie 1, czyli w oskrzelach o największej średnicy (76,9%), a najmniejszą w grupie 4, czyli oskrzelach o najmniejszej średnicy (14,3%). Zmiany w tchawicy nie były wliczone z tego powodu, że średnica tchawicy jest znacznie większa niż kolejnych oskrzeli, czyli oskrzeli głównych. Ponadto zbadano zależność trafnych rozpoznania VB i FOB w zależności od grupy, ale włączając w to te przypadki, w których zarówno VB, jak i FOB nie wykazały patologii. Rozkład przedstawiono w tabeli 9.

**Tabela 9. Porównanie wyników bronchoskopii wirtualnej (VB) i bronchofiberoskopii (FOB) w zakresie obrazowania zwężenia oskrzela w zależności od średnicy oskrzela (nie uwzględniono tchawicy)****Table 9. The comparison of the results of VB and FOB in bronchus narrowing imaging due to diameter of the bronchus (without trachea)**

| Zwężenie oskrzela | Grupa 1 n (%) | Grupa 2 n (%) | Grupa 3 n (%) | Grupa 4 n (%) |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| VB(+)/FOB(+)      | 10 (76,9)     | 2 (50)        | 2 (100)       | 1 (14,3)      |
| VB(-)/FOB(+)      | 3 (23,1)      | 2 (50)        | 0 (0)         | 6 (85,7)      |
| VB(+)/FOB(-)      | 4             | 2             | 2             | 8             |
| VB(-)/FOB(-)      | 100           | 141           | 99            | 547           |
| Razem             | 117           | 147           | 103           | 562           |

**Tabela 10. Rozkład wykrywalności poszerzenia ostrogi w bronchoskopii wirtualnej (VB) i bronchofiberoskopii (FOB)****Table 10. Detection of the widening of the carina in VB and FOB**

| FOB<br>VB            | Brak poszerzenia<br>n (%) | Widoczne poszerzenie<br>n (%) | Razem |
|----------------------|---------------------------|-------------------------------|-------|
| Brak poszerzenia     | 563 (97,7)                | 11 (40)                       | 574   |
| Widoczne poszerzenie | 13 (2,3)                  | 17 (60,7)                     | 30    |
| Razem                | 576 (100)                 | 28 (100)                      | 604   |

Dla ogólnie przyjętego poziomu istotności  $p \leq 0,05$  nie stwierdzono istotnej różnicy w częstości uzyskania diagnozy metodą VB w zależności od kalibru oskrzela ( $p = 0,2018$ ). Stwierdzono natomiast statystycznie istotną zależność wykrywalności zwężenia przez VB w zależności od średnicy oskrzela ( $p = 0,0300$ ) — im mniejsza była średnica oskrzela, tym gorsza była wykrywalność zwężenia oskrzela.

Trzecią badaną cechą stanowiła obecność poszerzenia ostrogi. Ogółem w VB u 40 pacjentów oceniono 604 ostrogi. Ocena pozostałych 116 ostróg była niemożliwa bądź ich obraz nie mógłby być porównany z obrazem w FOB, który nie był dostępny. W 563 przypadkach w VB nie wykryto poszerzonej ostrogi, co również potwierdził wynik FOB. Ogółem za pomocą VB wykryto 30 poszerzonych ostróg. W 17 przypadkach wyniki obu metod były zgodne co do wykrycia zmienionej ostrogi. W 13 przypadkach w VB opisano poszerzoną ostrogę, ale nie znalazło to potwierdzenia w badaniu FOB. W 11 przypadkach lekarz wykonujący VB ocenił ostrogę jako prawidłową, lekarz wykonujący bronchoskopię uznał ją natomiast za poszerzoną. Rozkład zgodności przedstawiono w tabeli 10.

Czułość VB dla rozpoznania poszerzenia ostrogi wynosiła 60,7%, swoistość 97,7%, a odsetek zgodności rozpoznań wynosił 96,0% (CI 94,2–97). W podziale na poszczególne ostrogi największą zgod-

nych rozpoznań obserwowano w przypadku ostrogi głównej, ostróg dużych oskrzeli oraz ostrogi pomiędzy segmentem przednim a tylnym oskrzela po stronie prawej. Największą zgodność obserwowano w odniesieniu do ostrogi górnopłatowej prawej, w mniejszym stopniu do ostrogi głównej.

## Omówienie

W badanym materiale własnym oceniano za pomocą VB obecność i lokalizację guza w oskrzeli. Wyniki badań porównywano z wynikami uzyskanymi w badaniu bronchoskopowym. U 40 badanych pacjentów wynik VB wykazał 53 guzy, natomiast FOB — 49. Zgodność obu metod w zakresie wykrywania i lokalizacji zmian uzyskano w 39 przypadkach. Czułość VB w tym przypadku wynosiła 79,6%. Ponadto obserwowano bardzo dobrą zgodność wykrywania tych fragmentów oskrzela, gdzie nie było zmian w obu metodach. Swoistość VB wynosiła 98,5% i była porównywalna ze wszystkimi wynikami z piśmiennictwa.

W jednej z pierwszych prac dotyczących VB z 1997 roku Fleiter i wsp. przebadali 20 chorych z potwierdzonym histopatologicznie rakiem płuca. U siedmiu pacjentów obserwowano guzy powodujące zwężenie światła oskrzela powyżej 50% lub też w całości je zamykające, kolejnych 4 pacjentów miało zamknięcie oskrzela przez ucisk z ze-



wnątrz (guz śródpiersia i powiększone węzły chłonne). U pozostałych 9 pacjentów wykryto guzy o mniejszej średnicy. Zmiany te dobrze korelowały z obrazem bronchoskopowym, co pozwoliło autorowi stwierdzić, że VB jest skuteczną metodą obrazowania przestrzennego zmian egzofitycznych [26]. W innej pracy Rapp-Bernhardt i wsp. opisali grupę 21 pacjentów z rakiem przełyku naciekającym drzewo oskrzelowe. Za pomocą VB wykryto zmiany w oskrzelach z czułością 93,8% i swoistością 99,7% [27]. W pracy Finkelsteina i wsp. wśród 32 pacjentów z rozpoznaniem raka płuca dziewięciu miało prawidłowy obraz oskrzeli zarówno w VB, jak i FOB. U 23 chorych znaleziono w sumie 35 patologii w badaniu bronchoskopowym. Rekonstrukcja wirtualna drzewa oskrzelowego pozwoliła na wykrycie 29 z nich, czyli 19 przypadków zamknięcia oskrzela, 9 mas wewnątrzoskrzelowych oraz jednej zmiany błony śluzowej. Ogólna czułość wynosiła 83%, a swoistość 100% [28]. Z kolei Lacasse i wsp. uzyskali jeszcze niższą czułość metody (76%) i z tego powodu uważają, że VB nie ma wystarczającej czułości, aby wiarygodnie wykrywać zmiany wewnątrzoskrzelowe. Trzeba jednak dodać, że w ich badaniu kolimacja wynosiła 3 mm, a więc była dwukrotnie większa niż zazwyczaj stosowana przy rekonstrukcji VB — co wpłynęło na większą liczbę niezgodnych rozpoznań [29]. Pierwsze cytowane prace dotyczyły tylko tchawicy i oskrzeli o dużej średnicy, czyli głównych, późniejsze również oskrzeli segmentarnych. Wyniki powyższych prac wskazują, że swoistość VB w grupie badanej przez autora niniejszej pracy (97,6%) jest podobna jak u innych badaczy. Jest to spowodowane dużą zgodnością rozpoznań w tej części przypadków, w której w badaniu VB nie wykryto guza i zostało to potwierdzone przez badanie FOB. Jest to zgodne z wynikami uzyskanymi przez Wojciechowskiego i wsp. [30].

W omawianej grupie uzyskano niższą niż u innych autorów czułość VB. Najczęstszą przyczyną wyników fałszywie ujemnych jest złe ustawienie wartości progowej współczynnika pochłaniania wiązki promieniowania — zbyt wysokie powoduje, że oskrzela są widziane jako szersze niż w rzeczywistości. Najczęściej w VB nie wykrywa się dynamicznych i niebyt nasilonych zwężeń oskrzeli segmentarnych [31]. W obecnym badaniu obserwowano 10 przypadków wyników fałszywie ujemnych. W 4 przypadkach był to mały guz niezwiązujący światła oskrzela — wszystkie te zmiany były zlokalizowane w końcowym odcinku oskrzela segmentarnego i była to druga zmiana u tego samego pacjenta (zmiana duża została wykryta prawidłowo). W jednym przypadku zamknięte było oskrze-

le segmentu 1 i 3 po stronie prawej, poszerzona była również ostroga segmentarna między oskrzelem 1 a 3 — w VB opisano zamknięcie oskrzela segmentu 3 oraz poszerzenie tej ostrogi. W trzech przypadkach mały guz był wybrzuszeniem błony śluzowej. W jednym przypadku w FOB był widoczny naciek guzowaty, natomiast VB pokazała to jako zwężenie bez wyodrębnienia zarysu guza. W ostatnim z analizowanych przypadków zmiana była widoczna w VB jako deformacja ściany, a w rzeczywistości okazała się guzem. Zmiany fałszywie ujemne występowały przede wszystkim w oskrzelach mniejszego kalibru. Najbardziej prawdopodobną tego przyczyną był fakt znacznie gorszej wykrywalności zmian w oskrzelach mniejszego kalibru, co wynika z zasad działania VB. W omawianym materiale obserwowano 14 wyników fałszywie dodatnich, co stanowiło 26,4% wszystkich guzów wykazanych przez VB. Po dodatkowej analizie materiału okazało się, że w 8 przypadkach w FOB była widoczna wydzielina oskrzelowa, w kolejnych 5 przypadkach w FOB opisano duże zwężenie > 90% (spowodowane naciekiem podśluzówkowym), natomiast w VB było to widoczne jako zamknięcie oskrzela, w jednym przypadku w FOB uwidoczniono „miękki” ucisk z zewnątrz zamykający światło oskrzela i ustępujący pod naporem końcówki fiberoskopu (ale w VB było to widoczne jako zamknięcie oskrzela). Podobnie Finkelstein i wsp. wśród przyczyn wyników fałszywie dodatnich wymienili obecność skrzepów i wydzieliny oskrzelowej w świetle oskrzela [8].

U większości badanych pacjentów w FOB obserwowano zamknięcie lub dużego stopnia zwężenie oskrzela, nieprzepuszczające końcówki fiberoskopu. Taka sytuacja nie pozwala na ocenę oskrzeli położonych dystalnie. Z tego powodu ich część (172 oskrzela) nie podlegała ocenie porównawczej. Bronchoskopia wirtualna pozwala na ocenę oskrzeli położonych poniżej guza lub zwężenia. W kilku przypadkach dokonano oceny oskrzeli położonych dystalnie, uwidaczniając zamknięcie dalszego odcinka oskrzela bądź też oskrzela prawidłowe. Taką sytuację w dwóch przypadkach obserwowali w swojej pracy Finkelstein i wsp. [32]. Cztery wyniki fałszywie dodatnie obserwowano w oskrzelach dużych, czyli oskrzela głównym lewym, górnopłatowym prawym i lewym, pozostałe w oskrzelach segmentarnych. Do głównych przyczyn wyników fałszywie dodatnich należą: zbyt niskie ustawienie wartości progowej współczynnika pochłaniania wiązki promieniowania (*threshold*) i obecność wydzieliny w drogach oskrzelowych. Zbyt niskie ustawienie *threshold* powoduje powstawanie dodatkowych struktur, między innymi pseudoko-

lumn czy pseudoguzów w ujściu oskrzeli [33]. Obecność wydzielin oskrzelowej jako czynnika wyników fałszywie dodatnich jest dyskutowana przez wielu autorów [34–36]. Przyczyną takich wyników może też być zła ocena lekarza opisującego badanie (dotyczy to wszystkich badań obrazowych, a różnice w ocenie mogą wystąpić, nawet jeżeli oceniającymi są osoby bardzo doświadczone).

Zbadano też zależność prawidłowego rozpoznania guza w VB od średnicy oskrzeli. Więcej guzów wykryto w oskrzelach o dużym kalibrze (grupa 1 i 2) i w badanym materiale stwierdzono statystycznie istotną zależność wykrywalności guza w VB od średnicy oskrzela ( $p = 0,0439$ ). Oznacza to, że VB lepiej wykazuje zmiany zlokalizowane w dużych oskrzelach. Wynika to z zasady działania tej metody, jest także zgodne z wynikami uzyskanymi przez innych autorów [29].

Drugą cechą, którą oceniano w badaniach wykonywanych w ramach prezentowanej pracy, była obecność lub brak zwężenia. Pod uwagę brano te zwężenia, które w VB i FOB nie były spowodowane przez obecny w świetle oskrzela guz. W sumie w VB wykryto 35 zwężeń, w tym 17 było potwierdzonych w bronchofiberoskopii. Czułość VB wykrywania zwężeń wynosiła 58,6%, a swoistość 98,1%. Stwierdzono dużą zgodność rozpoznań z FOB w tych przypadkach, gdzie nie było zwężenia. Najwięcej zgodnych ocen uzyskano dla oskrzela głównego prawego. W omawianym materiale uzyskano 18 wyników fałszywie dodatnich oraz 12 wyników fałszywie ujemnych. To spowodowało, że wartość diagnostyczna VB w odniesieniu do zwężeń była niższa niż u innych autorów. Trzeba jednak dodać, że zwężenia, które spowodował ewidentnie widoczny guz w VB, były wliczane do grupy guzów. Wielce prawdopodobne jest, że jeśliby włączyć zwężenia spowodowane przez guz, to wtedy czułość byłaby wyższa.

W jednej z pierwszych prac, wykonanej jeszcze na tomografie jednorzędowym, omówiono możliwości diagnostyczne VB [37]. Przebadano 20 pacjentów i w VB wśród innych patologii w 3 przypadkach wykazano obecność zwężenia oskrzeli. Już w następnym roku Ferretti i wsp. [7] opisali grupę 29 chorych, u których podejrzewano zwężenie dużych oskrzeli. W sumie wykazano 39 zwężeń (95%) u 27 pacjentów. Nie wykazano dwóch zwężeń, które były niewielkie ( $< 25\%$ ). W bronchoskopii wykazano 41 zwężeń: 30 z powodu choroby nowotworowej oraz 11 z innych przyczyn. Większa część wszystkich zwężeń, czyli 31, była spowodowana zmianami wewnątrzoskrzelowymi, 3 zwężenia wystąpiły na skutek nacieków podśluzówkowych, a 7 na skutek zmian zewnątrzoskrze-

lowych (ucisk z zewnątrz). Wykazano także, że lokalizacja zwężenia była zgodna z opisaną w bronchoskopii. Zwężenia prawidłowo ocenione znajdowały się w tchawicy i dużych oskrzelach, natomiast dwa niewykryte w oskrzelach segmentarnych. W cytowanym badaniu nie było możliwe odróżnienie zwężenia spowodowanego przez wewnątrzoskrzelowy guz, naciek podśluzówkowy czy ucisk z zewnątrz. To badanie było również wykonane na tomografie jednorzędowym.

W 2002 roku, a więc już po wprowadzeniu do użytku tomografów wielorzędowych, Hoppe i wsp. opublikowali omówioną już wcześniej ważną pracę dotyczącą oceny stopnia zwężenia dużych oskrzeli. Wykazali, że w VB prawidłowo oceniono 98% zwężeń, opisano dużą korelację wyników VB z FOB, a czułość metody wynosiła 90,9% [5]. Dwa lata później ta sama autorka opublikowała pracę dotyczącą wykrywania zwężeń w oskrzelach segmentarnych [34]. W badaniu bronchoskopowym wykryto 30 zwężeń w oskrzelach dużych i 10 w oskrzelach segmentarnych, w VB 32 w oskrzelach głównych i aż 22 w oskrzelach segmentarnych. Czułość VB w odniesieniu do dużych oskrzeli wynosiła 90% (swoistość 96,6%) i dla oskrzeli segmentarnych również 90% (swoistość 95,6%). Liczba rozpoznań fałszywie dodatnich w oskrzelach segmentarnych była jednak dwukrotnie większa (13 v. 5) niż w dużych oskrzelach, co spowodowało, że dodatnia wartość predykcyjna była niska (40,9%). Również w materiale własnym największą liczbę rozpoznań fałszywie dodatnich obserwowano w oskrzelach segmentarnych (50%).

Przyczyną wyników fałszywie dodatnich przy ocenie zwężenia oskrzela może być obecność wydzielin oskrzelowej, indywidualne zróżnicowanie średnicy oskrzeli, ruchy oddechowe i ruchy spowodowane czynnością serca oraz grubość warstwy rekonstrukcyjnej. Zaleca się rekonstrukcję warstwami 1–2 mm. Zastosowanie grubszych warstw prowadzi do wystąpienia nieregularności i zjawiska „falowania” ściany, określanego terminem artefaktu schodkowego *stair-stepping* [38–40]. Ponadto tak jak przy ocenie obecności guza w oskrzeli ważne jest właściwe ustawienie wartości progowej współczynnika pochłaniania wiązki promieniowania. Hoppe zaleca ustawienie jej dla oskrzeli segmentarnych w granicach niższych niż przy badaniu oskrzeli głównych, czyli w zakresie od –500 do –800 HU [5]. W omawianym materiale rozpoczęto rekonstrukcję, stosując wartość progową współczynnika pochłaniania wiązki promieniowania w zakresie od –400 do –550 HU (zalecanym dla dużych oskrzeli), zmieniając go w zakresie sugerowanym przez Hoppe przy ocenie oskrzeli seg-

mentarnych i subsegmentarnych tak, aby uzyskać jak najlepszy obraz. Kolejną przyczyną wyników fałszywie dodatnich lub ujemnych może być subiektywna ocena zwężenia. Przyczyną wyników fałszywie dodatnich może też być brak dobrej znajomości stosunków anatomicznych w klatce piersiowej i zła interpretacja zwężeń anatomicznych, takich jak modelowanie oskrzela głównego przez łuk aorty. Opisywano szczególnie częste przypadki fałszywie dodatnich rozpoznania zwężenia oskrzela w przypadku lokalizacji w języczku lub płacie środkowym [41, 42], co wynika z przebiegu tych oskrzeli. W trakcie wykonywania CT znajdują się one prawie równolegle do płaszczyzny wykonywania skanów poprzecznych. Inni autorzy uważają, że tak jak w przypadku innych oskrzeli, tak i tu przyczyną może być obecność wydzieliny oskrzelowej [34]. W materiale własnym obserwowano dwa wyniki fałszywie dodatnie w oskrzeli języczka i żadnego w oskrzeli płata środkowego. W dwóch wypadkach w FOB nie obserwowano zwężenia, w jednym był widoczny guz w świetle oskrzela. W 6 przypadkach w FOB obserwowano obecność wydzieliny oskrzelowej, co najprawdopodobniej dało obraz zwężenia oskrzela. W pozostałych przypadkach zwężenie widoczne w VB nie było widoczne w FOB z przyczyn, których nie udało się ustalić.

Obserwowano również 12 wyników fałszywie ujemnych. W przypadku zmiany tchawicy w FOB opisano ucisk z zewnątrz po stronie lewej, natomiast nie było to widoczne w VB. Opisano za to uchyłek po stronie przeciwnej. W 8 przypadkach w FOB obserwowano naciek podśluzówkowy wszystkich oskrzeli po stronie prawej dający zwężenie < 25%. Nie był on widoczny w VB. Taką sytuację opisali też w swojej pracy Ferretti i wsp. [7]. W pozostałych przypadkach nie udało się ustalić przyczyny ich wystąpienia.

Podjęto także próbę porównania uzyskanych wyników z lokalizacją zmiany. Największą zgodność obserwowano w wykrywaniu i lokalizacji zwężenia w oskrzelach o dużej średnicy, mniejszą — w oskrzelach wąskich. Jest to zgodne z wynikami pracy Hoppe i wsp. [34]. W materiale własnym z 17 wykrytych zwężeń 10 było zlokalizowanych w oskrzeli głównym lewym, prawym i pośrednim oraz 2 w tchawicy. Wojciechowski natomiast, porównując wykrywalność zwężeń dla oskrzeli głównych, płatowych i segmentarnych, wykazał, że przy zastosowaniu tomografii wielorzędowej czułość jest zbliżona (92,5% v. 89,9%). W materiale własnym tego nie obserwowano. Podobnie jak przy ocenie obecności guza badany materiał umownie podzielono na 4 grupy w za-

leżności od średnicy oskrzela. Porównując zgodność diagnozy uzyskanej w VB i FOB, nie stwierdzono istotnej statystycznie zależności zgodności diagnozy od średnicy oskrzela. Wykazano natomiast taką zależność w odniesieniu do wykrywalności zwężenia przez VB ( $p = 0,0300$ ). Na tej podstawie można wysnuć wniosek, że wykrywalność zwężeń powinna być największa w oskrzelach dużego kalibru.

Trzecią cechą ocenianą w bronchoskopii była obecność lub brak poszerzenia ostrogi. Ostroga może być poszerzona na skutek nacieku podśluzówkowego, obecności guza lub też rozepchnięcia jej przez powiększone węzły chłonne. Istnieje też duża zmienność osobnicza rozwoju drzewa oskrzelowego i zapewne z tego względu nie natrafiono w piśmiennictwie na pracę, która omawiałaby to zagadnienie w VB. Ponieważ w trakcie wykonywania VB w materiale własnym w części przypadków obserwowano poszerzenie ostrogi, to poddano ten fakt analizie. W materiale własnym oceniono w sumie 604 ostrogi, pozostałe 116 nie było dostępnych z tych samych powodów co część oskrzeli. W VB jako poszerzoną opisano ostrogę w 30 przypadkach. W 17 przypadkach to rozpoznanie było zgodne z oceną bronchoskopisty. W 13 przypadkach wykazano wyniki fałszywie dodatnie, a w 11 fałszywie ujemne. Czułość VB w tym przypadku wynosiła 60,7%, a swoistość 97,7%. Odsetek zgodności wynosił 96,0%. Najlepszy wynik zgodności rozpoznania obrazu VB z obrazem FOB uzyskano w odniesieniu do ostrogi górnopłatowej prawej i ostrogi głównej. W czterech przypadkach w obu badaniach potwierdzono poszerzenie ostrogi segmentarnej. Za pomocą VB wykazano obecność tylko ewidentnie poszerzonej ostrogi. We wszystkich przypadkach wyników fałszywie ujemnych w bronchoskopii obserwowano subtelne poszerzenie spowodowane naciekiem podśluzówkowym. Z kolei tam gdzie w VB wykazano wynik fałszywie dodatni, w większości przypadków w bronchoskopii była widoczna wydzielina oskrzelowa zlokalizowana w okolicy danej ostrogi. W siedmiu przypadkach przyczyny takiego wyniku nie udało się ustalić.

Bronchoskopia wirtualna nie umożliwia określenia przyczyny wystąpienia poszerzenia ostrogi. Tą techniką nie można też wykryć zmian błony śluzowej. Opisywano to zarówno w odniesieniu do starszych tomografów jednorzędowych [37], jak i nowszych, wielorzędowych [31]. Natomiast technika VB pozwala przy użyciu opcji „częściowej przezierności” na uwidocznienie powiększonego węzła chłonnego lub nieprawidłowej masy leżącej zewnątrzoskrzelowo [43]. Można poszukiwać takich węzłów, opierając się na wyniku CT, ale rów-

niez, jeśli dotyczy to na przykład ostrogi głównej czy górnopłatowej, poszukując najpierw w VB cech pośrednich, czyli poszerzenia ostrogi. Autorzy pracy uważają, że uwidocznienie poszerzonej ostrogi, zwłaszcza w połączeniu z informacją o powiększeniu węzła chłonnoego pod ostrogą, otrzymaną przy użyciu opcji „częściowej przezierności” ściany bądź osiowych skanów CT, może być pomocne w precyzyjniejszym, a co za tym idzie, skutkującym większym odsetkiem prawidłowych rozpoznaw, wykonaniu TBNA (*transbronchial needle aspiration or aspirate*).

### Podsumowanie

Podsumowując uzyskane wyniki, autorzy pracy uważają, że VB pozwala na uwidocznienie obecności i lokalizację patologicznej masy w oskrzeli. W materiale własnym czułość VB w wykryciu tej masy wynosiła 79,5%. Zgodność lokalizacji masy patologicznej w oskrzeli w VB i FOB była największa w oskrzelach o największej średnicy. W zależności od średnicy oskrzela wynosiła w grupie 1 — 70%, w grupie 2 — 100%, w grupie 3 — 66,7%, a w grupie 4 — 64,3%.

Natomiast ze znacznie mniejszą czułością (58,6%) w omawianym materiale uwidoczniono zwężenie światła oskrzela, co nie pozwala na wiarygodną ocenę obecności zwężenia oskrzela (szczególnie w zakresie oskrzeli mniejszego kalibru). Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że VB jest wartościową klinicznie metodą i znajduje zastosowanie w diagnostyce centralnie zlokalizowanego guza płuca. Dotyczy to zwłaszcza tych chorych, którzy z różnych przyczyn nie mogą mieć wykonanej FOB.

### Konflikt interesów

Autorzy nie zgłaszają konfliktu interesów.

### Piśmiennictwo

1. <http://www.who.int/cancer/resources/incidences/ec/>
2. Jemal A., Bray F., Center M., Ferlay J., Ward E., Forman D. Global cancer statistics. *Ca. Cancer J. Clin.* 2011; 61: 69–90.
3. Didkowska J., Wojciechowska U., Zatoński W. Nowotwory złośliwe w Polsce w 2007. Warszawa 2009; rozdz. 4–6: 31–112.
4. Rubin G., Beaulieu C., Argiro V. i wsp. Perspective volume rendering of CT and MR image: applications for endoscopic imaging. *Radiology* 1996; 199: 321–330.
5. Hoppe H., Walder B., Sonnenschein M., Vock P., Dinkel H.P. Multidetector CT virtual bronchoscopy to grade tracheobronchial stenosis. *AJR* 2002; 178: 1195–1200.
6. De Wever W., Bogaert J., Verschakelen J. Virtual bronchoscopy: Accuracy and usefulness — an overview. *Seminars in Ultrasound CT and MRI* 2005; 364–373.
7. Ferretti G., Knoplich J., Bricault I., Brambilla Ch., Coulomb M. Central airways stenoses: preliminary results of spiral-CT-generated virtual bronchoscopy simulations in 29 patients. *Eur. Radiol.* 1997; 7: 854–859.
8. Finkelstein S., Summers R., Nguyen D., Stewart J., Tretler J., Schrupp D. Virtual bronchoscopy for evaluation of malignant tumors of the thorax. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2002; 123: 967–972.
9. Burke A.J., Vining D.J., McGuirt W.F., Postma G., Browne J.D. Evaluation of airway obstruction using virtual endoscopy. *Laryngoscope* 2000; 110: 23–29.
10. Shitrit D., Vladislav P., Grubstein A., Bendayan D., Cohen M., Kramer M. Accuracy of virtual bronchoscopy for grading tracheobronchial stenosis — correlation with pulmonary function test and fiberoptic bronchoscopy. *Chest* 2005; 128: 3545–3550.
11. Summers R., Aggarwal N., Sneller M. i wsp. CT Virtual Bronchoscopy of the central airways in patients with Wegener's granulomatosis. *Chest* 2002; 121: 242–250.
12. Ferretti G., Bricault I., Coulomb M. Helical CT with multiplanar and three-dimensional reconstruction of nonneoplastic abnormalities of the trachea. *J. Comp. Assist. Tomograph.* 2001; 25: 400–406.
13. Moorjani N., Conn G., Rahamim J., Ring N. Virtual bronchoscopy and 3D spiral CT reconstructions in the management of kyphosis induced tracheal compression. *Thorax* 2004; 59: 272.
14. Ozvaran M., Baran M., Sogukpmar O. i wsp. Histopathological diagnosis of endobronchial endometriosis treated with argon laser. *Respirology* 2006; 11: 348–350.
15. Puma F., Carloni A., Casucci G., Puligheddu C., Urbani M., Porcaro G. Successful endoscopic Nd-Yag laser treatment of endobronchial endometriosis. *Chest* 2003; 124: 1168–1170.
16. Gore M., Joshi A., Nagarajan G., Iyer S.P., Kulkarni T., Khandelwal A. Virtual bronchoscopy for diagnosis of inhalation injury in burnt patients. *Burns* 2004; 30: 165–168.
17. McAdams H., Palmer S., Erasmus J. i wsp. Bronchial anastomotic complications in lung transplant recipients: virtual bronchoscopy for noninvasive assessment. *Radiology* 1998; 208: 689–695.
18. Haliloglu M., Ciftci A., Oto A. i wsp. CT virtual bronchoscopy in the evaluation of children with suspected foreign body aspiration. *Eur. J. Radiol.* 2003; 8: 188–192.
19. Konen E., Katz M., Rozenman J., Ben-Shlush A., Itzhak Y., Szeinberg A. Virtual bronchoscopy in children: early clinical experience. *AJR* 1998; 171: 1699–1702.
20. Matute J., Gordillo I., Garcia-Casillas M., Romero R., Lafuente J., Vazquez J. Fiberoptic bronchoscopy, 3-D reconstruction of the airway and virtual bronchoscopy in patients with airway malformations. Preliminary report. *Cir. Pediatr.* 2003; 3: 116–120.
21. Hansel D., Armstrong P., Lynch D., Page McAdams H. Imaging of diseases of the chest. *Radiological Clinics of North America* Elsevier Mosby 2005; 785–899.
22. Honeybourne D. British Thoracic Society guidelines on diagnostic flexible bronchoscopy. *Thorax* 2001; 56 (supl.): 1–21.
23. DeWever W., Vandecaveye V., Lanciotti S., Verschakelen J. Multidetector CT-generated virtual bronchoscopy: an illustrated review of the potential clinical indications. *Eur. Respir. J.* 2004; 23: 776–782.
24. Pirożyński M. Bronchofiberoskopia. *α-Medica Press* 1999; rozdz. 2: 11–18.
25. Maciejewski R., Jamroz A., Ciszewski S. Wymiary oskrzeli płatowych i segmentowych u człowieka. *Probl. Lek.* 1991; 30: 92–96.
26. Fleiter T., Merkle E., Aschoff A. i wsp. Comparison of real-time virtual and fiberoptic bronchoscopy in patients with bronchial carcinoma: opportunities and limitations. *AJR* 1997; 169: 1591–1595.
27. Rapp-Bernhardt U., Welte T., Budinger M., Bernhardt T. Comparison of three-dimensional virtual endoscopy with bronchoscopy in patients with oesophageal carcinoma infiltrating the tracheobronchial tree. *Br. J. Radiol.* 1998; 71: 1271–1278.
28. Finkelstein S., Schrupp D., Nguyen D., Hewitt S., Kunst T., Summers R. Comparative evaluation of super high-resolution CT scan and virtual bronchoscopy for the detection of tracheobronchial malignancies. *Chest* 2003; 124: 1834–1840.
29. Lacasse Y., Martel S., Hébert A., Carrier G., Raby B. Accuracy of virtual bronchoscopy to detect endobronchial lesions. *Ann. Thorac. Surg.* 2004; 77: 1774–1780.
30. Wojciechowski W., Urbanik A., Zieliński M., Młodkowski J., Marchal G., De Wever W. Wartość wirtualnej bronchoskopii tomografii komputerowej w ocenie zmian nowotworowych płuc. *Pol. J. Radiol.* 2006; 71: 25–35.
31. Jones C., Athanasiou T. Is virtual bronchoscopy an efficient diagnostic tool for thoracic surgeon? *Ann. Thorac. Surg.* 2005; 79: 365–374.

32. Finkelstein S., Summers R., Nguyen D., Schrump D. Virtual bronchoscopy for evaluation of airway disease. *Thorac. Surg. Clin.* 2004; 14: 79–86.
33. Chinn R., Yang G., Congleton J., Mellor J., Geddes D., Hansell D. Three-dimensional computed tomography bronchoscopy using clinical datasets: a comparison with fiberoptic bronchoscopy. *Clin. Radiol.* 1997; 52: 830–836.
34. Hoppe H., Dinkel H.P., Walder B., von Allmen G., Gugger M., Vock P. Grading airway stenosis down to the segmental levels using virtual bronchoscopy. *Chest* 2004; 125 (2): 704–711.
35. Liewald F., Lang G., Fleiter T., Sokiranski R., Halter G., Orend K. Comparison of virtual and fiberoptic bronchoscopy. *Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1998; 46: 361–364.
36. Aquino S., Vinnig D. Virtual bronchoscopy. *Clinics in chest medicine.* 1999; 20: 725–730.
37. Vining D., Liu K., Choplin R., Haponik E. Relationships of virtual reality endobronchial simulations to actual bronchoscopic Findings. *Chest* 1996; 109: 549–553.
38. Ferretti G., Vinnig D., David J., Knobloch J., Coulomb M. Tracheobronchial tree: three-dimensional spiral CT with bronchoscopic perspective. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1996; 20: 777–781.
39. Summers R., Shaw D., Shelhamer J. CT virtual bronchoscopy of simulated endobronchial lesions: effect of scanning, reconstruction, and display settings and potential pitfalls. *AJR* 1998; 170: 947–950.
40. Prokop M., Galanski M. *Spiralna i wielorzędowa tomografia komputerowa człowieka.* MediPage Sp., Warszawa 2007 rozdz. 2: 79–83.
41. Haponik E., Aquino S., Vinnig D. Virtual bronchoscopy. *Clin. Chest Med.* 1999; 20: 201–217.
42. Summers R., Feng D., Holland S., Sneller M., Shelhamer J. Virtual bronchoscopy: segmentation method for real time display. *Radiology* 1996; 200: 857–862.
43. Olszycki M., Góraj B., Zięba M. Wirtualna bronchoskopia — nowe narzędzie nieinwazyjnego obrazowania wnętrza dróg oddechowych uzyskane ze standardowego badania klatki piersiowej spiralną tomografią komputerową. *Pol. Merk. Lek.* 2001; 10: 436–441.