

Lek. Karolina Garbas

**Identyfikacja czynników prognostycznych niedoczynności
wypieracza u pacjentów z objawami z dolnych dróg
moczowych**

**Rozprawa na stopień doktora nauk medycznych i nauk o zdrowiu
w dyscyplinie nauki medyczne**

Promotor: dr hab. n. med. i n. o zdr. Łukasz Zapala

Promotor pomocniczy: dr n. med. Tomasz Piecha

Klinika Urologii Ogólnej, Onkologicznej i Czynnościowej Warszawskiego
Uniwersytetu Medycznego



Obrona rozprawy doktorskiej przed Radą Dyscypliny Nauk Medycznych
Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

Warszawa 2025 r.

Słowa kluczowe:

niedoczynność wypieracza, niewydolność mięśnia wypieracza pęcherza moczowego, niedoczynny wypieracz, objawy z dolnych dróg moczowych (LUTS), nieinwazyjne metody diagnostyczne, badanie urodynamiczne, czynniki predykcyjne

Keywords:

detrusor underactivity, underactive detrusor, lower urinary tract symptoms (LUTS), non-invasive diagnostic methods, urodynamics, predictive factors

Pracę dedykuję Moim Rodzicom oraz Karolowi.

Wykaz spójnego tematycznie cyklu publikacji, stanowiących pracę doktorską:

1. **Karolina Garbas**, Łukasz Zapała, Aleksander Ślusarczyk, Tomasz Piecha, Piotr Gwara, Aleksandra Żuk-Łapan, Hanna Piekarczyk, Piotr Zapała, Piotr Radziszewski. (A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS. *Int Urol Nephrol*. 2024 Nov;56(11):3485-3494. Epub 2024 May 31. PMID: 38819576; PMCID: PMC11464610.
doi: 10.1007/s11255-024-04093-7

Współczynnik oddziaływania (IF) 1.8; punktacja MNISW 70

2. **Karolina Garbas**, Łukasz Zapała, Aleksander Ślusarczyk, Tomasz Piecha, Piotr Radziszewski. Cracking the LUTS Code: a pre-urodynamic tool for DU vs. BOO diagnosis in female patients with non-neurogenic LUTS. *J. Clin. Med*. 2025, 14, 3674. doi: 10.3390/jcm14113674

Współczynnik oddziaływania (IF) 3.0; punktacja MNISW 140

3. **Karolina Garbas**, Łukasz Zapała, Aleksander Ślusarczyk, Hanna Piekarczyk, Tomasz Piecha, Piotr Radziszewski. Beyond Urodynamics: Non-Invasive Approaches to Diagnosing Detrusor Underactivity In Men With Lower Urinary Tract Symptoms – a systematic review. *BMC Urol*. 2025 Mar 6;25(1):44. PMID: 40050880; PMCID: PMC11887070.
doi: 10.1186/s12894-025-01722-w

Współczynnik oddziaływania (IF) 1.7; punktacja MNISW 70

Sumaryczny IF 6.5; punktacja MNISW 280

Spis treści

WYKAZ STOSOWANYCH SKRÓTÓW	6
STRESZCZENIE W JĘZYKU POLSKIM.....	8
STRESZCZENIE W JĘZYKU ANGIELSKIM	14
WSTĘP	19
DEFINICJA DU	19
EPIDEMIOLOGIA DU	19
PATOFIZJOLOGIA DU	20
OBJAWY DU	20
DIAGNOZOWANIE DU – ZŁOTY STANDARD	21
URODYNAMICZNE KRYTERIA DIAGNOSTYCZNE DU	22
UZASADNIENIE POTRZEBY OPRACOWANIA NIEINWAZYJNYCH METOD DIAGNOSTYCZNYCH DU	23
OBECNIE DOSTĘPNE NIEINWAZYJNE METODY DIAGNOSTYCZNE DU	24
UZASADNIENIE POŁĄCZENIA PUBLIKACJI W JEDEN ZBIÓR WRAZ Z KOMENTARZEM OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO	26
ZAŁOŻENIA I CEL PRACY	28
CELE PRACY	30
MATERIAŁY I METODY	31
<i>Badanie nr 1</i>	<i>31</i>
<i>Badanie nr 2</i>	<i>32</i>
<i>Badanie nr 3</i>	<i>33</i>
KOPIE OPUBLIKOWANYCH PRAC	35
PODSUMOWANIE I WNIOSKI	86
BIBLIOGRAFIA	90
OPINIA KOMISJI BIOETYCZNEJ	96
OŚWIADCZENIA WSPÓŁAUTORÓW	97

Wykaz stosowanych skrótów

DU – niedoczynność wypieracza, niewydolność mięśnia wypieracza (ang. detrusor underactivity)

LUTS – objawy z dolnych dróg moczowych (ang. lower urinary tract symptoms)

ICS – Międzynarodowe Towarzystwo Kontynencji (ang. International Continence Society)

OAB – pęcherz nadaktywny (ang. overactive bladder)

BOO – przeszkoda podpęcherzowa (ang. bladder outlet obstruction)

UDS – badanie urodynamiczne (ang. urodynamic study)

PFS – badanie ciśnieniowo-przepływowe (ang. pressure-flow study)

CLSS – Core Lower Urinary Tract Symptoms Score

UFL – uroflowmetria (ang. uroflowmetry)

PRISMA – Preferowane Zasady Raportowania Przeglądów Systematycznych i Metaanaliz (ang. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses)

QUADAS-2 – Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies 2

PPV – dodatnia wartość predykcyjna (ang. positive predictive value)

NPV – ujemna wartość predykcyjna (ang. negative predictive value)

AI – sztuczna inteligencja (ang. artificial intelligence)

DMT – grubość mięśnia wypieracza (ang. detrusor muscle thickness)

PVR – objętość zalegająca po mikcji (ang. post-void residual)

UAB – niedoczynność pęcherza moczowego (ang. underactive bladder)

EAU – Europejskie Towarzystwo Urologiczne (ang. European Association of Urology)

Qmax – szybkość maksymalnego przepływu (ang. maximum flow rate)

Pdet@Qmax – ciśnienie wygenerowane przez mięsień wypieracz podczas maksymalnego przepływu (ang. detrusor pressure at maximum flow rate)

BCI – wskaźnik kurczliwości pęcherza moczowego (ang. bladder contractility index)

DCI – wskaźnik kurczliwości wypieracza (ang. detrusor contractility index)

Qmean – średnia szybkość przepływu (ang. mean flow rate)

IPSS – Kwestionariusz Międzynarodowej Skali Punktowej Objawów Towarzyszących Chorobom Prostaty (ang. International Prostate Symptom Score)

BWT – grubość ściany pęcherza moczowego (ang. bladder wall thickness)

BOOI – wskaźnik przeszkody podpęcherzowej (ang. bladder outlet obstruction index)

BOOIf – wskaźnik przeszkody podpęcherzowej u kobiet (ang. female bladder outlet obstruction index)

PBS/IC – zespół bolesnego pęcherza moczowego/śródmiąższowe zapalenie pęcherza moczowego (ang. painful bladder syndrome/interstitial cystitis)

PICO – populacja, interwencja, kontrola, wynik (ang. population, intervention, control, outcome)

PVR-R – stosunek objętości zalegającej po mikcji do całkowitej objętości pęcherza (ang. post-void residual ratio)

SUFU – Towarzystwo Urodynamiki, Medycyny Miednicy Mniejszej Kobiet i Rekonstrukcji Urogenitalnej (ang. Society of Urodynamics, Female Pelvic Medicine and Urogenital Reconstruction)

DCI – wskaźnik kurczliwości wypieracza (ang. detrusor contractility index)

BVE – efektywność opróżniania pęcherza moczowego (ang. bladder voiding efficiency)

NO/ATP – tlenek azotu/adenozynotrójfosforan (ang. nitric oxide/adenosine triphosphate)

POP-Q – Pelvic Organ Prolapse Quantification System

PIP1 – prognozowane ciśnienie izowolumetryczne 1 (ang. projected isovolumetric pressure 1)

Streszczenie w języku polskim

Wstęp

Niedoczynność wypieracza (ang. detrusor underactivity, DU) jest jedną z często rozpoznawanych dysfunkcji urologicznych u pacjentów z objawami ze strony dolnych dróg moczowych (ang. lower urinary tract symptoms, LUTS). U mężczyzn poniżej 50. roku życia jej rozpowszechnienie szacuje się na 9–28 %, a odsetek ten rośnie w starszych grupach wiekowych. Mimo udokumentowanej częstości występowania, DU pozostaje schorzeniem słabo poznanym, a zasady jego diagnostyki i leczenia nie zostały dotychczas jednoznacznie określone. Zgodnie z definicją Międzynarodowego Towarzystwa Kontynencji (ang. International Continence Society, ICS), DU oznacza „*skurcz o zmniejszonej sile i/lub czasie trwania, skutkujący przedłużonym opróżnianiem pęcherza i/lub nieosiągnięciem całkowitego opróżnienia pęcherza w prawidłowym czasie*”. Rozpoznanie DU bywa utrudnione, ponieważ obraz kliniczny nakłada się na objawy pęcherza nadaktywnego (ang. overactive bladder, OAB) oraz przeszkody podpęcherzowej (ang. bladder outlet obstruction, BOO). W fazie gromadzenia moczu chorzy z DU mogą zgłaszać parcia naglące, częstomocz i nokturie lub, przeciwnie, rzadkie mikcje. Przy wzmożonym czuciu pęcherzowym dominują częste mikcje i parcia naglące, natomiast przy obniżonym – brak uczucia parcia, sporadyczne oddawanie moczu oraz, w skrajnych przypadkach, nietrzymanie moczu z przepełnienia. W fazie mikcji DU manifestuje się trudnością w rozpoczęciu mikcji, osłabionym strumieniem, koniecznością wspomagania się tłocznią brzuszną i uczuciem niepełnego opróżnienia pęcherza, co klinicznie naśladuje obraz BOO. Dokładne różnicowanie obu jednostek jest kluczowe, gdyż pacjenci z DU nie odnoszą takich korzyści z leczenia zabiegowego, jak chorzy z BOO.

Zgodnie z wytycznymi ICS inwazyjne badanie urodynamiczne (ang. urodynamic study, UDS), obejmujące cystometrię i badanie ciśnieniowo-przepływowe (ang. pressure-flow study, PFS), pozostaje złotym standardem diagnostycznym DU. W praktyce jednak kryteria interpretacji UDS są nie w pełni ujednolicone i różnią się między ośrodkami oraz pomiędzy obowiązującymi rekomendacjami. Procedura wymaga specjalistycznego sprzętu, jest czasochłonna, a właściwa interpretacja jest możliwa wyłącznie przez wykwalifikowanych specjalistów w zakresie urologii czynnościowej. Badanie wiąże się także z dyskomfortem oraz ryzykiem zakażenia układu moczowego, a ponadto wymaga

ściślejszej współpracy pacjenta z lekarzem podczas wypełniania i opróżniania pęcherza. U osób starszych lub z ograniczoną sprawnością fizyczną i poznawczą kooperacja ta bywa utrudniona, co niekiedy prowadzi do przerwania badania lub uzyskania niediagnostycznych wyników. Z tych przyczyn część chorych rezygnuje z UDS, a zapotrzebowanie na nieinwazyjne, tańsze i łatwiej dostępne metody diagnostyczne stale rośnie, zwłaszcza w sytuacjach, gdy PFS jest niedostępne lub nieakceptowane przez pacjenta.

Cel

Celem niniejszej pracy była identyfikacja nieinwazyjnych czynników prognostycznych występowania DU, dostępnych bez przeprowadzenia inwazyjnego badania PFS u mężczyzn (badanie nr 1) oraz u kobiet (badanie nr 2) z nieneurogennymi LUTS, a także krytyczna analiza i ocena dostępnych w piśmiennictwie, nieinwazyjnych metod rozpoznawania DU u mężczyzn z nieneurogennymi LUTS, przeprowadzona w formie przeglądu systematycznego (badanie nr 3).

Materiały i metody

Do retrospektywnego badania obserwacyjnego (badanie nr 1) włączono 229 mężczyzn z nieneurogennymi LUTS, u których w jednym z dwóch referencyjnych ośrodków urodynamicznych wykonano PFS i rozpoznano DU oraz/lub BOO. Przeanalizowano historię medyczną pacjentów, w tym choroby współistniejące i przyjmowane leki, wraz z wynikami kwestionariusza Core Lower Urinary Tracts Symptoms Score (CLSS), uroflowmetrii (ang. uroflowmetry, UFL) oraz PFS. Do badania włączono wyłącznie mężczyzn ≥ 18 r.ż. z LUTS, u których PFS potwierdziło DU lub BOO, bezpośrednio przed PFS wykonano UFL z objętością mikcji > 150 ml oraz uzyskano ich świadomą zgodę. Kryteria wyłączenia stanowiły: dodatni wynik posiewu moczu, pęcherz neurogeny, przewlekłe zapalenie gruczołu krokowego, śródmiąższowe zapalenie pęcherza moczowego, rak pęcherza moczowego, rak stercza, kamica pęcherza moczowego, wcześniejsza operacja łagodnego rozrostu gruczołu krokowego, niekompletne dane. DU rozpoznawano, gdy BCI ($BCI = Pdet@Qmax + 5 \times Qmax$) był niższy niż 100, zaś BOO, gdy wartość BOOI, wyznaczonego równaniem $BOOI = Pdet@Qmax - 2 \times Qmax$, przekraczała 40. Regresję logistyczną zastosowano zarówno w analizie jednoczynnikowej, jak i wieloczynnikowej. Analizę wieloczynnikową przeprowadzono przy użyciu krokowego doboru zmiennych, które okazały się istotne

w analizach jednoczynnikowych. Dodatkowe zmienne zostały uwzględnione z uwagi na ich znaczenie kliniczne i wcześniej ustalony związek z występowaniem DU.

Do drugiego retrospektywnego badania obserwacyjnego (badanie nr 2) włączono 88 kobiet z nieneurogennymi LUTS, u których wykonano UFL oraz badanie PFS, i rozpoznano DU lub BOO. Analizie poddano dane kliniczne obejmujące choroby współistniejące, stosowaną farmakoterapię, wyniki kwestionariusza CLSS, badanie fizykalne oraz ocenę stopnia obniżenia narządów miednicy mniejszej według skali POP-Q (Pelvic Organ Prolapse Quantification System). Do badania włączano pacjentki ≥ 18 r.ż. z LUTS, u których UFL wykazała objętość miki > 150 ml, a PFS potwierdziło DU bądź BOO. Z badania wykluczono chorych z dodatnim wynikiem posiewu moczu, pęcherzem neurogennym, zespołem bolesnego pęcherza moczowego/śródmiaższowym zapaleniem pęcherza (ang. painful bladder syndrome/interstitial cystitis, PBS/IC), rakiem pęcherza lub z niekompletną dokumentacją bądź niejednoznacznym PFS. DU definiowano na podstawie prognozowanego ciśnienia izowolumetrycznego (ang. projected isovolumetric pressure 1, PIP1), obliczanego równaniem $PIP1 = P_{det}@Q_{max} + Q_{max}$, gdzie wartość < 30 wskazywała na DU. BOO rozpoznawano, gdy żeński indeks BOO (ang. female bladder outlet obstruction index, BOOIf), wyliczany ze wzoru $BOOIf = P_{det}@Q_{max} - 2,2 \times Q_{max}$, przekraczał 18. Zmienne ciągłe porównywano testem U Manna-Whitneya, a kategoryczne testem Fishera. Następnie zależności oceniano regresją logistyczną: najpierw w analizach jednoczynnikowych, następnie w analizie wieloczynnikowej z krokową selekcją zmiennych (próg włączenia i usunięcia $p = 0,20$), pozostawiając jedynie statystycznie istotne predyktory.

Systematyczny przegląd literatury (badanie nr 3) przeprowadzono zgodnie z wytycznymi PRISMA. W czerwcu 2024 r. przeszukano bazy Medline, Scopus oraz Web of Science, identyfikując potencjalnie istotne publikacje dotyczące nieinwazyjnych metod diagnostycznych DU u mężczyzn z nieneurogennymi LUTS. Do analizy włączono wyłącznie pełnotekstowe, oryginalne artykuły w języku angielskim, opublikowane po 2000 r., które: oceniały dowolną nieinwazyjną technikę diagnostyczną DU u mężczyzn, przyjmowały PFS jako standard referencyjny oraz podawały parametry dokładności diagnostycznej. Do oceny jakości metodologicznej i ryzyka błędu systematycznego wykorzystano narzędzie oceny krytycznej Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies 2 (QUADAS-2).

Wyniki

Ostateczny model wieloczynnikowy, przewidujący rozpoznanie DU u mężczyzn z nieneurogennymi LUTS i pozwalający na odróżnienie jej od BOO, obejmował dziesięć czynników: objawy kliniczne, wyniki kwestionariusza CLSS, parametry uroflowmetryczne i kształt krzywej swobodnego przepływu. Wykazano, że częstsze występowanie przerywanego oddawania moczu (OR 2,33; 95% CI 1,08-5,00; $p = 0,03$), rzadsze występowanie nokturii (OR 0,27; 95% CI 0,12-0,61; $p < 0,002$), rzadsze występowanie słabego strumienia moczu (OR 0,14; 95% CI 0,05-0,42; $p = 0,0004$), niższy wynik uzyskany w punktacji CLSS dotyczący użycia tłoczni brzusznej (OR 0,67; 95% CI 0,48-0,94; $p = 0,02$), wyższy wynik w punktacji CLSS dotyczący osłabionego strumienia (OR 1,81; 95% CI 1,24-2,63; $p = 0,002$), wyższy wynik w punktacji CLSS dotyczący niepełnego opróżniania pęcherza moczowego (OR 1,31; 95% CI 1,05-1,63; $p < 0,02$), niższy współczynnik PVR (OR 0,20; 95% CI 0,05-0,87; $p = 0,03$) oraz obecność zmiennego kształtu (OR 2,00; 95% CI 0,99-4,05; $p = 0,05$), zmiennego-przerywanego kształtu (OR 3,09; 95% CI 1,39-6,86; $p < 0,006$) i przerywanego kształtu krzywej swobodnego przepływu (OR 8,11; 95% CI 0,80-82,50; $p = 0,076$) były istotnymi czynnikami prognostycznymi diagnozy DU w PFS. Model osiągnął wskaźnik zgodności Harrella (C-index) równy 0,783. Czułość, swoistość, dodatnia wartość predykcyjna (ang. positive predictive value, PPV) i ujemna wartość predykcyjna (ang. negative predictive value, NPV) tych klinicznych kryteriów diagnostycznych dla urodynamicznego rozpoznania DU wyniosły, odpowiednio, 75,8%, 62,4%, 71,9% i 67,0%.

Model predykcyjny opracowany w badaniu 3 wykazał, że występowanie uczucia niepełnego opróżnienia pęcherza (OR = 3,52; 95% CI: 1,27–9,79; $p = 0,016$), objawu trudności w rozpoczęciu mikcji (OR = 2,06; 95% CI: 0,71–5,98; $p = 0,18$), stopnia obniżenia narządów miednicy mniejszej niż POP-Q 3 (OR = 0,15; 95% CI: 0,03–0,75; $p = 0,02$) oraz wydłużonego czasu do osiągnięcia Qmax w UFL (OR = 1,05; 95% CI: 1,02–1,09; $p = 0,004$) były istotnymi predyktorami rozpoznania DU u kobiet z nieneurogennymi LUTS spowodowanymi DU lub BOO. Model ten osiągnął wartość współczynnika zgodności Harrella (C-index) równą 0,78. W celu oceny dokładności diagnostycznej modelu zastosowano próg prawdopodobieństwa 0,3. Ostateczne kryteria kliniczne dla rozpoznania DU potwierdzonego urodynamicznie wykazały czułość 86,8%, swoistość 46%, PPV 55% oraz NPV 82,1%.

Do przeglądu systematycznego włączono 18 badań obejmujących łącznie 7390 pacjentów, w tym 3194 z urodynamicznie potwierdzoną DU. Oceniane metody diagnostyczne uwzględniały dane kliniczne, parametry ultrasonograficzne, biomarkery,

wyniki UFL, kwestionariusze objawowe oraz modele tworzone z wykorzystaniem sztucznej inteligencji (ang. artificial intelligence, AI) i uczenia maszynowego. Kwestionariusz objawów DUA-SQ okazał się metodą o najwyższej czułości (95,8%) i swoistości (95,4%), podczas gdy grubość mięśnia wypieracza (ang. detrusor muscle thickness, DMT) w badaniu ultrasonograficznym, w połączeniu z pojemnością pęcherza moczowego, wykazała 100% swoistość, ale ograniczoną czułość na poziomie 42%. Parametry uroflowmetryczne, w szczególności obecność krzywych „piłokształtnych” i „przerywanych”, wykazały, odpowiednio, czułość 80% i swoistość 87%. Wśród analizowanych biomarkerów stężenie adiponektyny w surowicy uzyskało czułość na poziomie 79% przy swoistości 90%, natomiast stosunek tlenku azotu do adenozynotrójfosforanu (ang. nitric oxide/adenosine triphosphate, NO/ATP) w moczu osiągnął czułość 88,5% i swoistość 88,9%. Modele predykcyjne oparte na AI odznaczały się czułością od 65,9% do 79,7% oraz swoistością w zakresie 68,9–88,7%. Ze względu na niską jakość i heterogeniczność danych, nie przeprowadzono metaanalizy.

Wnioski

Opracowane w niniejszej pracy modele predykcyjne – oddzielnie dla kobiet i mężczyzn – oferują nieinwazyjną alternatywę względem inwazyjnego UDS w różnicowaniu DU i BOO u pacjentów z nieneurogennymi LUTS. Modele można z łatwością zastosować już podczas pierwszej wizyty ambulatoryjnej, łącząc szczegółowy wywiad, ocenę objawów kwestionariuszem CLSS, badanie fizykalne oraz analizę UFL. Takie postępowanie jest szybkie, kosztowo efektywne i szczególnie wartościowe u pacjentów niechętnych inwazyjnej diagnostyce lub obarczonych wysokim ryzykiem infekcji. Po odpowiedniej walidacji modele mogą umożliwić szybszą diagnozę, wczesne wdrożenie właściwego leczenia i skuteczniejszą kontrolę objawów DU bądź BOO. Przegląd dostępnych nieinwazyjnych metod – obejmujących parametry ultrasonograficzne, biomarkery, analizę UFL, kwestionariusze objawowe oraz modele oparte na sztucznej inteligencji – potwierdza ich potencjał diagnostyczny i przewagę pod względem bezpieczeństwa i komfortu nad klasycznymi badaniami urodynamicznymi. Jednocześnie wykazano, że żadna z tych technologii nie jest wolna od ograniczeń, takich jak zmienna dokładność, brak niezależnej walidacji czy niejednolite warunki testowe. Zebranie i krytyczna ocena aktualnych dowodów czyni niniejszą pracę użytecznym kompendium dla klinicystów poszukujących nowoczesnych, nieinwazyjnych strategii diagnostyki DU oraz stanowi punkt wyjścia do dalszych badań. Przegląd wskazuje również kluczowe luki w aktualnej

wiedzy oraz podkreśla potrzebę opracowania spersonalizowanych narzędzi diagnostycznych, dostosowanych do profilu klinicznego poszczególnych pacjentów.

Streszczenie w języku angielskim

Title

Identification of prognostic factors for detrusor underactivity in patients with lower urinary tract symptoms

Abstract

Introduction

Detrusor underactivity (DU) is one of the most frequently diagnosed urological dysfunctions in patients presenting with lower urinary tract symptoms (LUTS). Among men younger than 50 years its prevalence is estimated at 9–28 %, and this proportion increases in older age groups. Despite its documented frequency, DU remains poorly understood, and universally accepted standards for its diagnosis and management have yet to be established. According to the International Continence Society (ICS), DU is defined as *“a contraction of reduced strength and/or duration resulting in prolonged bladder emptying and/or failure to achieve complete bladder emptying within a normal time span”*. Clinical recognition is challenging because its presentation overlaps with that of overactive bladder (OAB) and bladder outlet obstruction (BOO).

During the storage phase, patients with DU may experience urgency, increased daytime frequency, and nocturia or, conversely, infrequent voiding. If bladder sensation is heightened, frequent voiding and urgency predominate; when sensation is diminished, the urge to void is absent, voiding occurs only sporadically, and - in severe cases - overflow incontinence may develop. In the voiding phase, DU presents as hesitancy, a weak urinary stream, reliance on abdominal straining, and a persistent sensation of incomplete bladder emptying, thereby clinically mimicking BOO. Accurate differentiation is crucial, because patients with DU derive less benefit from surgical treatment than those with BOO.

According to ICS guidelines, invasive urodynamic testing—comprising cystometry and pressure-flow study (PFS)—remains the diagnostic gold standard for DU. In practice, however, diagnostic criteria are not fully standardized and vary among centers and across existing recommendations. The examination requires specialized equipment, is time-consuming, and its results can be reliably interpreted only by experienced functional-urology specialists. The procedure is also associated with patient discomfort and a risk of

urology specialists. The procedure is also associated with patient discomfort and a risk of urinary-tract infection, and it demands close patient cooperation during bladder filling and voiding. In elderly individuals or those with physical or cognitive limitations this cooperation may be difficult, leading to prematurely terminated studies or inconclusive findings. Consequently, a proportion of patients decline UDS, and the demand for non-invasive, less costly and more easily available diagnostic alternatives continues to grow, particularly when PFS is inaccessible or unacceptable to the patient.

Objective

The aim of this work was to identify non-invasive predictors of DU that can be assessed without performing an invasive PFS in men (study 1) and women (study 2) with non-neurogenic lower urinary tract symptoms (LUTS); and to undertake a systematic review (study 3) providing a critical appraisal of the non-invasive diagnostic methods for DU in men with non-neurogenic LUTS available in the current literature.

Materials and Methods

A retrospective observational study (Study 1) enrolled 229 men with non-neurogenic LUTS who had undergone a PFS in one of two reference urodynamic centres and in whom DU and/or BOO had been confirmed. The medical records were reviewed for comorbidities, ongoing pharmacotherapy, the Core Lower Urinary Tract Symptoms Score (CLSS), uroflowmetry (UFL) findings and PFS results. Eligibility criteria comprised age ≥ 18 years, LUTS with DU or BOO verified on PFS, a pre-PFS UFL with voided volume > 150 mL, and written informed consent. Patients were excluded if they had a positive urine culture, neurogenic bladder, chronic prostatitis, painful bladder syndrome/interstitial cystitis, bladder cancer, prostate cancer, bladder calculi, prior surgery for benign prostatic hyperplasia, or incomplete clinical data. DU was diagnosed when the bladder contractility index ($BCI = P_{det}@Q_{max} + 5 \times Q_{max}$) was < 100 , and BOO when the bladder outlet obstruction index ($BOOI = P_{det}@Q_{max} - 2 \times Q_{max}$) exceeded 40. Logistic regression was applied for both univariate and multivariate analyses; the latter used stepwise variable selection based on univariate significance, with clinically relevant covariates retained owing to their established association with DU.

The second retrospective observational study (Study 2) included 88 women with non-neurogenic LUTS who underwent UFL and PFS and were diagnosed with DU or BOO. Clinical data analysed comprised comorbidities, medication history, CLSS results,

physical examination and pelvic organ prolapse staging using the Pelvic Organ Prolapse Quantification System (POP-Q). Women aged ≥ 18 years with LUTS, a voided volume > 150 mL on UFL and DU or BOO confirmed on PFS were eligible. Exclusion criteria were a positive urine culture, neurogenic bladder, painful bladder syndrome/interstitial cystitis (PBS/IC), bladder cancer, incomplete data or inconclusive PFS. DU was defined by a projected isovolumetric pressure 1 ($PIP1 = P_{det@Q_{max}} + Q_{max}$) < 30 , whereas BOO was diagnosed when the female bladder outlet obstruction index ($BOOI_f = P_{det@Q_{max}} - 2.2 \times Q_{max}$) exceeded 18. Continuous variables were compared with the Mann–Whitney U test, categorical variables with Fisher’s exact test, and associations were subsequently evaluated by logistic regression - first univariable, then multivariable with stepwise selection (entry/removal threshold $p = 0.20$), retaining only statistically significant predictors.

The systematic review (Study 3) was conducted in accordance with PRISMA guidelines. In June 2024, the Medline, Scopus, and Web of Science databases were searched for publications on non-invasive diagnostic methods for DU in men with non-neurogenic LUTS. Only full-text, original articles in English published after 2000 were eligible if they evaluated any non-invasive diagnostic technique for DU in men, used PFS as the reference standard, and reported diagnostic accuracy parameters. Methodological quality and risk of bias were assessed with the Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies 2 (QUADAS-2) tool.

Results

The final multivariable model for predicting DU rather than BOO in men with non-neurogenic LUTS comprised ten variables encompassing clinical symptoms, CLSS questionnaire, UFL parameters, and free-flow curve morphology. Independent predictors of DU on PFS were: more prevalent intermittency (OR 2.33, 95 % CI 1.08–5.00; $p = 0.03$); less prevalent nocturia (OR 0.27, 95 % CI 0.12–0.61; $p < 0.002$); less prevalent weak stream (OR 0.14, 95 % CI 0.05–0.42; $p = 0.0004$); a lower CLSS score for abdominal straining (OR 0.67, 95 % CI 0.48–0.94; $p = 0.02$); a higher CLSS score for slow stream (OR 1.81, 95 % CI 1.24–2.63; $p = 0.002$); a higher CLSS score for incomplete emptying (OR 1.31, 95 % CI 1.05–1.63; $p < 0.02$); a lower PVR ratio (OR 0.20, 95 % CI 0.05–0.87; $p = 0.03$); and the presence of a fluctuating (OR 2.00, 95 % CI 0.99–4.05; $p = 0.05$), fluctuating-intermittent (OR 3.09, 95 % CI 1.39–6.86; $p < 0.006$),

or intermittent free-flow curve (OR 8.11, 95 % CI 0.80–82.50; $p = 0.076$). The model achieved a Harrell's C-index of 0.783. Using the derived clinical criteria, the sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV) and negative predictive value (NPV) for urodynamically confirmed DU were 75.8 %, 62.4 %, 71.9 % and 67.0 %, respectively.

In women (Study 2), the predictive model identified the following independent determinants of DU in non-neurogenic LUTS: sensation of incomplete emptying (OR 3.52; 95 % CI 1.27–9.79; $p = 0.016$), hesitancy (OR 2.06; 95 % CI 0.71–5.98; $p = 0.18$), pelvic organ prolapse stage $< \text{POP-Q } 3$ (OR 0.15; 95 % CI 0.03–0.75; $p = 0.02$) and prolonged time to Qmax on uroflowmetry (OR 1.05; 95 % CI 1.02–1.09; $p = 0.004$). This model achieved a C-index of 0.78. Using a probability threshold of 0.30, the derived clinical criteria demonstrated a sensitivity of 86.8 %, specificity of 46 %, PPV of 55 % and NPV of 82.1 % for urodynamically confirmed DU.

The systematic review (Study 3) included 18 studies comprising 7 390 participants, of whom 3 194 had urodynamically verified DU. Investigated non-invasive tests involved clinical variables, ultrasound parameters, biomarkers, uroflowmetric indices, symptom questionnaires and artificial-intelligence (AI) or machine-learning models. The DUA-SQ symptom questionnaire demonstrated the highest accuracy, with a sensitivity of 95.8 % and a specificity of 95.4 %. Ultrasonographic measurement of detrusor muscle thickness (DMT) combined with bladder capacity achieved 100 % specificity but had limited sensitivity (42 %). Uroflowmetric “saw-tooth” and “interrupted” curves yielded 80 % sensitivity and 87 % specificity. Among biomarkers, serum adiponectin reached 79 % sensitivity and 90 % specificity, whereas the urinary nitric oxide/adenosine triphosphate (NO/ATP) ratio attained 88.5 % sensitivity and 88.9 % specificity. AI-based predictive models displayed sensitivities of 65.9–79.7 % and specificities of 68.9–88.7 %. Owing to substantial heterogeneity and overall low methodological quality, a meta-analysis was not feasible.

Conclusions

The sex-specific predictive models developed in this thesis provide a non-invasive alternative to invasive urodynamic testing for differentiating DU from BOO in patients with non-neurogenic LUTS. They can be implemented during the initial outpatient visit by combining a structured history, CLSS symptom assessment, physical examination and UFL, offering a rapid and cost-effective approach particularly suitable for individuals unwilling or at high risk for invasive diagnostics. Following external validation, these

models may facilitate earlier diagnosis, timely initiation of appropriate therapy and better symptom control in DU and BOO.

The critical appraisal of non-invasive diagnostics—including ultrasound metrics, biomarkers, UFL analysis, symptom questionnaires and AI-driven algorithms—confirms their diagnostic potential and superior safety profile compared with conventional urodynamics. Nevertheless, none of these modalities is free from limitations such as variable accuracy, lack of independent validation or non-standardised testing conditions. By compiling and evaluating the current evidence, this work serves as a practical reference for clinicians seeking contemporary non-invasive strategies for diagnosing DU and highlights the key knowledge gaps that must be addressed to develop personalised diagnostic tools tailored to individual clinical profiles.

Wstęp

Definicja DU

Niedoczynność pęcherza moczowego (ang. underactive bladder, UAB) to zespół objawów ze strony dolnych dróg moczowych (ang. lower urinary tract symptoms, LUTS), wynikający z niewydolności mięśnia wypieracza pęcherza moczowego (ang. detrusor underactivity, DU), czyli z niezdolności do wygenerowania skurczu o sile wystarczającej do prawidłowego opróżnienia pęcherza (1). Zgodnie z definicją Międzynarodowego Towarzystwa Kontynencji (ang. International Continence Society, ICS), DU oznacza „*skurcz mięśnia wypieracza o zmniejszonej sile i/lub skróconym czasie trwania, prowadzący do przedłużonego lub niepełnego opróżniania pęcherza, przy zachowanym prawidłowym czasie mikcji*” (2). Niedawno D'Ancona i wsp. zaktualizowali tę definicję, opisując DU jako „*niskie ciśnienie skurczu mięśnia wypieracza lub krótki czas trwania skurczu, zwykle w połączeniu z niskim przepływem moczu, co skutkuje przedłużonym opróżnianiem pęcherza i/lub nieosiągnięciem całkowitego opróżnienia pęcherza w normalnym czasie*” (3).

Epidemiologia DU

DU pozostaje trudną do wykrycia jednostką chorobową z uwagi na brak rekomendowanych, zwalidowanych i powszechnie dostępnych nieinwazyjnych metod diagnostycznych. Badanie urodynamiczne, choć stanowi obecnie złoty standard w diagnostyce DU, nie jest zalecane jako metoda przesiewowa i powinno być wykonywane wyłącznie u odpowiednio zakwalifikowanych pacjentów, co przyczynia się do ograniczonej dostępności danych epidemiologicznych dotyczących rzeczywistej częstości występowania DU w populacji ogólnej (1). Przegląd piśmiennictwa dotyczący częstości występowania DU u pacjentów z nieneurogennymi LUTS, kierowanych na badanie urodynamiczne, wskazuje, że wśród młodszych mężczyzn (w wieku <50 lat), DU występuje z częstością 9-28%, natomiast u mężczyzn w wieku podeszłym (>70 lat) odsetek ten wzrasta aż do 48%. U starszych kobiet częstość występowania DU waha się od 12 do 45%, osiągając najwyższe wartości wśród osób przebywających w domach opieki społecznej (4).

Patofizjologia DU

DU dotyka różnych grup pacjentów, co sugeruje jej złożoną, wieloczynnikową etiologię. W praktyce klinicznej u większości chorych nie udaje się jednoznacznie określić przyczyny obniżonej kurczliwości mięśnia wypieracza. Postuluje się, że DU może rozwijać się wtórnie do zmian związanych z wiekiem, które wpływają zarówno na mięsień wypieracza, jak i na ośrodkowy oraz obwodowy układ nerwowy. Choć zakłada się, że proces starzenia prowadzi do pogorszenia funkcji skurczowej wypieracza, brak jest jednoznacznych dowodów potwierdzających, że stanowi on decydującą przyczynę DU. Oś neuronalna odpowiedzialna za kontrolę skurczu wypieracza ma złożony charakter, a różnorodne zaburzenia w jej obrębie mogą prowadzić do upośledzenia funkcji skurczowej i rozwoju DU (5).

W piśmiennictwie zaproponowano podział DU według etiologii, który obejmuje:

- DU idiopatyczna – występująca bez uchwytnej przyczyny, najprawdopodobniej jest związana z naturalnym procesem starzenia się organizmu i przewlekłym stresem oksydacyjnym;
- DU neurogenna – rozwijająca się w wyniku uszkodzenia zakończeń nerwowych na tle stwierdzonych chorób neurologicznych, które zaburzają czynność dolnych dróg moczowych, np. w przebiegu choroby Parkinsona, cukrzycy, zespołu Guillan-Barré, stwardnienia rozsianego oraz przy uszkodzeniach obejmujących odcinek krzyżowy rdzenia kręgowego;
- DU miogenna – wynikająca z pierwotnej dysfunkcji komórek mięśniowych lub zmian strukturalnych w ich macierzy zewnątrzkomórkowej, wpływających na mechanizm skurczu wypieracza. Powstaje m.in. na tle długotrwałej przeszkody podpęcherzowej (ang. bladder outlet obstruction, BOO). W tej postaci DU, nawet przy zachowanym, prawidłowym unerwieniu pęcherza, może dojść do zaburzeń kurczliwości wypieracza;
- DU jatrogenna - związana z interwencjami chirurgicznymi w obrębie miednicy mniejszej, szczególnie po rozległych zabiegach, takich jak radykalna prostatektomia, histerektomia, czy operacje w obrębie jelit, podczas których dochodzi do uszkodzenia splotu miednicznego (6).

Objawy DU

Pomimo licznych badań, nie udało się dotychczas zidentyfikować kardynalnego objawu charakterystycznego wyłącznie dla DU. Trudności w opisanu zespołu objawów

klinicznych UAB wynikają z ich częstego nakładania się na objawy obserwowane w przebiegu pęcherza nadaktywnego (ang. overactive bladder, OAB) lub BOO. W fazie gromadzenia moczu pacjenci mogą doświadczać zarówno parć nagłych, częstomoczu i nokturii, jak i – przeciwnie – rzadkiego oddawania moczu. Osoby z DU i wzmożonym czuciem pęcherzowym często zgłaszają zwiększoną częstość mikcji oraz parcia nagłe, natomiast pacjenci z DU i obniżonym czuciem pęcherzowym – brak parcia, rzadsze oddawanie moczu, co w konsekwencji może prowadzić do nietrzymania moczu z przepełnienia.

W fazie mikcji DU może manifestować się trudnościami w rozpoczęciu mikcji, osłabionym strumieniem moczu, koniecznością aktywacji tłoczni brzusznej oraz uczuciem niepełnego opróżnienia pęcherza – objawami pokrywającymi się z symptomatologią charakterystyczną dla BOO (4). Zgodnie z aktualnymi wytycznymi Europejskiego Towarzystwa Urologicznego (ang. European Association of Urology, EAU), rozróżnienie tych jednostek chorobowych bez wykonania inwazyjnego badania urodynamicznego nie jest możliwe (7). Precyzyjna diagnostyka różnicowa pomiędzy tymi dwiema podstawowymi przyczynami LUTS ma istotne znaczenie kliniczne, ponieważ pacjenci z DU, mogą nie odnieść korzyści z zaproponowanego leczenia chirurgicznego, w przeciwieństwie do chorych z BOO (8).

Diagnozowanie DU – złoty standard

Obecnie jedyną zalecaną metodą diagnozowania DU pozostaje inwazyjne badanie ciśnieniowo-przepływowe (ang. pressure-flow study, PFS), będące integralną częścią kompleksowego badania urodynamicznego. Mimo jego kluczowej roli w ocenie funkcji skurczowej mięśnia wypieracza, nadal brakuje jednolitych, powszechnie akceptowanych kryteriów diagnostycznych DU (7). Większość proponowanych urodynamicznych kryteriów diagnostycznych skupia się wyłącznie na ocenie siły skurczu wypieracza, pomijając inne równie istotne aspekty, takie jak zdolność do utrzymania skurczu przez odpowiedni czas czy szybkość jego generowania. Ocena siły skurczowej opiera się najczęściej na dwóch parametrach: maksymalnej prędkości przepływu (Q_{max}) oraz ciśnieniu wypieracza w momencie osiągnięcia maksymalnego przepływu ($P_{det@Q_{max}}$) (4). Wartości graniczne dla tych parametrów zostały ustalone w oparciu o dolne zakresy normy, które pochodzą z badań historycznych, prowadzonych wśród mężczyzn kwalifikowanych do operacyjnego leczenia BOO (9). Normy te mogą jednak nie mieć zastosowania wśród innych grup pacjentów, w związku z czym niektórzy badacze podjęli

próby określenia wartości referencyjnych w populacji zdrowych, młodych mężczyzn (10) oraz kobiet (11). Badania te, choć wartościowe, są jednak nieliczne i nie pozwalają obecnie na sformułowanie uniwersalnych i szeroko obowiązujących standardów.

Urodynamiczne kryteria diagnostyczne DU

Jednym z najczęściej stosowanych narzędzi służących do rozpoznania DU u mężczyzn, zarówno w praktyce klinicznej, jak i w badaniach naukowych, jest wskaźnik kurczliwości pęcherza moczowego (ang. bladder contractility index, BCI), wprowadzony przez Abramsa i wsp. w 1999 roku (12). BCI jest szczególnie przydatny w szacowaniu skurczu izowolumetrycznego mięśnia wypieracza, jednak nie ocenia trwałości skurczu, nie uwzględnia współistnienia BOO i DU, przez co może nie mieć zastosowania u wszystkich grup pacjentów (4). Wskaźnik BCI oblicza się według wzoru: $BCI = P_{det}@Q_{max} + 5Q_{max}$, co umożliwia szybką i przejrzystą ocenę kurczliwości mięśnia wypieracza. Wartość BCI poniżej 100 sugeruje niewydolność mięśnia wypieracza, zakres 100-150 uznawany jest za prawidłowy, natomiast wartość przekraczająca 150 wskazuje na silną kurczliwość wypieracza (12). W 2023 roku ICS oraz Towarzystwo Urodynamicznej Medycyny Miednicy Mniejszej Kobiet i Rekonstrukcji Urogenitalnej (ang. Society of Urodynamics, Female Pelvic Medicine and Urogenital Reconstruction) zaproponowały zmianę nazwy wskaźnika BCI na wskaźnik kurczliwości wypieracza (ang. detrusor contractility index, DCI) oraz wprowadzenie dodatkowego progu diagnostycznego: $DCI < 50$, który miałby wskazywać na znaczne osłabienie kurczliwości (13).

Ponadto ICS i SUFU odradzają stosowanie zarówno wskaźnika BCI, jak i jego zaktualizowanej wersji – DCI – jako standardowych miar kurczliwości wypieracza u kobiet, ze względu na brak wystarczającej walidacji tych narzędzi w tej grupie pacjentek. O ile wartość DCI przekraczająca 100 cm H₂O jest ogólnie przyjmowana jako wskaźnik prawidłowej kurczliwości wypieracza podczas mikcji, to znaczenie wartości poniżej 100 pozostaje niejasne (13). Podczas badań, w których „stop-test” pozwalał bezpośrednio zmierzyć maksymalne izowolumetryczne ciśnienie skurczowe wypieracza, stwierdzono, że wyliczany z klasycznej formuły DCI systematycznie zawyża rzeczywistą wartość tego ciśnienia u kobiet. Bardziej miarodajny okazał się uproszczony wzór na tzw. prognozowane ciśnienie izowolumetryczne 1 (ang. projected isovolumetric pressure 1, PIP1), obliczane według wzoru $PIP1 = P_{det}@Q_{max} + Q_{max}$. Zaproponowano, by u kobiet wartość $PIP1 < 30$ wyznaczała dolną granicę normy kurczliwości wypieracza. (13).

Wybrane urodynamiczne kryteria diagnostyczne możliwe do zastosowania w praktyce klinicznej zostały zestawione w Tabeli 1.

Parametr	Definicja / wzór	Zalety	Ograniczenia	Zalecane progi diagnostyczne
DCI (dawniej BCI)	$DCI = P_{det}@Q_{max} + 5 \times Q_{max}$	Łatwe obliczenie; dostępne bezpośrednio z PFS; rekomendacja ICS-SUFU	Nie uwzględnia czasu trwania skurczu ani współistnienia BOO	< 50 – bardzo słaby skurcz, < 100 – słaby skurcz, 100-150 – skurcz prawidłowy, > 150 – skurcz silny
PIP1	$PIP1 = P_{det}@Q_{max} + Q_{max}$	Lepsze odzwierciedlenie ciśnienia izowolumetrycznego; łatwe obliczenie; rekomendacja ICS-SUFU	Wymaga dalszej walidacji; brak szeroko przyjętych progów dla mężczyzn	>100 - dobra siła skurczu, < 30 - sugeruje DU u kobiet
Zakresy $P_{det}@Q_{max}$ oraz Q_{max}	np. $P_{det}@Q_{max} < 40 \text{ cm H}_2\text{O}$ oraz $Q_{max} < 15 \text{ ml/s}$	Łatwa interpretacja; brak obliczeń	Może zaniżać siłę skurczu; nie uwzględnia współwystępowania BOO; brak zwalidowanych wartości granicznych	Brak konsensusu, różne wartości w publikacjach naukowych

Tabela 1. Klinicznie przydatne parametry diagnostyczne DU w badaniu PFS. Opracowano na podstawie ICS-SUFU Standard 2023 (14) oraz Osman i wsp. 2013 (4).

Uzasadnienie potrzeby opracowania nieinwazyjnych metod diagnostycznych DU

Oprócz braku jednoznacznych, wystandaryzowanych kryteriów diagnostycznych, badania ciśnieniowo-przepływowe mają kilka istotnych ograniczeń. Są inwazyjne, czasochłonne, wymagają specjalistycznego sprzętu oraz wyszkolenia personelu medycznego. Mogą również powodować u pacjentów nieprzyjemne objawy, takie jak wstyd, ból czy dyskomfort, a także powikłania, w tym zatrzymanie moczu, krwimocz lub zakażenia układu moczowego, które mogą być niebezpieczne u osób z obniżoną odpornością, np. w stanie immunosupresji. Samo badanie wymaga wprowadzenia cewników do pęcherza i odbytnicy, a jego prawidłowy przebieg zależy od ścisłej współpracy pacjenta z zespołem diagnostycznym. W trakcie procedury może dojść do przemieszczenia lub wypadnięcia cewnika, co prowadzi do niemiarodajnych wyników

i konieczności powtórzenia badania, wydłużając czas diagnostyki i pogłębiając dyskomfort (15). W związku z tym rośnie zainteresowanie opracowaniem nowych, nieinwazyjnych metod diagnostycznych DU.

Obecnie dostępne nieinwazyjne metody diagnostyczne DU

Dotychczas jedynie nieliczne zespoły badawcze podejmowały próby identyfikacji czynników prognostycznych występowania DU bez konieczności wykonywania inwazyjnego UDS, a na ich podstawie opracowywały nieinwazyjne metody diagnostyczne. Część autorów opierała swoje analizy wyłącznie na wywiadzie medycznym, wskazując objawy takie jak osłabiony strumień moczu, trudność w zainicjowaniu mikcji, czy występowanie parć nagłych jako potencjalne wskaźniki BOO w kontekście różnicowania z DU u mężczyzn (16). Kim i wsp. opracowali nowy kwestionariusz, DUA-SQ, którego celem było przewidywanie występowania DU w oparciu o dane uzyskane z wywiadu i dolegliwości ze strony dolnych dróg moczowych (17). Inne zespoły badawcze poszukiwały czynników predykcyjnych w rutynowo wykonywanych, nieinwazyjnych badaniach, takich jak UFL, opierając się na znanych parametrach, m.in. wskaźniku efektywności opróżniania pęcherza (ang. bladder voiding efficiency, BVE) (18,19) czy kształcie krzywej mikcyjnej (18,20), a także na nowo definiowanych wskaźnikach, takich jak różnica pomiędzy maksymalną a średnią prędkością przepływu ($\Delta Q = Q_{max} - Q_{mean}$) (21). Kolejne prace uwzględniały nieinwazyjne parametry uroflowmetryczne, takie jak morfologia krzywej przepływu lub objętość zalegająca po mikcji (ang. post-void residual, PVR), łączone z objawami klinicznymi i wynikami dostępnych kwestionariuszy, w tym Kwestionariusz Międzynarodowej Skali Punktowej Objawów Towarzyszących Chorobom Prostaty (ang. International Prostate Symptom Score, IPSS), w celu budowy predykcyjnych modeli rozpoznawania DU (20,22,23). Równolegle prowadzone były badania nad zastosowaniem wskaźników ultrasonograficznych, takich jak grubość mięśnia wypieracza (detrusor muscle thickness, DMT) (24) oraz stosunek DMT do grubości ściany pęcherza (ang. bladder wall thickness, BWT) (25). Podejmowano także próby identyfikacji prostych i łatwo dostępnych biomarkerów, możliwych do oznaczenia w moczu – np. stosunku tlenku azotu do adenozynotrójfosforanu (ang. nitric oxide/adenosine triphosphate, NO/ATP) (26), lub w osoczu krwi – np. poziomu adiponektyny (27). W ostatnich latach szczególną uwagę zwraca się na wykorzystanie nowoczesnych technologii, w tym sztucznej inteligencji (ang. artificial intelligence, AI)

(28,29) oraz uczenia maszynowego (ang. machine learning) (30), w celu opracowania systemów diagnostycznych DU opartych na rozbudowanych bazach danych, które – dzięki możliwości stałej aktualizacji – pozwalają na sukcesywne zwiększanie czułości i swoistości algorytmów. Mimo powyższych wysiłków, dotychczas nie udało się wyodrębnić jednoznacznego zestawu czynników umożliwiających rozróżnienie DU i BOO, co podkreśla konieczność dalszego rozwoju oraz walidacji nieinwazyjnych narzędzi diagnostycznych.

Uzasadnienie połączenia publikacji w jeden zbiór wraz z komentarzem osiągnięcia naukowego

Przedstawiony zestaw publikacji tworzy spójną całość tematyczną, koncentrującą się na opracowaniu nieinwazyjnych metod diagnostyki DU oraz jej różnicowaniu z BOO u pacjentów z nieneurogennymi LUTS, co może stanowić rzeczywistą alternatywę dla inwazyjnych badań urodynamicznych.

Publikacja nr 1, o tytule „*(A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS.*” (IF 1.8; MNISW 70) stanowi retrospektywną analizę czynników predykcyjnych DU u mężczyzn z nieneurogennymi LUTS, u których wykonano badania PFS. W pracy przedstawiono, w jaki sposób proste parametry kliniczne - w tym morfologia krzywych uroflowmetrycznych, stosunek PVR (ang. PVR ratio, PVR-R) oraz objawy kliniczne wraz z oceną ich natężenia w kwestionariuszu Core Lower Urinary Tract Symptom Score (CLSS) - mogą stanowić nieinwazyjną alternatywę diagnostyczną w identyfikacji DU u mężczyzn. Taka metoda może okazać się szczególnie przydatna w przypadkach, gdy pacjent nie wyraża zgody na badanie PFS, procedura ta jest trudna do wykonania ze względu na współistniejące obciążenia zdrowotne. Szczególnie innowacyjnym elementem proponowanego modelu jest uwzględnienie kształtu krzywych swobodnego przepływu, parametru rzadko dotąd wykorzystywanego, głównie w badaniach przeprowadzanych u kobiet (20,31). Analiza krzywych uroflowmetrycznych jest szybka, intuicyjna i obciążona niskim ryzykiem błędnej interpretacji, co sprawia, że model może być z powodzeniem wdrażany w codziennej praktyce klinicznej, bez konieczności wykorzystania kosztownego sprzętu czy specjalistycznego oprogramowania.

Publikacja nr 2, zatytułowana „*Cracking the LUTS Code: A Pre-Urodynamic Tool for DU vs. BOO Diagnosis in Female Patients with Non-Neurogenic LUTS*” (IF 3.0; MNISW 140), stanowi retrospektywną analizę czynników predykcyjnych DU u kobiet z nieneurogennymi LUTS, u których wykonano PFS. Celem pracy było opracowanie nieinwazyjnego modelu predykcyjnego umożliwiającego różnicowanie DU i BOO bez konieczności przeprowadzania inwazyjnego UDS. W badaniu uwzględniono objawy kliniczne, dane uroflowmetryczne oraz stopień obniżenia narządów miednicy mniejszej, oceniany zgodnie ze skalą Pelvic Organ Prolapse Quantification (POP-Q). Model został oparty na prostych, powszechnie dostępnych parametrach, co ułatwia jego zastosowanie w praktyce klinicznej. Innowacyjność podejścia polega na integracji danych klinicznych

w narzędzie wspomagające decyzje diagnostyczne u kobiet z LUTS. Podczas gdy wcześniejsze modele oparte wyłącznie na objawach lub pojedynczych wskaźnikach wykazywały ograniczoną wartość, podejście łączone, przedstawione w tej pracy, wykazuje obiecujący potencjał diagnostyczny oraz wysoką użyteczność w praktyce klinicznej.

Publikacja nr 3, o tytule „*Beyond Urodynamics: Non-Invasive Approaches to Diagnosing Detrusor Underactivity In Men With Lower Urinary Tract Symptoms – a systematic review*” (IF 1.7; MNISW 70) stanowi systematyczny przegląd literatury poświęconej nieinwazyjnym metodom rozpoznawania DU u mężczyzn z nieneurogennymi LUTS. W pracy tej w sposób systematyczny podsumowano i przedstawiono dotychczas opracowane czynniki predykcyjne DU, takie jak parametry ultrasonograficzne, zmienne uroflowmetryczne, biomarkery dostępne z moczu lub surowicy krwi, kwestionariusze dotyczące objawów, a także modele diagnostyczne stworzone w oparciu o parametry kliniczne, lub z pomocą sztucznej inteligencji. Oceniono wartość diagnostyczną tych narzędzi, ich ograniczenia i zalety oraz możliwości wdrożenia w codziennej praktyce. Dodatkowo, jakość danych pochodzących z poszczególnych badań została oceniona z wykorzystaniem schematu QUADAS-2, co pozwoliło na zobiektywizowaną analizę wyników.

Założenia i cel pracy

Opracowane dotychczas czynniki predykcyjne DU oraz stworzone na ich podstawie nieinwazyjne metody diagnostyczne nie są wolne od ograniczeń, a żadna z opisanych koncepcji nie uzyskała dotąd aprobaty ICS do rutynowego stosowania w praktyce klinicznej. Większość badań w tym obszarze przeprowadzono w pojedynczych ośrodkach, na jednorodnych kohortach, co implikuje istotne ryzyko błędu selekcji (ang. selection bias). Dodatkowym ograniczeniem jest brak zewnętrznej walidacji proponowanych metod, co utrudnia ich szerokie wdrożenie.

W niektórych pracach włączano osoby przyjmujące leki wpływające na czynność mięśnia wypieracza (22,25,32,33) lub nie uwzględniano wpływu leków przyjmowanych przez pacjentów (17,29,30,34). Takie podejście nie odzwierciedla rzeczywistej praktyki klinicznej, co może istotnie zniekształcać wyniki. Należy również podkreślić, że część narzędzi diagnostycznych opracowano dla ściśle określonych populacji. Na przykład, Yoldas wykazał, iż wartość BVE >46% w badaniu UFL jest predyktorem DU wyłącznie u mężczyzn powyżej 80. roku życia (19), podczas gdy de Nunzio i wsp. stworzyli metodę diagnostyczną odpowiednią dla mężczyzn z LUTS, niewielkim sterczem (mediana 30 g) i nieleczonych farmakologicznie z powodu LUTS (35). Ogranicza to uniwersalność tych rozwiązań i wskazuje, że jednolite czynniki predykcyjne i jedno narzędzie odpowiednie dla wszystkich chorych najprawdopodobniej nie istnieją; konieczne może być opracowanie różnych metod, dopasowanych do poszczególnych podgrup pacjentów.

Warto również zauważyć, że niektóre z proponowanych narzędzi, choć pozornie proste w użyciu i interpretacji nawet na poziomie podstawowej opieki zdrowotnej, są wysoce subiektywne (np. nowo opracowany kwestionariusz DUA-SQ autorstwa Kim i wsp. (17)). Ich skuteczność zależy bowiem od indywidualnego zrozumienia definicji objawów przez pacjenta, jego stanu emocjonalnego oraz interakcji z lekarzem, co generuje ryzyko istotnej zmienności wyników i wymaga dalszych badań walidacyjnych.

Zaproponowane metody wykorzystujące ultrasonograficzny pomiar BWT (24,35) lub stosunek DMT/BWT (25) mają charakter częściowo inwazyjny, gdyż dla standaryzacji badania konieczne bywa uprzednie wypełnienie pęcherza określoną objętością płynu przez cewnik, co rodzi ryzyko zakażenia układu moczowego. Ponadto wyniki zależą od doświadczenia operatora i wymagają specjalistycznego przeszkolenia, aby zapewnić ich powtarzalność.

W świetle powyższych ograniczeń, przeprowadziliśmy dwa badania retrospektywne - jedno w populacji mężczyzn, drugie w populacji kobiet – których celem było zidentyfikowanie czynników prognostycznych niewydolności wypieracza i opracowanie łatwo dostępnych metod diagnostycznych dla każdego urologa pracującego ambulatoryjnie. Opracowane algorytmy mają umożliwiać wstępną identyfikację DU już podczas pierwszej wizyty, bez konieczności wykonywania badań inwazyjnych oraz bez użycia specjalistycznego sprzętu czy trudno dostępnych biomarkerów.

W badaniu nr 1 wykorzystano powszechnie stosowaną UFL, wywiad medyczny oraz kwestionariusz CLSS, dotychczas niestosowany w tym kontekście, lecz stanowiący szybkie narzędzie przesiewowe. W badaniu nr 2 również zastosowano UFL, a ponadto ocenę objawów klinicznych i stopnia obniżenia narządów miednicy mniejszej w skali POP-Q. Dodatkową zaletą obu projektów było włączenie pacjentów z dwóch niezależnych ośrodków referencyjnych i uwzględnienie wpływu farmakoterapii, co podkreśla potencjalną wartość praktyczną opracowanych algorytmów.

Celem badania nr 3 było przeprowadzenie przeglądu systematycznego aktualnych, nieinwazyjnych metod diagnostycznych DU, z uwzględnieniem ich dokładności diagnostycznej (czułości, swoistości, wartości predykcyjnej ujemnej – ang. negative predictive value, NPV, wartości predykcyjnej dodatniej – ang. positive predictive value, PPV) oraz oceny jakości danych. Taka synteza ułatwi przyszłym badaczom tworzenie nowych rozwiązań w oparciu o istniejące metody, a także walidację dotychczasowych narzędzi w większych i bardziej zróżnicowanych populacjach. Ponadto stanowi cenne źródło informacji dla klinicystów poszukujących alternatywy dla złotego standardu diagnostycznego – badania urodynamicznego – zwłaszcza w sytuacjach, gdy wykonanie UDS jest niemożliwe (brak zgody pacjenta, lęk przed procedurą) lub gdy uzyskane wyniki są niejednoznaczne (np. w wyniku wysunięcia cewnika czy przedwczesnego zakończenia badania).

Cele pracy

Głównymi celami projektu badawczego były:

1. opracowanie nieinwazyjnych modeli diagnostycznych umożliwiających różnicowanie DU od BOO u pacjentów z nieneurogennymi LUTS – osobno dla populacji męskiej i żeńskiej,
2. przeprowadzenie systematycznego przeglądu i krytycznej oceny piśmiennictwa dotyczącego nieinwazyjnych metod rozpoznawania DU.

Cele poboczne to:

1. identyfikacja klinicznych i urodynamicznych czynników prognostycznych DU na podstawie wywiadu, kwestionariuszy objawowych (CLSS), UFL oraz danych anatomicznych (skala POP-Q),
2. zestawienie oraz analiza dokładności diagnostycznej dostępnych nieinwazyjnych metod diagnostycznych DU u mężczyzn z nieneurogennymi LUTS - z uwzględnieniem czułości, swoistości, NPV, PPV - wraz z oceną jakości danych.

Materiały i metody

Badanie nr 1

Badanie nr 1 miało charakter obserwacyjny, retrospektywny. Do analizy włączono 229 pacjentów, u których w latach 2012 - 2022 wykonano badanie PFS w jednym z dwóch ośrodków: Pracowni Urodynamicznej Kliniki Urologii Ogólnej, Onkologicznej i Czynnościowej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego w Warszawie lub Pracowni Urodynamicznej Niepublicznego Zakładu Opieki Zdrowotnej „Prostalith” w Kielcach.

Wskazaniami do PFS były: nowe lub utrzymujące się LUTS, nieskuteczność dotychczasowego leczenia zachowawczego bądź operacyjnego, planowana operacja urologiczna lub przewidywany przeszczep nerki. Przed badaniem wykluczano zakażenie układu moczowego na podstawie badania ogólnego i posiewu moczu.

Każdy pacjent został poddany standardowej ocenie klinicznej obejmującej szczegółowy wywiad (choroby przewlekłe, stała farmakoterapia, objawy LUTS oceniane kwestionariuszem CLSS (36) oraz badanie neurologiczne (7). Następnie wykonywano UFL oraz badanie PFS z EMG.

Kryteria włączenia do badania obejmowały mężczyzn w wieku ≥ 18 lat z LUTS, u których w badaniu PFS rozpoznano DU lub BOO, a bezpośrednio przed PFS wykonano UFL z objętością mikcji > 150 ml; ponadto wymagano świadomej, pisemnej zgody na udział. Kryteriami wykluczenia były: pęcherz neurogenny, przewlekłe zapalenie gruczołu krokowego, śródmiąższowe zapalenie pęcherza, nowotwór pęcherza lub gruczołu krokowego, kamica pęcherza, przebyta operacja z powodu łagodnego rozrostu gruczołu krokowego oraz braki danych. Protokół badania zatwierdziła Komisja Bioetyczna Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego (nr zgody: AKBE/335/2023).

Badania PFS przeprowadzali urolodzy doświadczeni w diagnostyce LUTS, zgodnie z protokołem Dobrych Praktyk Urodynamicznych ICS (ang. ICS Good Urodynamics Practices protocol) (37). Dane rejestrowano w oprogramowaniu Medtronic i analizowano ręcznie według zaleceń ICS (14). Analizowane parametry uroflowmetryczne obejmowały przepływ maksymalny (Q_{max}), średni przepływ (Q_{mean}), objętość oddanego moczu, czas do Q_{max} , PVR oraz morfologię krzywej mikcyjnej (dzwonowata, wydłużona, zmienna, przerywana, zmienno-przerywana, plateau). PVR mierzono ultrasonograficznie po mikcji, a wskaźnik PVR-R obliczano jako procent PVR względem pojemności pęcherza (objętość mikcji + PVR). PFS wykonywano niezwłocznie po UFL. DU definiowano jako $BCI < 100$ ($BCI = Pdet@Q_{max} + 5 \cdot Q_{max}$) (16), natomiast BOO jako

$BOOI > 40$ ($BOOI = PdetQ_{max} - 2Q_{max}$) (12). Wszystkie zapisy weryfikowano pod kątem obecności artefaktów, a zweryfikowane dane ręcznie wprowadzano do bazy.

Różnice w zmiennych ciągłych porównano testem U Manna-Whitneya, natomiast zmienne katégoryczne – testem Fishera. Do analiz jedno- i wieloczynnikowych zastosowano regresję logistyczną. W analizie wieloczynnikowej wykorzystano selekcję krokową: zmienne włączano przy poziomie istotności 0,20, a na kolejnych etapach usuwano te, których wartość p przekraczała 0,20, aż do uzyskania modelu najbardziej dopasowanego. Niezależnie od wyników analiz jednoczynnikowych, do modelu włączono wiek oraz wskaźnik PVR, ze względu na ich znaczenie kliniczne i związek z DU, wykazany w poprzednich badaniach (38,39). Dla ostatecznego modelu obliczono czułość, swoistość, PPV oraz NPV. Do określenia dokładności diagnostycznej zastosowano wartość odcięcia 0,5 dla przewidywanego prawdopodobieństwa modelu. Dwustronne wartości $p < 0,05$ oznaczały istotność statystyczną. Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono w oprogramowaniu SAS (wersja 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Badanie nr 2

Badanie nr 2 miało charakter obserwacyjny, retrospektywny. Analizie poddano 88 pacjentek, które w latach 2012–2022 przeszły PFS w jednym z dwóch ośrodków ambulatoryjnych: Pracowni Urodynamicznej Kliniki Urologii Ogólnej, Onkologicznej i Czynnościowej WUM lub Pracowni Urodynamicznej Niepublicznego Zakładu Opieki Zdrowotnej „Prostalith” w Kielcach. Wskazaniami do PFS były nowe bądź utrzymujące się LUTS, nieskuteczność leczenia zachowawczego, kwalifikacja do zabiegu urologicznego lub ginekologicznego, niepowodzenie wcześniejszego leczenia zabiegowego lub przygotowanie do transplantacji nerki. Przed wykonaniem PFS, u wszystkich kobiet wykluczono zakażenie układu moczowego na podstawie ujemnego posiewu moczu. Standardowa kwalifikacja obejmowała szczegółowy wywiad (choroby współistniejące, leki przyjmowane na stałe), wypełnienie kwestionariusza CLSS, badanie neurologiczne (7) oraz badanie ginekologiczne z oceną obniżenia narządów miednicy mniejszej w skali POP-Q (40). Następnie u pacjentek wykonywano kolejno UFL oraz PFS.

Kryteria włączenia obejmowały kobiety ≥ 18 r.ż. z LUTS, u których w PFS rozpoznano DU lub BOO, wykonano UFL z objętością mikcji > 150 ml oraz uzyskano pisemną zgodę. Kryteria wykluczenia stanowiły: pęcherz neurogeny, zespół bolesnego pęcherza

moczowego/śródmiąższowe zapalenie pęcherza moczowego (ang. painful bladder syndrome/interstitial cystitis, PBS/IC), nowotwór pęcherza, niejednoznaczne wyniki PFS (m.in. przerwane testy, niska objętość mikcji, przemieszczenie cewnika) oraz niekompletna dokumentacja. Protokół badania zatwierdziła lokalna Komisja Bioetyczna Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego (nr zgody: AKB/335/2023).

W UFL analizowano Q_{max} , Q_{mean} , objętość mikcji, czas do Q_{max} , PVR oraz morfologię krzywej (dzwonowata, zmienna, przerywana, zmiennie-przerywana, plateau, atypowa). PVR mierzono ultrasonograficznie po mikcji, a wskaźnik PVR-R obliczano jako procent PVR w stosunku do pojemności pęcherza (objętość mikcji + PVR). PFS przeprowadzano zgodnie z protokołem ICS Good Urodynamics Practices (37). DU zdefiniowano przy użyciu wzoru $PIP1 = P_{det}@Q_{max} + Q_{max}$; wartość $PIP1 < 30$ wskazywała na obniżoną kurczliwość mięśnia wypieracza (13). BOO rozpoznawano, gdy wskaźnik BOOI_f ($BOOI_f = P_{det}@Q_{max} - 2,2Q_{max}$) przekraczał 18 (13). Wszystkie zapisy zweryfikowano pod kątem artefaktów, a zwalidowane dane wprowadzono do bazy.

Zmienne ciągłe porównywano testem U Manna-Whitneya, zmienne kategoryczne - testem Fishera. Związki między zmiennymi oceniano regresją logistyczną (analizy jedno- i wieloczynnikowe). W modelu wieloczynnikowym zastosowano selekcję krokową (próg włączenia i usunięcia $p = 0,20$). W modelu pozostawiono wyłącznie predyktory istotne statystycznie. Obliczono ilorazy szans z 95-procentowymi przedziałami ufności oraz parametry diagnostyczne modelu (czułość, swoistość, PPV, NPV) przy progu prawdopodobieństwa 0,30. Wartości $p < 0,05$ uznano za statystycznie istotne. Analizy wykonano w programie SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Ze względu na ograniczoną liczebność próby, badanie ma charakter pilotażowy i stanowi podstawę do planowania przyszłych badań walidacyjnych.

Badanie nr 3

Badanie nr 3 miało charakter przeglądu systematycznego przeprowadzonego zgodnie z wytycznymi PRISMA (ang. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses). Celem było zidentyfikowanie i ocena wszystkich badań, w których opracowano nieinwazyjne metody diagnostyki DU u mężczyzn z nieneurogennymi LUTS.

Pytanie badawcze sformułowano z wykorzystaniem akronimu PICO (ang. Population, Intervention, Control, Outcome). Do analizy włączono wyłącznie pełnotekstowe artykuły

oryginalne w języku angielskim, opublikowane po 2000 r., opisujące nieinwazyjne metody diagnostyczne DU. Za nieinwazyjne uznawano metody niewymagające wykonania badania urodynamicznego. Badaną populację stanowili dorośli mężczyźni (≥ 18 lat) z nieneurogennymi LUTS. Wykluczono prace obejmujące kobiety, pacjentów z pęcherzem neurogennym lub rozpoznaną chorobą neurologiczną, mogącą wywoływać neurogenne LUTS. Testem indeksowym były dowolne nieinwazyjne procedury lub predyktory służące do identyfikacji DU, natomiast we wszystkich badaniach standardem referencyjnym pozostawało badanie PFS (konwencjonalne, wideo- lub ambulatoryjne). Dokładność metod oceniano za pomocą czułości, swoistości, PPV, NPV bądź ogólnej trafności diagnostycznej (ang. accuracy), w zależności od dostępności danych.

W czerwcu 2024 r. przeszukano bazy danych Medline (PubMed), Scopus oraz Web of Science, stosując kombinacje słów kluczowych: “underactive bladder” OR “detrusor underactivity” OR “impaired detrusor contractility” OR “acontractile detrusor” OR “bladder underactivity” OR “detrusor failure” OR “detrusor areflexia”. Po usunięciu duplikatów streszczenia wszystkich rekordów niezależnie ocenili dwaj autorzy; następnie przeanalizowano pełne teksty prac spełniających kryteria włączenia. Ostatecznie do analizy zakwalifikowano 18 publikacji. Ryzyko błędu systematycznego oraz jakość metodologiczną oceniono narzędziem QUADAS-2 (Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies 2) (41).

Kopie opublikowanych prac

1. Karolina Garbas, Łukasz Zapała, Aleksander Ślusarczyk, Tomasz Piecha, Piotr Gwara, Aleksandra Żuk-Łapan, Hanna Piekarczyk, Piotr Zapała, Piotr Radziszewski. (A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS. *Int Urol Nephrol*. 2024 Nov;56(11):3485-3494. Epub 2024 May 31. PMID: 38819576; PMCID: PMC11464610. doi: 10.1007/s11255-024-04093-7
2. Karolina Garbas, Łukasz Zapała, Aleksander Ślusarczyk, Tomasz Piecha, Piotr Radziszewski. Cracking the LUTS Code: a pre-urodynamic tool for DU vs. BOO diagnosis in female patients with non-neurogenic LUTS. *J. Clin. Med*. 2025, 14, 3674. doi: 10.3390/jcm14113674
3. Karolina Garbas, Łukasz Zapała, Aleksander Ślusarczyk, Hanna Piekarczyk, Tomasz Piecha, Piotr Radziszewski. Beyond Urodynamics: Non-Invasive Approaches to Diagnosing Detrusor Underactivity In Men With Lower Urinary Tract Symptoms – a systematic review. *BMC Urol*. 2025 Mar 6;25(1):44. PMID: 40050880; PMCID: PMC11887070. doi: 10.1186/s12894-025-01722-w



(A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS

Karolina Garbas¹ · Łukasz Zapała^{1,2} · Aleksander Ślusarczyk¹ · Tomasz Piecha¹ · Piotr Gwara¹ · Aleksandra Żuk-Łapan¹ · Hanna Piekarczyk¹ · Piotr Zapała¹ · Piotr Radziszewski¹

Received: 27 April 2024 / Accepted: 23 May 2024 / Published online: 31 May 2024
© The Author(s) 2024

Abstract

Purpose Our study aimed to develop a noninvasive model using a combination of the set of clinical data and uroflowmetry (UFL) to differentiate between detrusor underactivity (DU) and bladder outlet obstruction (BOO) in non-neurogenic male patients with lower urinary tract symptoms (LUTS).

Methods Data from 229 men with LUTS, diagnosed with DU or BOO on a pressure-flow study (PFS), were retrospectively analyzed, including medical history, Core Lower Urinary Tract Symptoms score (CLSS) questionnaire, UFL and PFS. Uni- and multivariate logistic regression were utilized for the prediction analyses.

Results Of the cohort, 128 (55.9%) patients were diagnosed with DU. A multivariate logistic regression analysis identified less prevalent nocturia (OR 0.27, $p < 0.002$), more prevalent intermittency (OR 2.33, $p = 0.03$), less prevalent weak stream (OR 0.14, $p = 0.0004$), lower straining points in CLSS (OR 0.67, $p = 0.02$), higher slow stream points in CLSS (OR 1.81, $p = 0.002$), higher incomplete emptying points in CLSS (OR 1.31, $p < 0.02$), lower PVR ratio (OR 0.20, $p = 0.03$), and present features of fluctuating (OR 2.00, $p = 0.05$), fluctuating-intermittent (OR 3.09, $p < 0.006$), and intermittent (OR 8.11, $p = 0.076$) UFL curve shapes as independent predictors of DU. The above prediction model demonstrated satisfactory accuracy (c -index of 0.783).

Conclusion Our 10-factor model provides a noninvasive approach to differentiate DU from BOO in male patients with non-neurogenic LUTS, offering a valuable alternative to invasive PFS.

Keywords Detrusor underactivity · Bladder outlet obstruction · Uroflowmetry · Lower urinary tract symptoms · Free flow curve shape

Introduction

Detrusor underactivity (DU), although prevalent among patients with lower urinary tract symptoms, remains under-researched and poorly understood. Previous clinical studies indicate a presence of DU ranging from 9 to 28% in men under 50 years old, with even higher incidence rate as age

advances [1]. According to the International Continence Society (ICS), DU is defined as “a contraction of reduced strength and/or duration, resulting in prolonged bladder emptying and/or failure to achieve complete bladder emptying within a normal time span” [2].

While a pressure-flow study (PFS) remains the gold standard for diagnosing DU, its cost, time-consuming nature, requirement for dedicated equipment, and need for highly trained urodynamics experts limit its accessibility. One cannot forget about the increased likelihood of infectious complications, especially in individuals with elevated PVR [3, 4]. Therefore, there is a need to develop a noninvasive, alternative approach for diagnosing DU, particularly useful, when PFS is unavailable or not accepted by a patient.

DU manifests as prolonged urination time, often accompanied by a sensation of incomplete emptying, hesitancy,

✉ Karolina Garbas
kgarbas98@gmail.com

¹ Department of General, Oncological and Functional Urology, Medical University of Warsaw, Lindleya 4, 02-005 Warsaw, Poland

² Urodynamic Lab of Private Hospital “Prostalith”, Kielce, Poland

reduced sensation of filling, and a weak stream [5]. These nonspecific symptoms pose challenges in differentiating DU from other causes of lower urinary tract symptoms (LUTS), notably bladder outlet obstruction (BOO). Accurate differentiation between those two voiding dysfunctions is crucial, since patients diagnosed with DU may not benefit from the proposed surgical treatment, as opposed to those with BOO [6]. Several studies have attempted to develop a noninvasive approach to diagnosing DU. Some researchers relied solely on medical history and identified symptoms such as decreased urinary stream, hesitancy or urgency as potential indicators of BOO, when differentiating from DU [7]. Others incorporated noninvasive UFL parameters, such as UFL curve shapes or PVR Ratio, along with symptoms and questionnaires to construct a prediction nomogram [8–10]. Nevertheless, definitive set of factors distinguishing DU from BOO remain elusive, which imposes the need for further development of noninvasive diagnostic method [1].

This is particularly crucial given the profound impact DU can have on both quality of life and healthcare costs. A study by Uren et al. revealed that symptoms such as high urinary frequency, nocturnal voids, and urgency led to over 27% of patients planning their daily activities around the availability of toilets. Additionally, almost 15% of patients experienced daytime somnolence due to disrupted sleep patterns. The resulting disturbances in social, work, or physical activities were reported as highly bothersome. Moreover, these symptoms affected self-image and confidence, leading to feelings of embarrassment in certain situations and impacting relationships with family and friends, including the sex lives of some patients [11]. Furthermore, according to a study by Sexton et al., patients with mixed storage, voiding, and post-micturition LUTS have an average of 5.9 visits to healthcare professionals per year, resulting in significant healthcare costs [12]. This underscores the issue of under-treatment or primary misdiagnosis among some patients.

The aim of our study was to identify noninvasive test parameters and symptoms specifically associated with DU, in contrary to BOO. Additionally, we sought to develop a model based on clinical data and uroflowmetry to differentiate impaired detrusor contractility from BOO in non-neurogenic male patients with LUTS.

Materials and methods

Study design and population

We retrospectively reviewed clinical data of consecutive 3161 patients who underwent pressure-flow studies between 2012 and 2022 at two outpatient clinics. The patients were referred for the urodynamic examination due to new-onset or persistent LUTS, failure of conservative treatment, planned

urological surgery, failure of invasive approach or planned kidney transplant. The cohort was tested negative for urinary tract infection with urine culture performed prior to the PFS. Patients underwent evaluation by routine clinical tests, namely complete medical history including comorbidities and drug treatment, a Core Lower Urinary Tracts Symptoms score (CLSS) questionnaire [13], and a basic neurological exam [14]. Subsequently, a free flow study and a pressure-flow study were performed. The inclusion criteria were as follows: male gender, age > 18 years old, LUTS, final diagnosis of DU or BOO in the conducted pressure-flow study, uroflowmetry tests performed immediately prior to undergoing pressure-flow study, voided volume on uroflowmetry > 150 ml, informed consent. The exclusion criteria involved the following: neurogenic bladder (any history of neurologic disease), chronic prostatitis, interstitial cystitis, bladder cancer, prostate cancer, bladder stones, prior benign prostatic hyperplasia surgery, incomplete data. The final number of patients included in the study was 229 (Fig. 1). The study was approved by the local Bioethics committee of the Medical University of Warsaw (no. AKBE/335/2023)

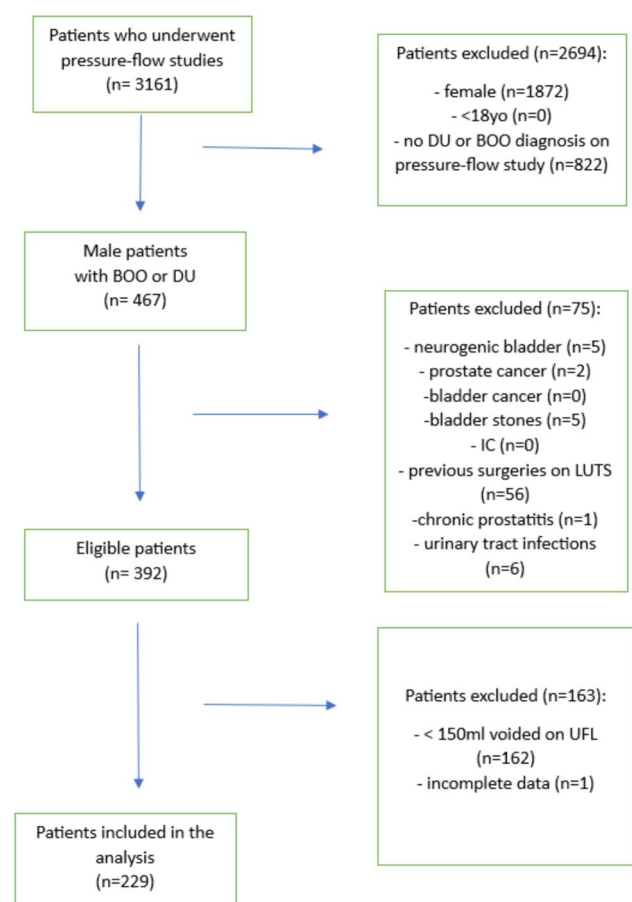


Fig. 1 Flow chart of patients included in the study. *DU* detrusor underactivity, *BOO* bladder outlet obstruction, *UFL* uroflowmetry, *LUTS* lower urinary tract symptoms, *IC* interstitial cystitis

and was conducted in accordance with the ethical standards outlined in the Declaration of Helsinki.

Urodynamic examination

Pressure-flow studies were performed by urodynamic-trained experts according to the International Continence Society (ICS) Good Urodynamics Practices protocol [15]. One used Medtronic devices (Duet Logic G/2, type: 9032A0173) to conduct free flow uroflowmetry with subsequent pressure flow studies with electromyography. The data were stored in the Medtronic software and analyzed according to the ICS recommendations [16].

Uroflowmetry parameters included maximum flow ($Q_{\max}$), mean flow (Q_{mean}), voided volume, time to $Q_{\max}$, post-void residual urine (PVR) and curve shapes, classified as following possible shapes: bell-shaped, prolonged, fluctuating, intermittent, fluctuating-intermittent, plateau. In case of 47 patients, whose UFL curves had evident features of more than 1 of the aforementioned curve shapes, we assigned two shapes to describe their curves (plateau and fluctuating in 29 cases, plateau and fluctuating-intermittent in 18 cases). PVR was measured with the use of abdominal ultrasound after free uroflowmetry and PVR ratio (PVR-R) was calculated as the percentage of PVR to bladder volume (voided volume + PVR). Pressure-flow study was performed promptly after uroflowmetry. Detrusor underactivity was defined as a Bladder Contractility Index (BCI) less than 100, using the equation, $\text{BCI} = \text{Pdet}Q_{\max} + 5Q_{\max}$ [17]. Bladder outflow obstruction (BOO) was defined as a BOO Index (BOOI) greater than 40 using the equation, $\text{BOOI} = \text{Pdet}Q_{\max} - 2Q_{\max}$ [17]. Information from every pressure-flow study underwent meticulous screening for artifacts formation and was manually entered into the database. This approach ensured accuracy and helped to prevent errors that could arise from automated data extraction methods.

Statistical analysis

Baseline patient characteristics were presented as medians with interquartile ranges for continuous variables and numbers with percentages for categorized variables. Differences in continuous variables were compared using the Mann–Whitney *U* test, while categorized variables were evaluated with Fisher's exact test. Logistic regression was utilized for uni- and multivariate analyses. Multivariable analysis was performed with a stepwise selection of variables selected based on univariable analyses. Additional variables, such as age and PVR Ratio were considered due to their clinical importance and because their association with DU was proven in previous studies.

In the stepwise selection procedure, variables were added to the model based on a significance level of 0.2, and once

included, they were reevaluated at each step and removed if their *p*-value exceeded 0.2, continuing until no further improvement was possible. Only statistically significant variables entered the final model. Odds ratios with 95% confidence intervals were derived via logistic regression. Sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV) and negative predictive value (NPV) were also calculated for the model. A cutoff of 0.5 for model predicted probability was used to determine its diagnostic accuracy. Two-sided *p*-values < 0.05 denoted statistical significance. Statistical analysis was performed in the SAS software (version 9.4., SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Results

Patients' baseline characteristics

We enrolled 229 male patients, who presented with LUTS and were assessed with the use of the CLSS questionnaire, then underwent uroflowmetry and pressure-flow studies and had complete medical data available. Baseline characteristics of the patients are available in Table 1. Of the 229 patients, 128 (55.9%) were diagnosed with detrusor underactivity (DU), with a median BCI of 78.5 (IQR 57.8–88) and BOOI of 22 (7.5–40.6). In the DU group, 37 patients simultaneously exhibited features of bladder outlet obstruction, with corresponding BCI of 87.5 (IQR 78–93) and BOOI of 44.8 (IQR 42.8–52) (Online Resource 1). The control group comprised 101 patients (44.1%) diagnosed with BOO without DU, with a median BCI of 124.5 (IQR 112.5–141.5) and BOOI of 64.6 (IQR 52.6–80.8).

Patients diagnosed with detrusor underactivity had a median age of 61.5 years (IQR 49–69.5), while those diagnosed with bladder outlet obstruction had a median age of 63 years (IQR 52–70). Regarding comorbidities, within the DU group, diabetes mellitus (DM) was concurrent in 12 patients (9.38%) and hypothyroidism in 6 patients (4.69%). Whereas, in the BOO group, DM was present in 16 patients (15.8%) and hypothyroidism in 5 (5.0%). Moreover, prior to the first visit and urodynamic tests at our outpatient clinics, 17 patients (13.8%) in the DU group had been prescribed cholinolytics and 36 (29.3%) alpha-blockers by a general practitioner. In the BOO group, 6 patients (6.1%) were administered cholinolytics and 52 (53.1%) alpha-blockers. The continuation of baseline characteristics is available in Online Resource 2.

Symptoms and CLSS questionnaire scores

The predominant lower urinary tract symptoms observed in patients with DU included nocturia in 94 cases (73.4%), weak stream in 87 (68.0%), and frequency in 85 (66.4%).

Table 1 Baseline characteristics of included patients with detrusor underactivity (DU) and with bladder outlet obstruction (BOO) without DU

Variables		BOO (<i>n</i> = 101)		DU (<i>n</i> = 128)		<i>p</i> -value
		No. of patients/ median	% of patients/IQR	No. of patients/ median	% of patients/IQR	
Age	Years	63	52–70	61.5	49–69.5	0.41
<i>Symptoms</i>						
Urgency		64	63.4	80	62.5	0.89
Frequency		60	59.4	85	66.4	0.28
Nocturia		87	86.1	94	73.4	0.02
Weak stream		80	79.2	87	68.0	0.06
Hesitancy		24	23.8	25	19.5	0.44
Intermittency		19	18.8	37	28.9	0.08
Straining		3	3.0	8	6.3	0.25
Incomplete emptying		36	35.6	56	43.8	0.21
Dribble		2	2.0	5	3.9	0.40
<i>CLSS questionnaire</i>						
Frequency	Points	2	0–2	2	0–2	0.19
Nocturia	Points	2	1–3	2	1–2	0.08
Urgency	Points	2	0–2	2	0–2	0.70
Slow stream	Points	2	1–3	3	1.5–3	0.09
Straining	Points	0	0–0	0	0–0	0.008
Incomplete emptying	Points	0	0–3	0	0–3	0.05
<i>Chronic diseases</i>						
DM		16	15.8	12	9.4	0.14
Hypothyroidism		5	5.0	6	4.7	0.93
<i>Drugs</i>						
Cholinolytics		6	6.1	17	13.8	0.06
Alpha-blockers		52	53.1	36	29.3	0.0003
Insulin		3	3.0	3	2.4	0.80
Oral drugs for DM		12	12.0	4	3.3	0.01
Statins		4	4.0	6	4.9	0.75

CLSS Core Lower Urinary Tract Symptoms score, DM diabetes mellitus

It was followed by urgency, present in 80 patients (62.5%), incomplete emptying in 56 (43.8%) and intermittency in 37 (28.9%). The least frequently reported symptoms in DU patients were hesitancy in 25 (19.5%), straining in 8 (6.3%) and dribble in 5 patients (3.9%).

Meanwhile, among patients with BOO, nocturia was the most prominent symptom present in 87 cases (86.1%), followed by weak stream in 80 (79.2%), and urgency in 64 (63.4%). Sixty patients complained of frequency (59.4%), 36 of incomplete emptying (35.6%) and 24 of hesitancy (23.8%). The least common symptoms included intermittency in 19 cases (18.8%), straining in 3 (3%), and dribble in 2 (2%). CLSS questionnaire results are available in Table 1 and the continuation in Online Resource 2.

Uroflowmetry and pressure-flow study

In terms of UFL, patients with DU exhibited a median Qmax of 12 ml/sec (IQR 8.8–14.6), a median voided volume of 284.5 (IQR 185–381.5) and a median PVR of 80 ml (IQR 30–200). Conversely, patients solely diagnosed with BOO demonstrated a median Qmax of 10.6 ml/sec (IQR 8.2–14.2), a median voided volume of 231 ml (IQR 167–344) and a median PVR of 100 ml (IQR 40–200). The predominant UFL curve shapes observed in DU patients were plateau in 47 cases (36.7%) and fluctuating in 45 (35.2%), mirroring the prevailing shapes in the BOO group (*n* = 51, 50.5%, *n* = 28, 27.7%, respectively).

Fluctuating-intermittent curve was present in 38 patients (29.7%), bell-shaped in 22 (17.2%), and intermittent in 5 (3.9%) patients with DU. Meanwhile, in BOO cohort, bell-shaped curve shape occurred in 22 (21.8%), fluctuating-intermittent in 18 (17.8%) and intermittent in only 1 (1.0%) patient. Prolonged curve shape was observed only in 4 patients, all of which were diagnosed with DU. PFS in the DU group revealed a median $Pdet@Q_{max}$ of 37 cm H₂O (IQR 20–51) and a median PVR of 178.5 ml (IQR 33.5–314.5), while in the BOO group, these parameters were 80 cm H₂O (IQR 70–93) and 105 ml (IQR 30–176), respectively. Urodynamic findings are detailed in Table 2 and the continuation is available in Online Resource 2.

Univariate logistic regression

Univariate logistic regression analysis showed that presence of nocturia (OR 0.45, 95% CI 0.22–0.89, $p=0.02$), presence of weak stream (OR 0.56, 95% CI 0.30–1.02, $p=0.05$), straining points in CLSS (OR 0.7, 95% CI 0.53–0.94, $p<0.02$), incomplete emptying points in CLSS (OR 1.2, 95% CI 1.00–1.44, $p<0.05$), fluctuating-intermittent curve

shape in UFL (OR 1.95, 95% CI 1.03–3.67, $p<0.04$), plateau curve shape in UFL (OR 0.57, 95% CI 0.34–0.97, $p<0.04$), oral drugs for DM (OR 0.25, 95% CI 0.07–0.79, $p<0.02$) were statistically significant factors for DU diagnosis on PFS. Complete univariate logistic regression analyses for the prediction of DU are demonstrated in Table 3.

Multivariate logistic regression

The final multivariate model incorporated 10 factors, including symptoms, CLSS questionnaire, UFL parameters and UFL curve shapes (Table 4). The model revealed that less prevalent nocturia (OR 0.27, 95% CI 0.12–0.61, $p<0.002$), more prevalent intermittency (OR 2.33, 95% CI 1.08–5.00, $p=0.03$), less prevalent weak stream (OR 0.14, 95% CI 0.05–0.42, $p=0.0004$), lower score in CLSS straining points (OR 0.67, 95% CI 0.48–0.94, $p=0.02$), higher score in CLSS slow stream points (OR 1.81, 95% CI 1.24–2.63, $p=0.002$), higher score in CLSS incomplete emptying points (OR 1.31, 95% CI 1.05–1.63, $p<0.02$), lower PVR Ratio (OR 0.20, 95% CI 0.05–0.87, $p=0.03$), and presence of fluctuating curve shape (OR 2.00, 95% CI 0.99–4.05,

Table 2 Urodynamic findings of included patients with detrusor underactivity (DU) and with bladder outlet obstruction (BOO) without DU

		BOO (<i>n</i> = 101)		DU (<i>n</i> = 128)		<i>p</i> -value
		No. of patients/ median	% of patients/IQR	No. of patients/ median	% of patients/IQR	
<i>UFL parameters</i>						
Q _{max}	ml/sec	10.6	8.2–14.2	12	8.8–14.6	0.18
Voided Volume	ml	231	167–344	284.5	185–381.5	0.09
<i>Q</i> _{mean}	ml/sec	5.5	4.1–7.6	5.7	4.1–7.9	0.64
<i>Q</i> _{max} – <i>Q</i> _{mean} difference	ml/sec	4.9	3.5–7.1	5.7	4.1–7.8	0.06
Voiding time	sec	50	33–75	56.5	38–80	0.19
Time to <i>Q</i> _{max}	sec	11	7–16	13	7–22	0.21
PVR	ml	100	40–200	80	30–200	0.46
PVR ratio		0.24	0.1–0.5	0.23	0.09–0.4	0.22
<i>UFL curve shapes</i>						
Bell-shaped		22	21.8	22	17.2	0.38
Prolonged		0	0	4	3.1	0.07
Fluctuating		28	27.7	45	35.2	0.23
Intermittent		1	1.0	5	3.9	0.17
Fluctuating-Intermittent		18	17.8	38	29.7	0.04
Plateau		51	50.5	47	36.7	0.04
<i>Pressure-flow study parameters</i>						
Q _{max}	ml/sec	8.1	6.6–11.1	6.6	4.5–8.8	<0.0001
Pdet@ <i>Q</i> _{max}	cm H ₂ O	80	70–93	37	20–51	<0.0001
PVR	ml	105	30–176	178.5	33.5–314.5	0.001
BCI		124.5	112.5–141.5	78.5	57.8–88	<0.0001
BOOI		64.6	52.6–80.8	22	7.5–40.6	<0.0001

UFL uroflowmetry, PVR post-void residual urine, Q_{max} maximum flow, Pdet@Q_{max} detrusor pressure at maximum flow, BCI bladder contractility index, BOOI bladder outlet obstruction index

Table 3 Univariate logistic regression analyses of factors predictive for DU in male patients with non-neurogenic LUTS with DU or BOO diagnosed on a PFS

Variables	Detrusor underactivity		
	OR	95% CI	p-value
Age	0.99	0.97–1.01	0.40
<i>Symptoms</i>			
Urgency	0.96	0.56–1.65	0.89
Frequency	1.35	0.79–2.32	<0.28
Nocturia	0.45	0.22–0.89	0.02
Weak stream	0.56	0.30–1.02	0.05
Hesitancy	0.78	0.41–1.47	<0.44
Intermittency	1.76	0.94–3.29	<0.08
Straining	2.18	0.56–8.42	0.26
Incomplete emptying	1.40	0.82–2.40	0.21
Dribble	2.01	0.38–10.58	0.41
<i>CLSS questionnaire</i>			
Frequency points	1.19	0.92–1.54	0.19
Nocturia points	0.80	0.62–1.04	0.09
Urgency points	1.03	0.80–1.32	0.83
Slow stream points	1.16	0.94–1.43	<0.16
Straining points	0.70	0.53–0.94	<0.02
Incomplete emptying points	1.20	1.00–1.44	<0.05
Overall CLSS score points	1.04	0.96–1.12	0.37
<i>UFL</i>			
$Q_{\max}$ ml/sec	1.03	0.98–1.08	0.28
Voided volume ml	1.00	0.99–1.00	0.25
Q_{mean} ml/sec	0.99	0.91–1.09	0.99
$Q_{\max} - Q_{\text{mean}}$ difference ml/sec	1.09	0.99–1.19	<0.06
Voiding time sec	1.004	0.99–1.01	<0.39
Time to $Q_{\max}$ sec	1.007	0.99–1.02	0.24
PVR ml	1	0.99–1.001	0.75
PVR ratio	0.49	0.14–1.72	0.26
<i>UFL curve shapes</i>			
Bell-shaped	0.75	0.39–1.44	0.38
Prolonged	–	–	0.98
Fluctuating	1.41	0.80–2.49	0.23
Intermittent	4.06	0.47–35.35	0.20
Fluctuating-Intermittent	1.95	1.03–3.67	<0.04
Plateau	0.57	0.34–0.97	<0.04
<i>Chronic diseases</i>			
Diabetes mellitus	0.55	0.25–1.22	0.14
Hypothyroidism	0.94	0.28–3.19	0.93
<i>Drugs</i>			
Insulin	0.81	0.16–4.09	0.80
Oral drugs for DM	0.25	0.07–0.79	<0.02

CLSS Core Lower Urinary Tract Symptoms Score, UFL uroflowmetry, PVR post-void residual urine, $Q_{\max}$ maximum flow, Q_{mean} mean flow, DM diabetes mellitus

Table 4 A multivariate logistic regression analysis for predicting DU in male patients with non-neurogenic LUTS

Variables	Detrusor underactivity		
	OR	95% CI	p-value
<i>Symptoms</i>			
Nocturia	0	Ref	–
	1	0.27	0.12–0.61
Intermittency	0	Ref	–
	1	2.33	1.08–5.00
Weak stream	0	Ref	–
	1	0.14	0.05–0.42
<i>CLSS questionnaire</i>			
Straining points		0.67	0.48–0.94
Slow stream points		1.81	1.24–2.63
Incomplete emptying points		1.31	1.05–1.63
<i>UFL parameters</i>			
PVR ratio		0.20	0.05–0.87
<i>UFL curve shapes</i>			
Fluctuating	0	Ref	–
	1	2.00	0.99–4.05
Fluctuating intermittent	0	Ref	–
	1	3.09	1.39–6.86
Intermittent	0	Ref	–
	1	8.11	0.80–82.50

CLSS Core Lower Urinary Tract Symptoms Score, UFL uroflowmetry, PVR post-void residual urine

$p = 0.05$), fluctuating-intermittent curve shape (OR 3.09, 95% CI 1.39–6.86, $p < 0.006$), intermittent curve shape (OR 8.11, 95% CI 0.80–82.50, $p = 0.076$) were significant predictors for DU diagnosis. The risk model constructed on the aforementioned factors for predicting DU diagnosis in patients with LUTS in the course of DU or BOO, achieved a satisfactory Harrell's concordance index (C-index) of 0.783. The sensitivity, specificity, PPV, and NPV of these clinical diagnostic criteria for urodynamic DU were 75.8%, 62.4%, 71.9%, and 67.0%, respectively.

Discussion

In the current study, we have proposed a novel approach for noninvasive testing to be utilized clinically for the prediction of DU in males with non-neurogenic LUTS, when differentiating from BOO. Our final model of good accuracy (c-index nearly 0.8) incorporated 10, both subjective and objective, factors of the following categories: free-flow curve shapes, uroflowmetry parameters, symptoms and symptoms' severity assessed with the use of the CLSS questionnaire. These factors comprised fluctuating, fluctuating-intermittent and intermittent UFL curve shapes, lower PVR Ratio, less

prevalent nocturia, more prevalent intermittency, less prevalent weak stream, lower straining points in CLSS, higher slow stream points in CLSS and higher incomplete emptying points in CLSS.

A particularly innovative aspect of our model is the incorporation of free-flow curve shapes, a parameter that has been explored in only few studies [9, 18]. We found that fluctuating curve shape, fluctuating-intermittent curve shape, and intermittent curve shape on the free-flow are predictive of DU, and not BOO. A study by Matsukawa et al. on males with non-neurogenic LUTS demonstrated results consistent with ours and showed that sawtooth and interrupted waveform curve shape on uroflowmetry are significant predictors of detrusor underactivity, distinguishing it from BOO [19]. Another study revealed that the prolonged/tailed shaped free urine flow curve patterns were independent predictors of BOO when differentiating from DU in female patients with voiding difficulty [18]. However, in our study only 4 patients with DU presented with prolonged curve shapes in UFL, rendering it non-diagnostic. Kocadag et al. compared flow rate curve patterns in female patients with LUTS and found that women without a prolonged void and bell-shaped traces had normal voiding urodynamics in 76% of cases, and the majority could be managed noninvasively. Patients with fluctuating and intermittent flow rate curves demonstrated a variety of urodynamic diagnoses, with a third of cases showing obstruction and a third showing detrusor underactivity. Plateau flow rate curve patterns were associated with urethral obstruction [9]. The aforementioned results underlined the significance of curve shapes in diagnosing the causes of LUTS in patients.

Another factor distinguishing DU from BOO in our model was the lower PVR Ratio (PVR-R). Rubilotta et al. introduced a novel functional parameter, the PVR Ratio, representing the ratio of post-void residual (PVR) urine to bladder volume (BV). Their study, using the ICS nomograms and BCI, revealed that median PVR-R and PVR were notably higher in obstructed and underactive males, compared to patients suffering from LUTS without BOO or DU [20]. Moreover, another study demonstrated that higher PVR-R was a significant predictor for BOO. However, the study compared patients with BOO to those without it, rather than specifically comparing DU to BOO [21]. Previous researches have investigated sheer PVR as a potential predictor of DU, however the results remain inconsistent. Our study did not identify PVR as a predictor of DU. Namitome et al. reported similar findings and demonstrated no significant difference in PVR and bladder voiding efficiency between patients with or without underactive detrusor [8]. Conversely, Jeong et al. observed a significantly increased PVR in male patients over 65 years old with LUTS and detrusor underactivity, compared to those with detrusor overactivity and bladder outlet obstruction [22].

Further variables included in our model encompassed the symptoms. Among these, we identified predictors of DU, as opposed to BOO, which included more prevalent intermittency, less prevalent weak urinary stream, less prevalent nocturia, lower straining score, higher slow stream score and higher incomplete emptying score on the CLSS questionnaire. In line with our findings, Gammie et al. observed a significantly higher prevalence of incomplete emptying and an interrupted urinary stream among patients with DU [7], aligning with our identification of intermittency and higher incomplete emptying score as predictors of DU in the current paper. Other research conducted by Çetinel et al. revealed that the presence of weak urinary stream was a significant predictor of BOO compared to DU and unclassified pressure-flow studies in females [18], a finding consistent with our observations in male population. However, the occurrence of weak urinary stream was also identified as a predictive factor for DU [8], when compared to all patients with non-neurogenic LUTS, such as overactive bladder, rather than solely when compared to those with BOO. Our analysis revealed that absence of weak stream in a patient is predictive of DU. However, if a patient already complains of weak stream, a higher slow stream score becomes a predictor of DU, indicating that if the weak stream occurs, it is more frequent and persistent compared to patients with BOO. A lower straining score was also indicative of DU in our study, suggesting that patients with DU tend to experience less straining, compared to those with BOO. This could be attributed to the nature of BOO, often involving an active obstruction below the bladder, which may require more additional abdominal pressure to overcome it. Additionally, the severity of the obstruction may fluctuate daily, which is potentially influenced by factors such as coexisting inflammation in the lower urinary tract, dietary habits, environmental factors, levels of physical activity and emotional stress or anxiety. However, research on this topic is currently very limited [23].

It is possible that the severity of lower urinary tract symptoms, rather than their sheer occurrence, plays an important role in distinguishing between DU and BOO. In this context, several studies on male population used mostly IPSS questionnaire [8, 24, 25]. However, we opted for the Core Lower Urinary Tract Symptoms score (CLSS) questionnaire proposed by Homma et al., as it is suitable for new patients, including those with multiple diseases, and without a definite diagnosis at first [13].

Our analysis identified less prevalent nocturia as a predictor of DU, a finding not confirmed by other studies distinguishing between DU and BOO [8, 25]. Nevertheless, this result appears plausible, given that the underactive bladder development may stem from damage to the bladder afferent and efferent pathways, or to the lumbosacral spinal cord [26]. Currently, significant emphasis is placed on neural

mechanisms controlling the voiding process, particularly the afferent pathways responsible for monitoring bladder filling volume. The integrity of these pathways is crucial for the detrusor contraction efficiency. Therefore, any disruption to these nerves can lead to diminished bladder volume sensitivity, reduced detrusor contraction strength, or early termination of the voiding reflex. This can further impair voiding efficiency and result in hyposensitive bladder, leading to a lack of need to void at night [27], in contrast to an obstructed bladder outlet. This phenomenon may also account for disrupted bladder sensitivity during the day, and therefore higher incomplete emptying score that was also predictive of DU in our analysis.

In terms of urgency, previous studies indicated that less prevalent urgency was a predictive factor for DU when distinguishing it from BOO [8, 25], although this observation was not statistically significant in our study. The older age of patients included in these studies (median age = 70, IQR 65–76) and thus possibly more advanced damage to afferent and efferent bladder pathways, might potentially account for the discrepancy. Additionally, the study by Namitome et al. included patients with detrusor overactivity, present in 55% of cases [8], which could further explain the difference.

In our study, post-micturition dribble (PMD) was observed infrequently, with only 5 (3.9%) patients exhibiting this symptom in the DU group and 2 (2.0%) patients in the BOO group, rendering it non-diagnostic in our analysis. However, a study by Liu et al. demonstrated a correlation between PMD and voiding symptoms, along with an association with decreased $Q_{\max}$. This suggests a need for further investigation, particularly among older men, as the study noted a significant increase in PMD prevalence with age [28].

It is important to acknowledge that symptoms constitute a subjective factor in the diagnostic process, lean solely on physician–patient dialogue, and demand comprehensive explanation of the medical terms followed by a meticulously taken medical history. This might explain why some studies have indicated that isolated symptoms classified by the International Prostate Symptom Score (IPSS) could not effectively differentiate patients with DU from those with BOO [10, 22], contributing to discrepancies between research findings in this regard.

Finally, in our study, age was not identified as a significant predictive factor for detrusor underactivity, contrary to other researches. These studies indicated an increasing prevalence of DU with advancing age [8, 22]. However, it is important to note that in these studies, the median age of patients was notably higher, with one study reporting a median age of 70 (IQR 65–76) [8] and the other study revealing that 63.8% of men were over 70 years old [22]. In contrast, the median age of patients in our study with

DU is 61.5 (IQR 49–69.5), indicating a relatively younger population. This age distribution may contribute to the lack of statistically significant association between older age and DU diagnosis in our study. Moreover, the incidence of age-related comorbidities was low in our cohort. Statins were taken by only 4 (4.0%) patients in the BOO group and 6 (4.9%) patients in the DU group (Table 1). While age-related comorbidities associated with ischemia and oxidative stress, such as arteriosclerosis, are known to decrease detrusor contractility [27], they are not pertinent to our relatively youthful and healthy study population.

The calculated values for sensitivity, specificity, PPV, and NPV for our multivariate model were 75.8%, 62.4%, 71.9%, and 67.0%, respectively. These values are comparable to or slightly better than other DU predictors and diagnostic methods. Recently, Matsukawa et al. compared intravesical prostatic protrusion (IPP) between patients with detrusor underactivity (DU) and those with bladder outlet obstruction (BOO). They found that a lower IPP was a significant predictor of DU, with an optimal cut-off value of 8.2 mm yielding a sensitivity of 77% and a specificity of 73% [19]. Additionally, Matsukawa et al. identified bladder voiding efficiency (BVE) as a clinical predictor of DU, with a cut-off value of 70% providing a sensitivity of 73% and a specificity of 57% [19]. One study demonstrated that patients with DU had higher PVR compared to the control group, with a cut-off of 147 mL yielding a sensitivity of 60.16% and a specificity of 72.97% for diagnosing DU [24]. A novel study by Ishikawa et al. proposed serum adiponectin level as a DU predictor, with a cut-off value of 7.9 $\mu\text{g/mL}$ providing a sensitivity of 79% and a specificity of 90% [29]. Although promising, serum adiponectin level testing is currently not widely available and remains costly.

Despite variations among studies concerning DU, we are confident that our newly developed model can be integrated into routine clinical practice, particularly during the initial ambulatory visit of patients. This is especially relevant in cases where non-adherence or potential lack of follow-up is suspected, or if a patient expresses reluctance towards undergoing an invasive pressure-flow study. Lastly, there is a high-risk group of patients, particularly those prone to infectious complications, who would greatly benefit if practitioners refrained from invasive tests during the primary diagnostics of LUTS. Conducting a comprehensive medical interview, coupled with the swift and easily applicable Core Lower Urinary Tract Symptoms score (CLSS) questionnaire, followed by a detailed analysis of the UFL curve and PVR volume, proves to be both time-efficient and cost-effective. This approach enables prompt initiation of appropriate medication, facilitating timely management of DU or BOO.

Limitations

There are several limitations to our study that should be acknowledged. Firstly, this was a retrospective analysis, which may introduce biases and limitations inherent to its study design. Secondly, we excluded patients who could not void more than 150 ml on UFL, including those with urinary retention, which eliminated patients with severe voiding conditions and might have affected our results. Additionally, the patient cohort included in our study consisted of individuals with non-neurogenic LUTS suggestive of both BOO and DU, which does not represent the general population, as it was a single geographic and ethnic population study, performed on white Polish males. Therefore, the results obtained in our study are not applicable as a screening tool for a broader population or females. Furthermore, we did not evaluate prostate volume in our study participants, which could have provided additional insights into the relationship between prostate size and voiding dysfunction. Finally, some patients included in the study had already commenced medication affecting voiding patterns before undergoing noninvasive and invasive urodynamic testing.

Despite these limitations, we believe that our study provides valuable insight, particularly given the scarcity of research differentiating DU from BOO based on symptoms and noninvasive test parameters, without reliance on PFS outcomes. The findings of our study offer potential means to distinguish between DU and BOO in males using clinical examination and analysis of UFL parameters, especially in situations where PFS is unavailable or not accepted by patients. This insight seems most valuable when determining the appropriate treatment, whether noninvasive or invasive, such as transurethral prostate resection, in patients exhibiting symptoms indicative of BOO and DU. External validation of our model is warranted, considering other geographic and ethnic populations, to further explore its applicability and compare it with other existing models and diagnostic tools.

Conclusions

Ten factors were identified as predictors of detrusor underactivity in our study, which was done using a comprehensive database of non-neurogenic male patients who underwent pressure-flow studies. These factors include less prevalent weak urinary stream, less prevalent nocturia, more prevalent intermittency, lower straining score, higher slow stream score, and higher incomplete emptying score on the CLSS questionnaire, as well as lower PVR Ratio, fluctuating curve shape, fluctuating-intermittent curve shape, and intermittent curve shape on free-flow uroflowmetry. Utilizing these factors, we developed a predictive model for detrusor underactivity, aiming to estimate the likelihood of

detrusor underactivity in clinical settings without the need for an invasive pressure-flow study.

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1007/s11255-024-04093-7>.

Author contributions Conceptualization: Karolina Garbas, Łukasz Zapala, Aleksander Ślusarczyk, Tomasz Piecha; methodology: Karolina Garbas, Łukasz Zapala, Aleksander Ślusarczyk; formal analysis and investigation: Karolina Garbas, Piotr Gwara, Aleksandra Żuk-Łapan, Hanna Piekarczyk; writing—original draft preparation: Karolina Garbas; writing—review and editing: Łukasz Zapala, Aleksander Ślusarczyk, Tomasz Piecha, Piotr Zapala; resources: Łukasz Zapala, Piotr Radziszewski; Supervision: Piotr Radziszewski.

Funding This study received no external funding.

Data availability The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

Declarations

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interest.

Ethical approval The study was approved by the local Bioethics committee of the Medical University of Warsaw (no. AKBE/335/2023).

Human and animal rights and informed consent This study was performed in accordance with all applicable ethical standards including the Helsinki declaration and its amendments, institutional/national research committee standards and international/national/institutional guidelines.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

1. Osman NI, Chapple CR, Abrams P, Dmochowski R, Haab F, Nitti V et al (2014) Detrusor underactivity and the underactive bladder: a new clinical entity? A review of current terminology, definitions, epidemiology, aetiology, and diagnosis. *Eur Urol* 65:389–398. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2013.10.015>
2. Abrams P, Cardozo L, Fall M, Griffiths D, Rosier P, Ulmsten U et al (2003) The standardisation of terminology in lower urinary tract function: report from the standardisation sub-committee of the International Continence Society. *Urology* 61:37–49. [https://doi.org/10.1016/S0090-4295\(02\)02243-4](https://doi.org/10.1016/S0090-4295(02)02243-4)
3. Payne SR, Timoney AG, McKenney ST, den Hollander D, Pead LJ, Maskell RM (1988) Microbiological look at urodynamic studies. *Lancet* 2:1123–1126. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(88\)90534-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(88)90534-x)

4. Foon R, Tooze-Hobson P, Latthe P (2012) Prophylactic antibiotics to reduce the risk of urinary tract infections after urodynamic studies. *Cochrane Database Syst Rev* 10:CD008224. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008224.pub2>
5. Chapple CR, Osman NI, Birder L, Van Koeveeringe GA, Oelke M, Nitti VW et al (2015) The underactive bladder: a new clinical concept? *Eur Urol* 68:351–353. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2015.02.030>
6. Rademakers KLJ, Van Koeveeringe GA, Oelke M (2016) Detrusor underactivity in men with lower urinary tract symptoms/benign prostatic obstruction: characterization and potential impact on indications for surgical treatment of the prostate. *Curr Opin Urol* 26:3–10. <https://doi.org/10.1097/MOU.0000000000000246>
7. Gammie A, Kaper M, Dorrepaal C, Kos T, Abrams P (2016) Signs and symptoms of detrusor underactivity: an analysis of clinical presentation and urodynamic tests from a large group of patients undergoing pressure flow studies. *Eur Urol* 69:361–369. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2015.08.014>
8. Namitome R, Takei M, Takahashi R, Kikutake C, Yokomizo A, Yamaguchi O et al (2020) A prediction model of detrusor underactivity based on symptoms and noninvasive test parameters in men with lower urinary tract symptoms: an analysis of a large group of patients undergoing pressure-flow studies. *J Urol* 203:779–785. <https://doi.org/10.1097/JU.0000000000000616>
9. Kocadag H, Toia B, Axell R, Yasmin H, Pakzad MH, Hamid R et al (2021) A comparison of flow rate curve shape and video-urodynamic findings in women with lower urinary tract symptoms: can flow rate curve shape predict female bladder outflow obstruction or detrusor underactivity? *World J Urol* 39:1591–1595. <https://doi.org/10.1007/s00345-020-03343-4>
10. Kalil J, D'Ancona CAL (2020) Detrusor underactivity versus bladder outlet obstruction clinical and urodynamic factors. *Int Braz J Urol* 46:419–424. <https://doi.org/10.1590/s1677-5538.ibju.2019.0402>
11. Uren AD, Cotterill N, Harding C, Hillary C, Chapple C, Klaver M et al (2017) Qualitative exploration of the patient experience of underactive bladder. *Eur Urol* 72:402–407. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2017.03.045>
12. Sexton CC, Coyne KS, Kopp ZS, Irwin DE, Milsom I, Aiyer LP et al (2009) The overlap of storage, voiding and postmicturition symptoms and implications for treatment seeking in the USA UK and Sweden: EpiLUTS. *BJU Int* 103:12–23. <https://doi.org/10.1111/j.1464-410X.2009.08369.x>
13. Homma Y, Yoshida M, Yamanishi T, Gotoh M (2008) Core Lower Urinary Tract Symptom Score (CLSS) questionnaire: a reliable tool in the overall assessment of lower urinary tract symptoms. *Int J Urol* 15:816–820. <https://doi.org/10.1111/j.1442-2042.2008.02121.x>
14. Cornu JN, Gacci M, Hashim H, Herrmann TRW, Malde S, Netsch C, De Nunzio C, Rieken M, Sakalis V, Tutolo M (2023) EAU guidelines on non-neurogenic male Lower Urinary Tract Symptoms (LUTS). EAU Guidelines. Edn. presented at the EAU Annual Congress Milan. **ISBN 978-94-92671-19-6**
15. Schäfer W, Abrams P, Liao L, Mattiasson A, Pesce F, Spangberg A et al (2002) Good urodynamic practices: uroflowmetry, filling cystometry, and pressure-flow studies. *Neurourol Urodyn* 21:261–274. <https://doi.org/10.1002/nau.10066>
16. ICS Standards 2023. Retrieved from <https://www.ics.org/Publications/ICS%20Standards%202023.pdf>. Accessed 11 Jan 2024
17. Abrams (1999) Bladder outlet obstruction index, bladder contractility index and bladder voiding efficiency: three simple indices to define bladder voiding function. *BJU Int* 84:14–5. <https://doi.org/10.1046/j.1464-410x.1999.00121.x>
18. Çetinel B, Önal B, Selçuk B, Can G, Aferin U, Yıldırım Ö (2022) Urodynamic curve patterns may predict female bladder outlet obstruction and detrusor underactivity. *Urology* 165:150–156. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2022.03.027>
19. Matsukawa Y, Yoshida M, Yamaguchi O, Takai S, Majima T, Funahashi Y et al (2020) Clinical characteristics and useful signs to differentiate detrusor underactivity from bladder outlet obstruction in men with non-neurogenic lower urinary tract symptoms. *Int J Urol* 27:47–52. <https://doi.org/10.1111/iju.14121>
20. Rubilotta E, Balzarro M, Trabacchin N, Righetti R, D'Amico A, Blaivas JG et al (2021) Post-void residual urine ratio: a novel clinical approach to the post-void residual urine in the assessment of males with lower urinary tract symptoms. *Investig Clin Urol* 62:470. <https://doi.org/10.4111/icu.20200560>
21. Cicione A, Lombardo R, Nacchia A, Turchi B, Gallo G, Zammitti F et al (2022) Post-voided residual urine ratio as a predictor of bladder outlet obstruction in men with lower urinary tract symptoms: development of a clinical nomogram. *World J Urol* 41:521–527. <https://doi.org/10.1007/s00345-022-04259-x>
22. Jeong SJ, Kim HJ, Lee YJ, Lee JK, Lee BK, Choo YM et al (2012) Prevalence and clinical features of detrusor underactivity among elderly with lower urinary tract symptoms: a comparison between men and women. *Korean J Urol* 53:342. <https://doi.org/10.4111/kju.2012.53.5.342>
23. Gammack JK (2010) Lower urinary tract symptoms. *Clin Geriatr Med* 26:249–260. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2010.02.006>
24. Luo F, Sun H-H, Su Y-H, Zhang Z-H, Wang Y-S, Zhao Z et al (2017) Assessment of noninvasive predictors of bladder detrusor underactivity in BPH/LUTs patients. *Int Urol Nephrol* 49:787–792. <https://doi.org/10.1007/s11255-017-1539-5>
25. Takahashi R, Takei M, Namitome R, Yamaguchi O, Eto M (2021) Symptoms and noninvasive test parameters that clinically differentiate detrusor underactivity from bladder outlet obstruction without a pressure-flow-based diagnosis in men with lower urinary tract symptoms. *Neurourol Urodyn* 40:303–309. <https://doi.org/10.1002/nau.24558>
26. Jhang J-F, Jiang Y-H, Lee C-L, Kuo H-C (2015) Clinical presentation and underlying pathophysiology of an underactive bladder. *Tzu Chi Med J* 27:1–6. <https://doi.org/10.1016/j.tcmj.2014.08.001>
27. Vale L, Jesus F, Marcelissen T, Rieken M, Geavlete B, Rahnama'i MS et al (2019) Pathophysiological mechanisms in detrusor underactivity: novel experimental findings. *LUTS* 11:92–8. <https://doi.org/10.1111/luts.12257>
28. Liu S-P, Ko P-W, Ho C-H (2023) Prevalence and risk factors of postmicturition dribble in men. *Urol Sci* 34:199–203. https://doi.org/10.4103/UROS.UROS_110_22
29. Ishikawa T, Matsukawa Y, Naito Y, Ishida S, Majima T, Gotoh M (2023) Adiponectin can be a good predictor of urodynamic detrusor underactivity: a prospective study in men with lower urinary tract symptoms. *World J Urol* 41:1117–1124. <https://doi.org/10.1007/s00345-023-04341-y>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Article

Cracking the LUTS Code: A Pre-Urodynamic Tool for DU vs. BOO Diagnosis in Female Patients with Non-Neurogenic LUTS

Karolina Garbas ^{1,*}, Łukasz Zapala ^{1,2}, Aleksander Ślusarczyk ¹, Tomasz Piecha ¹ and Piotr Radziszewski ¹¹ Department of General, Oncological and Functional Urology, Medical University of Warsaw, 02-005 Warsaw, Poland² Urodynamic Lab of Private Hospital "Prostalith", 25-613 Kielce, Poland

* Correspondence: kgarbas98@gmail.com

Abstract: Background: Detrusor underactivity (DU) and bladder outlet obstruction (BOO) are common causes of voiding dysfunction in women with lower urinary tract symptoms (LUTS). However, differentiating between them remains challenging due to overlapping clinical presentations and a reliance on invasive urodynamic studies (UDS). This study aimed to develop a non-invasive, office-based clinical prediction model to distinguish DU from BOO in women with non-neurogenic LUTS. **Methods:** We conducted a retrospective analysis of 88 women who underwent pressure-flow studies at two outpatient clinics between 2012 and 2022. DU was defined using a projected isovolumetric pressure 1 (PIP1) < 30 cm H₂O, and BOO was defined by a Female-Specific Bladder Outlet Obstruction Index (BOOIf) > 18. Clinical symptoms, uroflowmetry (UFL) parameters, and pelvic organ prolapse staging (POP-Q) were evaluated. A multivariate logistic regression model was constructed using a stepwise selection procedure. **Results:** Of the 88 patients, 38 (43.2%) were diagnosed with DU and 50 (56.8%) with BOO. Four predictors were retained in the final model: hesitancy (OR = 2.06, *p* = 0.18), incomplete emptying (OR = 3.52, *p* = 0.02), POP-Q < 3 (OR = 0.15, *p* = 0.02), and longer time to Qmax on UFL (OR = 1.05, *p* = 0.004). The model achieved a Harrell's Concordance Index (C-index) of 0.779. Using a probability cutoff of 0.3, the model demonstrated a sensitivity of 86.8%, specificity of 46.0%, positive predictive value of 55.0%, and negative predictive value of 82.1%. **Conclusions:** We present a novel non-invasive prediction model incorporating clinical symptoms, UFL metrics, and pelvic exam findings that may aid in differentiating DU from BOO in women with LUTS.



Academic Editor: Jean De la Rosette

Received: 21 March 2025

Revised: 8 May 2025

Accepted: 19 May 2025

Published: 23 May 2025

Citation: Garbas, K.; Zapala, Ł.; Ślusarczyk, A.; Piecha, T.; Radziszewski, P. Cracking the LUTS Code: A Pre-Urodynamic Tool for DU vs. BOO Diagnosis in Female Patients with Non-Neurogenic LUTS. *J. Clin. Med.* **2025**, *14*, 3674. <https://doi.org/10.3390/jcm14113674>

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Keywords: detrusor underactivity; female bladder outlet obstruction; LUTS; non-invasive diagnostic methods; uroflowmetry

1. Introduction

Detrusor underactivity (DU) is increasingly recognized as a significant cause of voiding dysfunction (VD) in both men and women. However, data on female DU remain limited and, in some cases, contradictory. The reported prevalence rates of DU vary depending on the study population. Among women with lower urinary tract symptoms (LUTS) without cystocele, DU has been diagnosed in approximately 10% [1] to 17% [2] of cases. Furthermore, evidence suggests that the prevalence of DU increases with age [2]. Accurately determining its true prevalence is challenging due to the long-standing absence of standardized diagnostic criteria. In women attending pelvic floor clinics, DU prevalence varied substantially depending on the applied definition: 33.7% according to Schäfer's detrusor factor, 37.0% using Abrams' Bladder Contractility Index (BCI), and 4.1% based on Jeong's criteria [3].

The International Continence Society (ICS) defines DU as a “*detrusor contraction of reduced strength and/or duration, resulting in prolonged bladder emptying and/or a failure to achieve complete bladder emptying within a normal time span*” [4]. Bladder outlet obstruction, which can present with similar clinical symptoms, is defined as “*the obstruction during voiding, (...) a reduced urinary flow rate and/or presence of a raised post-void residual and an increased detrusor pressure. (...) A urethral stricture or obstruction due to higher degrees of uterovaginal prolapse or obstructed voiding after stress incontinence procedures are among possible causes*” [4].

Distinguishing DU from BOO remains diagnostically challenging, as the symptom overlap is considerable. Currently, urodynamic studies (UDS) are considered the gold standard for evaluating female VD, including DU and BOO [5]. However, until recently, the urodynamic criteria for diagnosing DU in women lacked precision and consistency.

Recent recommendations from the ICS and the Society of Urodynamics, Female Pelvic Medicine & Urogenital Reconstruction (SUFU) strongly advise against using the BCI and its updated version—the ICS-Detrusor Contractility Index (ICS-DCI)—as a standard metric for female VD due to insufficient validation, particularly for diagnosing DU in individual women. While an ICS-DCI value greater than 100 is generally accepted as indicative of adequate detrusor voiding contraction (DVC), the clinical significance of ICS-DCI values below 100 remains unclear [6]. A study assessing isovolumetric contraction pressures found that the Detrusor/Bladder Contractility Index (D[B]CI) significantly overestimates isovolumetric (“stop-test”) detrusor pressures in women. In contrast, projected isovolumetric pressure 1 ($PIP1 = P_{det}Q_{max} + Q_{max}$) has been shown to provide a more reliable estimate [7]. A PIP1 value below 30 cm H₂O has been proposed as the lower limit for normal DVC [6]. For the diagnosis of BOO in females, a Female-Specific Bladder Outlet Obstruction Index (BOOIf) has been introduced, calculated as $P_{det}Q_{max} - 2.2Q_{max}$. A BOOIf value exceeding 18 has been identified as a strong predictor of BOO [8] and has been incorporated into the provisional ICS pressure-flow study (ICS-PFS) nomogram for women [6].

Despite these advancements in invasive diagnostics, no widely accepted non-invasive predictive model currently exists to differentiate DU from BOO in women. Therefore, the objective of this pilot study was to develop a first-stage, non-invasive, office-based model to support the diagnosis of DU in women with non-neurogenic LUTS and to differentiate it from BOO. This approach is intended to assist clinicians in making more efficient, evidence-informed decisions in the diagnostic workup of voiding dysfunction.

2. Materials and Methods

2.1. Patient Selection and Data Collection

We conducted a retrospective analysis of clinical records from 3161 patients who underwent pressure-flow assessments between 2012 and 2022 at two outpatient facilities. Individuals were referred for urodynamic testing due to new or persistent LUTS, unsuccessful conservative management, preoperative evaluation for urological or gynecological procedures, failure of previous invasive interventions, or preparation for kidney transplantation. Prior to undergoing pressure-flow studies (PFS), all patients had presented negative urine cultures confirming the absence of urinary tract infections. Each patient underwent a standard clinical evaluation, which included a thorough medical history covering comorbidities and current medications, completion of the Core Lower Urinary Tract Symptoms (CLSS) questionnaire [9], and a basic neurological examination [10], as previously described [11]. A urogenital examination was performed on every woman, and pelvic organ prolapse was staged according to the Pelvic Organ Prolapse Quantification (POP-Q) system [12]. Following these assessments, both a free-flow test and a PFS were performed.

The inclusion criteria for the study required participants to be adult females experiencing LUTS and diagnosed with either DU or BOO based on pressure-flow findings. Additionally, participants had to provide informed consent, undergo UFL with a voided volume exceeding 150 mL, and then subsequently undergo PFS. Patients were excluded from the study if they had a history of neurogenic bladder, painful bladder syndrome/interstitial cystitis (PBS/IC), bladder cancer, or if their PFS results were inconclusive (e.g., patient-interrupted tests, low voided volume, or displacement of bladder or rectal catheter during examination). Incomplete medical records also led to exclusion. Ultimately, 88 women met all criteria and were included in the final analysis (Figure 1). The study received approval from the Bioethics Committee of the Medical University of Warsaw (approval no. AKBE/335/2023).

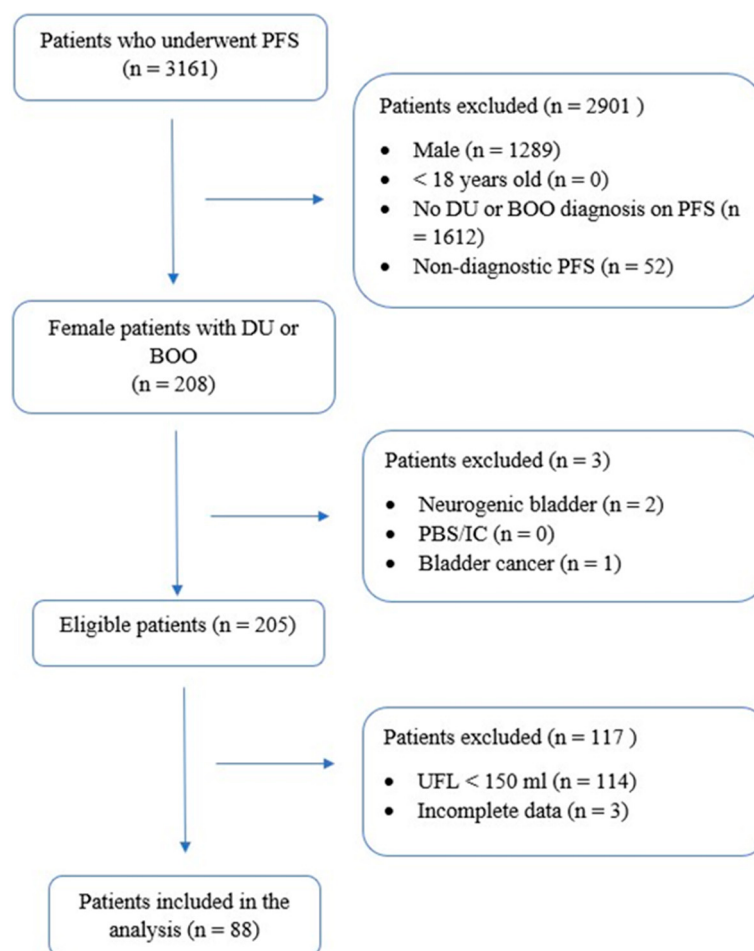


Figure 1. Flow chart of patients included in the final analysis. PFS—pressure-flow study, DU—detrusor underactivity, BOO—bladder outlet obstruction, PBS/IC—painful bladder syndrome/interstitial cystitis, UFL—uroflowmetry.

The evaluated UFL parameters included maximum flow rate ($Q_{\max}$), average flow rate (Q_{av}), voided volume, time to reach $Q_{\max}$, post-void residual urine (PVR), and flow-curve shape. Flow curves were categorized into predefined patterns, including bell-shaped, fluctuating, intermittent, fluctuating-intermittent, plateau, or atypical (not conforming to the aforementioned categories). Post-void residual urine was quantified via abdominal ultrasound following UFL, and the post-void residual ratio (PVR-R) was determined as the proportion of the PVR to total bladder volume (sum of voided volume and PVR). The PFS was conducted after UFL by urodynamic-trained experts in adherence to the ICS Good Urodynamics Practices protocol [13]. DU was identified

based on a Projected Isovolumetric Pressure 1 (PIP1) calculation, using the formula: $PIP1 = PdetQmax + Qmax$ [6]. BOO was diagnosed if the Female BOO Index (BOOI_f), calculated using the equation $BOOI = PdetQmax - 2.2Qmax$, exceeded 18 [6]. The assessments were performed using Medtronic equipment (Duet Logic G/2, model: 9032A0173, Medtronic, Lublin, Poland). All recorded data were stored within the Medtronic software version 1.2 system and analyzed in accordance with ICS guidelines [4]. Each PFS underwent rigorous manual verification to identify and eliminate potential artifacts, ensuring data integrity. All validated findings were manually entered into the study database.

2.2. Statistical Analysis

Baseline demographic and clinical characteristics were summarized using medians with interquartile ranges for continuous variables, while categorical variables were reported as numbers with corresponding percentages. Comparisons of continuous variables were conducted using the Mann–Whitney U test, whereas categorical data were analyzed using Fisher’s exact test. To assess associations between variables, logistic regression was employed for both univariate and multivariate analyses. A multivariable analysis was carried out using a stepwise selection approach, where variables identified as relevant in univariate analyses were systematically introduced into the model. The stepwise selection process involved adding variables to the model based on an inclusion threshold of 0.2. Once incorporated, each variable was reassessed at every stage, and those with a *p*-value exceeding 0.2 were removed, ensuring that only predictors contributing to model optimization remained. This process continued iteratively until no further refinement was possible, and only statistically significant predictors were retained in the final model. Odds ratios with 95% confidence intervals were estimated through logistic regression. To evaluate the model’s performance, sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV), and negative predictive value (NPV) were calculated. The model’s diagnostic accuracy was assessed using a probability cutoff of 0.3. Statistical significance was determined using two-sided *p*-values, with a threshold of <0.05. All statistical analyses were conducted using SAS software (version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Given the limited sample size and preliminary scope, this study should be considered a pilot investigation aimed at generating hypotheses and informing the design of future validation studies.

3. Results

3.1. Baseline Characteristics

Eighty-eight women were included in the final analysis, of which 38 (43.19%) were diagnosed with DU and 50 (56.81%) with BOO. The median age of the patients with BOO was 56 (42–64) and of those with DU 59.5 (44–69). The main presenting symptom in 27 (30.68%) patients with DU was urgency, while among patients with BOO it was both urgency and nocturia, in 37 (42.05%) cases. In the CLSS questionnaire, the DU group recorded the highest median scores for frequency (2 points; range 0–2), nocturia (2 points; range 1–2), and urgency. In contrast, the BOO group’s highest score was for slow stream, with a mean of 3 points (range 0–3). The detailed symptoms and CLSS questionnaire scores are presented in Table 1.

Regarding chronic diseases, within the BOO group, diabetes mellitus (DM) was present in four (4.55%) patients and hypothyroidism in six (6.82%) patients. However, in the DU group, these comorbidities were present in three (3.41%) and six (6.82%) patients, respectively. Moreover, only two patients (2.27%) in the DU group used cholinolytics and none used alpha-blockers. In the BOO group, six patients (6.82%) were administered cholinolytics and three (3.41%) alpha-blockers. The drugs were continued until the urodynamic study.

The continuation of baseline characteristics, including comorbidities and medications used, is presented in Supplementary Table S1.

Table 1. Baseline characteristics of included patients with detrusor underactivity (DU) and bladder outlet obstruction (BOO).

			BOO (<i>n</i> = 50)		DU (<i>n</i> = 38)		<i>p</i> -Value
			No. of Patients/Median	% of Patients/IQR	No. of Patients/Median	% of Patients/IQR	
Age		Years	56	42–64	59.5	44–69	0.22
Symptoms	Urgency		37	42.05	27	30.68	0.76
	Frequency		33	37.50	24	27.27	0.78
	Nocturia		37	42.05	24	27.27	0.27
	Weak stream		21	23.86	19	21.59	0.46
	Hesitancy		11	12.50	14	15.91	0.13
	Intermittency		11	12.50	7	7.95	0.68
	Straining		5	5.68	7	7.95	0.25
	Incomplete emptying		17	19.32	20	22.73	0.08
	Dribble		0	0	1	1.14	0.25
	UUI		23	26.14	21	23.86	0.39
	SUI		25	28.41	16	18.18	0.46
	Pads (daytime)		0	0–3	0	0–3	0.36
	Pads (nighttime)		0	0–0	0	0–0	0.62
CLSS questionnaire	Frequency	points	2	0–2	2	0–2	0.74
	Nocturia	points	2	1–2	2	1–2	0.62
	Urgency	points	2	0–2	2	1–3	0.32
	Slow stream	points	3	0–3	0	0–3	0.35
	Straining	points	0	0–0	0	0–0	0.16
POP assessment	POP-Q < 3		37	42.05	35	39.77	0.03
Delivery method	Vaginal birth		2	1–2	2	0–2	0.10
	Cesarean section		0	0–0	0	0–0	0.44

CLSS—Core Lower Urinary Tract Symptoms score, POP—pelvic organ prolapse, UUI—urge urinary incontinence, SUI—stress urinary incontinence.

On UFL, patients with DU had a median Q_{max} of 15.5 mL/s (10.9–20.1), a median voided volume of 274.5 (207–446), and a median time to Q_{max} of 15 s (6–26). Patients diagnosed with BOO demonstrated a similar median Q_{max} of 16.6 mL/s (11.6–20.5), similar median voided volume of 279 mL (IQR 202–406), and a shorter median time to Q_{max} of 9 s (6–13). The predominant UFL curve shapes observed in DU patients were fluctuating in 18 (20.45%) cases and fluctuating-intermittent in 13 (14.77%), mirroring the prevailing shapes in the BOO group (*n* = 21, 23.86%, *n* = 17, 19.32%, respectively). The median PIP1 in the DU group was 14.25 (7.4–21.9) and in the BOO group, 62.9 (49.7–89.7), while BOOI_f measured 3.2 (0–7) in the DU patients and 34.8 (20.4–60) in the BOO women. Detailed urodynamic findings including the patterns of urine flow and detrusor voiding pressure curves are presented in Table 2.

Table 2. Comparison of urodynamic findings in patients with DU and BOO.

UFL Parameters	Qmax	mL/s	BOO (n = 50)		DU (n = 38)		p-Value
			No. of Patients/Median	% of Patients/IQR	No. of Patients/Median	% of Patients/IQR	
	Voided volume	mL	16.6	11.6–20.5	15.5	10.9–20.1	0.65
	Qav	mL/s	279	202–406	274.5	207–446	0.97
	Qmax–Qav difference	mL/s	6.8	5.3–9.8	6.3	5.5–9.3	0.65
	Voiding time	s	8	5.7–11.4	7.5	5.9–10.4	0.7
	Time to Qmax	s	47.5	29–74	44	35–64	0.99
	PVR	mL	9	6–13	15	6–26	0.06
	PVR ratio		17.5	10–100	45	10–200	0.25
UFL curve shapes	Bell-shape		0.07	0.03–0.26	0.09	0.04–0.34	0.17
	Fluctuating		8	9.09	6	6.82	0.98
	Intermittent		21	23.86	18	20.45	0.62
	Fluctuating-Intermittent		0	0	0	0	
	Plateau		17	19.32	13	14.77	0.98
Pressure-flow study parameters	Qmax	mL/s	13	14.77	8	9.09	0.59
	Pdetmax	cm H ₂ O	9.7	7.4–12.5	3.45	0–7.9	<0.0001
	Pdet@Qmax	cm H ₂ O	64	51–113	12.5	7–21	<0.0001
	PIP1		54.5	40–80	9	7–18	<0.0001
	BOOIf		62.9	49.7–89.1	14.25	7.4–21.9	<0.0001
			34.8	20.4–60	3.2	0–7	<0.0001

UFL—uroflowmetry, PVR—post-void residual urine, Qmax—maximum flow, Qav—mean flow, Pdetmax—maximum detrusor pressure, Pdet@Qmax—detrusor pressure at maximum flow, PIP1—projected isovolumetric pressure 1, BOOIf—Female Bladder Outlet Obstruction Index.

3.2. Uni- and Multivariate Logistic Regression Analyses

In the univariate logistic regression analysis, only the time to Qmax on UFL (OR = 1.03, 95% CI 1.00–1.06, $p = 0.04$) and POP-Q < 3 on physical examination prior to UDS (OR = 4.10, 95% CI 1.08–15.62, $p = 0.04$) were statistically significant predictors of DU ($p < 0.05$). Complete univariate analyses for the prediction of DU are demonstrated in Table 3.

Table 3. Univariate logistic regression analyses of factors predictive for DU in female patients with non-neurogenic LUTS with DU or BOO diagnosed on a PFS.

Detrusor Underactivity					
Variable			OR	95% CI	p-Value
Age	Urgency	yes vs. no	1.01	0.34–2.21	0.76
Symptoms	Frequency	Urgency	0.86	0.37–2.13	0.78
	Nocturia	Frequency	0.88	0.24–1.50	0.28
	Weak stream	Nocturia	0.60	0.59–3.23	0.46
	Hesitancy	Weak stream	1.38	0.81–5.29	0.13
	Intermittency	Hesitancy	2.07	0.28–2.31	0.68
	Straining	Intermittency	0.80	0.59–6.99	0.26

Table 3. Cont.

Detrusor Underactivity						
	Incomplete emptying	Straining	yes vs. no	2.03	0.91–5.12	0.08
	Dribble	Incomplete emptying	yes vs. no	2.16	0.001–999.99	0.99
	UII	Dribble	yes vs. no	>999.99	0.62–3.38	0.39
	SUI	UII	yes vs. no	1.45	0.31–1.70	0.46
	Pads (daytime)	SUI	points	0.73	0.66–1.43	0.87
CLSS questionnaire	Pads (nighttime)	Frequency	points	0.97	0.74–1.67	0.62
	Frequency	Nocturia	points	1.11	0.78–1.76	0.44
	Nocturia	Urgency	points	1.17	0.71–1.73	0.64
	Urgency	UII	points	1.11	0.78–1.60	0.56
	Slow stream	SUI	points	1.11	0.65–1.16	0.34
	Straining	Slow stream	points	0.87	0.88–1.99	0.18
	POP-Q < 3	Straining	points	1.32	0.81–1.45	0.60
		Incomplete emptying	continuous	1.08	0.95–1.05	0.90
UFL		Qmax	continuous	0.99	0.99–1.00	0.77
		Voided volume	continuous	1.0	0.87–1.08	0.58
		Qav	continuous	0.97	0.94–1.09	0.84
		Qmax–Qav difference	continuous	1.01	0.99–1.01	0.63
		Voiding time	continuous	0.99	1.00–1.06	0.04
		Time to Qmax	continuous	1.03	0.99–1.00	0.49
		PVR	continuous	1.00	0.37–24.82	0.30
		PVR ratio	yes vs. no	3.02	0.31–3.12	0.99
UFL curve shapes		Bell-shape	yes vs. no	0.98	0.53–2.91	0.62
		Fluctuating	yes vs. no	1.24	0.42–2.46	0.98
		Fluctuating-intermittent	yes vs. no	1.01	0.28–2.07	0.59
	Vaginal birth	Plateau	yes vs. no	0.76	1.08–15.62	0.04
POP-Q scale	Cesarean section	POP-Q < 3 DM	yes vs. no	4.10	0.21–4.69	0.99
			yes vs. no	0.99	0.14–5.49	0.88
Chronic diseases		Recurring UTIs	yes vs. no	0.87	0.24–31.19	0.42
		Hashimoto	yes vs. no	2.72	0.41–4.66	0.61
		Hypothyroidism	yes vs. no	1.38	95% CI	<i>p</i> -value

CLSS—Core Lower Urinary Tract Symptoms score, UFL—uroflowmetry, PVR—post-void residual urine, Qmax—maximum flow, Qav—mean flow, DM—diabetes mellitus, POP-Q—Pelvic Organ Prolapse-Quantification System, UII—urge urinary incontinence, SUI—stress urinary incontinence.

For the multivariate analysis, variables that demonstrated statistical significance or were on the threshold of significance in the univariate analyses ($p < 0.2$) were selected.

Those parameters included hesitancy, incomplete emptying, straining points in CLSS, time to Qmax on UFL, and POP-Q < 3 in the clinical assessment. The final predictive model comprised three key factors: clinical symptoms, a UFL parameter, and the POP-Q assessment (Table 4).

Table 4. A multivariate logistic regression analysis for predicting DU in female patients with non-neurogenic LUTS.

Detrusor Underactivity					
	Variable		OR	95% CI	p-Value
Symptoms	Hesitancy	0	ref	-	
		1	2.06	0.71–5.98	0.18
	Incomplete emptying	0	ref	-	
		1	3.52	1.27–9.79	0.02
POP-Q scale	POPQ < 3	0	ref	-	
		1	0.15	0.03–0.75	0.02
UFL parameters	Time to Qmax		1.05	1.02–1.09	0.004

UFL—uroflowmetry, POP-Q—Pelvic Organ Prolapse-Quantification System, Qmax—maximum flow.

The model indicated that the occurrences of hesitancy (OR = 2.06, 95% CI 0.71–5.98, $p = 0.18$) and incomplete emptying (OR = 3.52, 95% CI 1.27–9.79, $p = 0.016$), POP-Q < 3 (OR = 0.15, 95% CI 0.03–0.75, $p = 0.02$), and longer time to Qmax on UFL (OR = 1.05, 95% CI 1.02–1.09, $p = 0.004$) were significant predictors of DU diagnosis. The risk model incorporating these predictive factors for DU diagnosis in female patients with non-neurogenic LUTS due to DU or BOO achieved a Harrell's Concordance Index (C-index) of 0.78. To assess the model's diagnostic accuracy, a probability cutoff of 0.3 was applied. The resulting clinical diagnostic criteria for urodynamically confirmed DU exhibited a sensitivity of 86.8%, specificity of 46%, positive predictive value (PPV) of 55%, and negative predictive value (NPV) of 82.1%.

4. Discussion

The present study promotes the hypothesis that the evaluation of clinical symptoms, UFL analysis, and pelvic organ prolapse assessment using the POP-Q scale can serve as a non-invasive method for differentiating DU from BOO in female patients with LUTS. Our analysis led to the development of a predictive model indicating that hesitancy, incomplete emptying, prolonged time to Qmax on UFL, and POP-Q stage < 3 are significant predictors of DU, rather than BOO, in women with non-neurogenic LUTS. To our knowledge, this study is the first to employ PIP1 < 30, as currently recommended by ICS-SUFU [5], as a diagnostic criterion for DU in females. Additionally, it is the first to integrate a POP-Q assessment into a non-invasive model to distinguish between BOO and DU.

The proposed model incorporates clinically accessible parameters that do not require advanced diagnostic tools, beyond standard UFL, and can be assessed without catheterization. This is particularly relevant for elderly patients or those with comorbidities, who may be unable or unwilling to undergo UDS, or who may have difficulty cooperating during the procedure, potentially leading to biased or inconclusive results. Here, the rather young cohort tested had a median age of 56 years. Yet, a non-invasive approach improves patient accessibility and compliance, while also reducing the time and costs associated with diagnosis in all age groups. Early and accurate differentiation between DU and BOO is critical, as timely intervention can prevent complications such as chronic urinary retention,

recurrent infections, and upper urinary tract damage. By offering a practical, efficient, and cost-effective diagnostic tool, this model has the potential to assist clinical decision-making, guide the need for invasive UDS, and optimize healthcare resource utilization.

Due to similarities between the symptoms of DU and BOO, both in men and women, it remains impossible to reliably differentiate between these two disorders based solely on the voiding or storage symptoms [14,15]. A study by D'Alessandro et al. demonstrated that in women attending a urogynecology clinic, among others, voiding/bulging symptoms and anterior and central prolapse were correlated positively with DU, whereas stress urinary incontinence showed an inverse relationship. However, the final diagnostic models exhibited poor accuracy across all evaluated definitions of DU, with the area under the curve (AUC) ranging between 0.64 and 0.72 [16]. Contrary to these findings, our study indicates that clinical symptoms, specifically hesitancy and incomplete emptying, can become valuable predictive factors once integrated into a broader diagnostic model. Although, to our knowledge, no previous studies specifically investigated a symptom-based model differentiating between DU and BOO in females, research in males by Gammie et al. observed incomplete emptying significantly more frequently in DU patients [17], supporting our findings. Nevertheless, it is important to acknowledge that self-reported symptoms are inherently subjective and may introduce variability between patients.

Interestingly, and in alignment with previous observations by Rubilotta et al. our analysis identified a POP-Q stage lower than 3 as a significant predictor of DU. Existing research has demonstrated a high prevalence (40.9%) of DU among patients with pelvic organ prolapse (POP), especially highlighting more severe cystocele in those with DU [18]. Moreover, another study reported that DU was present in approximately half of women undergoing urodynamic evaluation for symptomatic POP, with the likelihood of DU diagnosis increasing substantially at advanced POP stages (stage 4) [18]. Our findings demonstrated that rather mild-to-moderate prolapse (POP-Q < 3) might indicate impaired detrusor function rather than BOO.

UFL has also been extensively studied as a non-invasive diagnostic method to distinguish different types of VD among patients with LUTS. Cheng et al. identified key UFL parameters—Qmax, flow time, and voiding efficiency—as independent risk factors for female BOO in women undergoing UDS; however, they did not explicitly evaluate DU patients [19]. Another study specifically examining DU predictors highlighted prolonged time to Qmax (greater than 13.5 s), altered mean flow ratios, and extended overall flow times as indicators of detrusor impairment, which align closely with our findings, though in a different patient population [20]. Furthermore, one study showed that among free-flow parameters, lower Qmax and higher bladder voiding efficiency were more predictive of BOO compared to DU in a multivariate regression analysis [21]. Our results complement these observations, reinforcing the concept that certain UFL-derived metrics, specifically the prolonged time to Qmax, can reliably support the differentiation between DU and BOO, particularly when interpreted within a structured diagnostic framework.

The diagnostic utility of flow-curve morphology remains more controversial. A recent 2020 study found that bell-shaped flow patterns effectively excluded BOO, whereas prolonged curves primarily indicated obstruction rather than DU. Fluctuating and intermittent curves were associated equally with both conditions, thereby limiting their diagnostic utility for clearly distinguishing between DU and BOO [22]. Another analysis indicated that prolonged or tailed curves were independent predictors for BOO when differentiating from DU or undetermined urodynamic findings (unclassified PFS) [23]. In contrast, in our current study, flow-curve shape did not emerge as a significant differentiating predictor, possibly due to the relatively limited sample size. Surprisingly, and in contrast with previous studies [2,19,24], patient age was not found to be a significant predictor of

DU in our cohort. While age-related decline in detrusor function is well documented, the relatively young median age of our population (median 56 years; IQR 42–64) may explain this discrepancy.

Our study has several limitations that must be acknowledged. First, as a retrospective study, it is inherently subject to selection bias. Second, the relatively small sample size ($n = 88$) may limit statistical power and increase the risk of model overfitting, particularly in the context of a multivariate model with four predictors. While the variables were selected based on both statistical thresholds and clinical plausibility, the robustness of the model remains uncertain due to the limited sample size. Third, the absence of external validation further restricts the generalizability of our findings. The model has not yet been tested in an independent cohort, which is essential to establish its clinical utility. We therefore consider this study to be a pilot investigation aimed at generating hypotheses and informing the design of future validation studies. Another limitation is the lack of data on menopausal status and hormonal therapy, both of which are known to influence detrusor function and LUTS in women. Although medication use (e.g., anticholinergics, alpha-blockers) was recorded, it was not adjusted for in the regression analysis due to heterogeneity and limited subgroup sizes. These unaccounted confounders may have affected the observed associations. Finally, the study population consisted entirely of patients from a single geographic region and ethnic background, which may limit the applicability of our findings to more diverse populations. Future research should focus on prospective validation in larger, multi-center cohorts with broader demographic representation and the incorporation of additional clinical variables to enhance diagnostic accuracy.

5. Conclusions

In summary, we developed a non-invasive prediction model that integrates easily available clinical parameters—hesitancy, incomplete emptying, POP-Q assessment, and time to Qmax on UFL—to assist in differentiating DU from BOO in female patients with LUTS. While many prior attempts at symptom-based or single-parameter differentiation proved insufficient, our combined approach shows promise in terms of diagnostic value and clinical applicability and may serve as a supportive diagnostic aid in selected patients. Future studies in larger and more diverse populations are warranted to prospectively validate and refine the model.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/jcm14113674/s1>. Supplementary Table S1. Baseline characteristics of included patients with detrusor underactivity (DU) and bladder outlet obstruction (BOO), continuation. Supplementary Table S2. Univariable analysis—continuation.

Author Contributions: Conceptualization, K.G. and Ł.Z.; Methodology, K.G., Ł.Z. and A.Ś.; Software, A.Ś.; Formal Analysis, K.G. and Ł.Z.; Investigation, K.G. and T.P.; Resources, Ł.Z. and P.R.; Data Curation, K.G. and A.Ś.; Writing—Original Draft Preparation, K.G.; Writing—Review and Editing, Ł.Z., T.P. and A.Ś.; Supervision, Ł.Z. and P.R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Bioethics Committee of the Medical University of Warsaw (approval no. AKB/335/2023, 11 December 2023).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available upon request from the corresponding author.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

Abbreviations

The following abbreviations are used in this manuscript:

DU	Detrusor Underactivity
VD	Voiding Dysfunction
LUTS	Lower Urinary Tract Symptoms
BOO	Bladder Outlet Obstruction
UDS	Urodynamic Studies
ICS	International Continence Society
SUFU	Society of Urodynamics, Female Pelvic Medicine & Urogenital Reconstruction
BCI	Bladder Contractility Index
ICS-DCI	ICS-Detrusor Contractility Index
DVC	Detrusor Voiding Contraction
D[B]CI	Detrusor/Bladder Contractility Index
PIP1	Projected Isovolumetric Pressure 1
BOOIf	Female-Specific Bladder Outlet Obstruction Index
BOOI	Bladder Outlet Obstruction Index
ICS-PFS	Provisional ICS Pressure-Flow Study (Nomogram)
CLSS	Core Lower Urinary Tract Symptoms (questionnaire)
POP-Q	Pelvic Organ Prolapse Quantification
PFS	Pressure-Flow Studies
UFL	Urine Flow Test (Uroflowmetry)
PVR	Post-Void Residual
PVR-R	Post-Void Residual Ratio
IQR	Interquartile Range
OR	Odds Ratio
CI	Confidence Interval
PPV	Positive Predictive Value
NPV	Negative Predictive Value

References

1. Wu, C.J.; Hsiao, S.M.; Wu, P.C.; Chang, T.C.; Chen, C.H.; Sheu, B.C.; Lin, H.H. Prevalence and predictors of detrusor underactivity and bladder outlet obstruction in women with lower urinary tract symptoms. *Sci. Rep.* **2024**, *14*, 25141. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Wu, P.; Hsiao, S.; Lin, H. Age-specific prevalence, clinical and urodynamic findings of detrusor underactivity and bladder outlet obstruction in female voiding dysfunction. *Int. J. Gynecol. Obstet.* **2024**, *167*, 797–803. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Kitta, T.; Wada, N.; Shinohara, S.; Hayashi, N.; Yamamura, H.; Yamamoto, T.; Takagi, H.; Hatakeyama, T.; Nagabuchi, M.; Morishita, S.; et al. Validation of the area under the Watts factor curve during the voiding cycle as a novel parameter for diagnosing detrusor underactivity in females. *Int. J. Urol.* **2024**, *31*, 1121–1127. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. ICS Standards 2024. Available online: <https://www.ics.org/Publications/ICS%20Standards%202024.pdf> (accessed on 20 October 2024).
5. Rosier, P.F.W.M.; Valdevenito, J.P.; Smith, P.; Sinha, S.; Speich, J.; Gammie, A.; Members of the ICS Working Group PFS23. ICS-SUFU standard: Theory, terms, and recommendations for pressure-flow studies performance, analysis, and reporting. Part 1: Background theory and practice. *Neurourol. Urodyn.* **2023**, *42*, 1590–1602. [[CrossRef](#)]
6. Rosier, P.F.W.M.; Gammie, A.; Valdevenito, J.P.; Speich, J.; Smith, P.; Sinha, S. ICS-SUFU standard: Theory, terms, and recommendations for pressure-flow studies performance, analysis, and reporting, Part 2: Analysis of PFS, reporting, and diagnosis. *Continence* **2023**, *7*, 100709. [[CrossRef](#)]
7. Valentini, F.A.; Marti, B.G.; Robain, G.; Zimern, P.E.; Nelson, P.P. Comparison of indices allowing an evaluation of detrusor contractility in women. *Progrès Urol.* **2020**, *30*, 396–401. [[CrossRef](#)]
8. Lindsay, J.; Solomon, E.; Nadeem, M.; Pakzad, M.; Hamid, R.; Ockrim, J.; Greenwell, T. Treatment validation of the Solomon-Greenwell nomogram for female bladder outlet obstruction. *Neurourol. Urodyn.* **2020**, *39*, 1371–1377. [[CrossRef](#)]
9. Homma, Y.; Yoshida, M.; Yamanishi, T.; Gotoh, M. Core Lower Urinary Tract Symptom Score (CLSS) questionnaire: A reliable tool in the overall assessment of lower urinary tract symptoms. *Int. J. Urol.* **2008**, *15*, 816–820. [[CrossRef](#)]

10. Cornu (Chair), J.N.; Gacci, M.; Hashim, H.; Herrmann, T.R.W.; Malde, S.; Netsch, C.; De Nunzio, C.; Rieken, M.; Sakalis, V.; Tutolo, M.; et al. *Eau Guidelines on the Management of Non-Neurogenic Male LUTS*; EAU: Arnhem, The Netherlands, 2024; ISBN 978-94-92671-23-3.
11. Garbas, K.; Zapala, Ł.; Ślusarczyk, A.; Piecha, T.; Gwara, P.; Żuk-Łapan, A.; Piekarczyk, H.; Zapala, P.; Radziszewski, P. (A)voiding misdiagnosis: Prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS. *Int. Urol. Nephrol.* **2024**, *56*, 3485–3494. [[CrossRef](#)]
12. Bump, R.C. The POP-Q system: Two decades of progress and debate. *Int. Urogynecol. J.* **2014**, *25*, 441–443. [[CrossRef](#)]
13. Schäfer, W.; Abrams, P.; Liao, L.; Mattiasson, A.; Pesce, F.; Spangberg, A.; Sterling, A.M.; Zinner, N.R.; Kerrebroeck, P.V. Good urodynamic practices: Uroflowmetry, filling cystometry, and pressure-flow studies. *Neurourol. Urodyn.* **2002**, *21*, 261–274. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Kalil, J.; D’Ancona, C.A.L. Detrusor underactivity versus bladder outlet obstruction clinical and urodynamic factors. *Int. Braz. J. Urol.* **2020**, *46*, 419–424. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Chan, G.; Qu, L.G.; Gani, J. Urodynamic findings in patients with nocturia and their associations with patient characteristics. *Can. Urol. Assoc. J.* **2022**, *16*, E455. [[CrossRef](#)]
16. D’Alessandro, G.; Palmieri, S.; Cola, A.; Barba, M.; Manodoro, S.; Frigerio, M. Detrusor underactivity prevalence and risk factors according to different definitions in women attending urogynecology clinic. *Int. Urogynecol. J.* **2022**, *33*, 835–840. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
17. Gammie, A.; Kaper, M.; Dorrepaal, C.; Kos, T.; Abrams, P. Signs and Symptoms of Detrusor Underactivity: An Analysis of Clinical Presentation and Urodynamic Tests From a Large Group of Patients Undergoing Pressure Flow Studies. *Eur. Urol.* **2016**, *69*, 361–369. [[CrossRef](#)]
18. Rubilotta, E.; Gubbiotti, M.; Herms, A.; Goldman, H.; Antonelli, A.; Balzarro, M. Detrusor underactivity in symptomatic anterior pelvic organ prolapse. *Cent Eur. J. Urol.* **2024**, *77*, 77–81.
19. Cheng, Y.; Li, T.; Wu, X.; Du, G.; Xu, S. A novel predictive model for noninvasively diagnosing bladder outlet obstruction in female patients based on clinical features and uroflowmetry parameters. *Int. J. Gynecol. Obstet.* **2024**, *166*, 655–662. [[CrossRef](#)]
20. Szmydki, D.; Burzy, B.; Sołtysiak-Gibała, Z.; Przymuszała, P.; Trzewik, M.; Chudek, J.; Owczarek, A.J. Prediction of detrusor underactivity based on non-invasive functional tests and clinical data in patients with symptoms of bladder outlet obstruction. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* **2020**, *24*, 10992–10998.
21. Apostolidis, A. Can We Predict a Diagnosis of Detrusor Underactivity (DUA) or Bladder Outlet Obstruction in Women by Non-invasive Parameters? 2017. Available online: <https://www.morressier.com/article/59b63e40d462b80292389481> (accessed on 4 March 2025).
22. Kocadag, H.; Toia, B.; Axell, R.; Yasmin, H.; Pakzad, M.H.; Hamid, R.; Greenwell, T.J.; Ockrim, J.L. A comparison of flow rate curve shape and video-urodynamic findings in women with lower urinary tract symptoms: Can flow rate curve shape predict female bladder outflow obstruction or detrusor underactivity? *World J. Urol.* **2021**, *39*, 1591–1595. [[CrossRef](#)]
23. Çetinel, B.; Önal, B.; Selçuk, B.; Can, G.; Aferin, U.; Yıldırım, Ö. Urodynamic Curve Patterns may Predict Female Bladder Outlet Obstruction and Detrusor Underactivity. *Urology* **2022**, *165*, 150–156. [[CrossRef](#)]
24. Soedarman, S.; Rahardjo, H.E. Potential predictors of detrusor underactivity in a urology outpatient clinic: A 5-year single center experience study. *Med. J. Indones.* **2021**, *30*, 207–210. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

RESEARCH

Open Access



Beyond urodynamics: non-invasive approaches to diagnosing detrusor underactivity in men with lower urinary tract symptoms – a systematic review

Karolina Garbas^{1*} , Łukasz Zapała¹, Aleksander Ślusarczyk¹, Hanna Piekarczyk¹, Tomasz Piecha¹ and Piotr Radziszewski¹

Abstract

Background To evaluate and synthesize existing evidence on non-invasive methods for diagnosing detrusor underactivity (DU) in men presenting with lower urinary tract symptoms (LUTS), focusing on their feasibility and diagnostic accuracy.

Methods A systematic search of PubMed, Scopus, and Web of Science databases was conducted for original articles reporting on non-invasive diagnostic tests for DU in men with LUTS. Data extraction focuses on study characteristics, diagnostic methods, and accuracy. The risk of bias was assessed using the QUADAS-2 tool.

Results Eighteen studies involving 7390 patients, of whom 3194 were diagnosed with DU, were included in our analysis. The evaluated diagnostic methods included ultrasound parameters, biomarkers, uroflowmetry results, symptom questionnaires, and clinical characteristics. Developed models, including those based on artificial intelligence (AI), and nomograms were also assessed. The symptom questionnaire DUA-SQ showed the highest sensitivity of 95.8%, while ultrasound measurements, such as detrusor wall thickness showed 100% specificity but limited sensitivity (42%). Models incorporating clinical variables achieved sensitivity rates of over 75%. Uroflowmetry parameters, particularly presence of "sawtooth" and "interrupted" waveforms, demonstrated sensitivity of 80% and specificity of 87%. Biomarkers, including serum adiponectin and urine NO/ATP ratio, achieved sensitivity of 79% and 88.5%, respectively. AI models showed potential, with sensitivities ranging from 65.9% to 79.7%. Due to the poor quality of the studies and data heterogeneity, meta-analysis was not performed.

Conclusions Non-invasive diagnostic methods for DU, particularly DUA-SQ, ultrasound measurements, and AI models, demonstrate potential, though their accuracies vary. Further research is needed to standardize these methods and enhance their diagnostic reliability.

Trial registration The study protocol was registered with PROSPERO (CRD42024556425). Clinical trial number: not applicable.

Keywords Detrusor underactivity, Non-invasive tests, Underactive bladder, Urodynamics, Pressure flow study, LUTS

*Correspondence:

Karolina Garbas
kgarbas98@gmail.com

¹ Department of General, Oncological and Functional Urology, Medical University of Warsaw, Lindleya 4, 02-005 Warsaw, Poland

Background

Detrusor underactivity (DU) has recently gained attention as a significant phenomenon among patients with lower urinary tract symptoms (LUTS). However, despite



© The Author(s) 2025. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

its growing recognition, the medical condition still lacks a standardized definition and universally accepted diagnostic criteria [1]. The International Continence Society (ICS) defined DU as “a contraction of reduced strength and/or duration, resulting in prolonged bladder emptying and/or failure to achieve complete bladder emptying within a normal time span” [2]. Recently, D’Ancona et al. revised this definition and described DU as “low detrusor pressure or short detrusor contraction time, usually in combination with a low urine flow rate resulting in prolonged bladder emptying and/or a failure to achieve complete bladder emptying within a normal time span” [3].

A separate term, “underactive bladder” (UAB), has been introduced to describe the symptoms associated with DU [4]. Nevertheless, defining UAB is challenging due to its lack of specific symptoms and frequent overlap with those of overactive bladder (OAB) and bladder outlet obstruction (BOO), which makes the diagnosis especially challenging [5]. DU can, thus, present as a wide array of LUTS, including urgency, frequency, and nocturia in the storage phase, as well as hesitancy, weak or interrupted stream, straining to void, and a feeling of incomplete emptying during the voiding phase [6].

The prevalence of DU is estimated to range from 9 to 23% in men under 50 years old, increasing to approximately 48% in men over 70 years old. In older women, the prevalence is estimated to be between 12 and 45% [6]. However, accurately determining prevalence remains difficult due to the absence of widely accepted non-invasive diagnostic methods [5].

The current gold-standard for diagnosing DU, proposed by the ICS, is invasive urodynamics (UDS), which includes cystometry followed by a pressure-flow study (PFS) [7]. However, for an extended period of time, the ICS did not specify exact thresholds for diagnosing DU or define a normal bladder emptying time, leading to unstandardized diagnostic criteria [8]. One of the most commonly used criteria for men in both clinical practice and research is the Bladder Contractility Index (BCI), introduced by Abrams et al. in 1999 [9]. The BCI is calculated using the formula $BCI = P_{det@Q_{max}} + 5Q_{max}$, which in turn provides a quick and easily applicable assessment of detrusor contractility. A BCI below 100 suggests DU, a BCI between 100 and 150 is considered normal, and a BCI greater than 150 indicates the presence of strong detrusor [9].

In 2023, the ICS and the Society of Urodynamics, Female Pelvic Medicine & Urogenital Reconstruction (SUFU) recommended adopting the BCI under the new term “Detrusor Contraction Index” (ICS-DCI), retaining the same formula for use in clinical practice, scientific analyses and cohort reporting [10]. The working group replaced the terms “contractility” with “contraction” and

“bladder” with “detrusor,” and advised using ICS-DCI as a continuous scale to grade detrusor voiding contraction (DVC). They suggested the clinical classes “normal DVC” and “weak DVC”, while also recognizing “strong DVC” and “very weak DVC” for specific sub-cohorts (male patients). Although the group proposed a nomogram (the ICS-PFS plot nomogram) with a recommended cutoff at DCI=100 to differentiate normal from weak DVC, it also called for further studies on the provisional cutoffs of DCI=50 (very weak) and DCI=150 (strong) [10].

In addition to the lack of standardized diagnostic criteria, invasive PFS are usually time-consuming, and may pose a risk of infectious complications in predisposed individuals, while at the same time are not widely accessible due to relatively high costs and the need for highly trained urodynamics specialists. Thus, patients are often reluctant to undergo these invasive procedures because of the associated discomfort and above-mentioned potential risk of infection. Consequently, there has been a growing interest in developing new non-invasive diagnostic methods, including uroflowmetry (UFL) analysis [11, 12], bladder wall thickness (BWT) or detrusor muscle thickness (DMT) measurement via ultrasound [13, 14], use of artificial intelligence (AI) [15, 16] and potential biomarkers in blood serum [17] or urine [18].

Consequently, the aim of our study was to assess the diagnostic value and feasibility of emerging non-invasive tests for diagnosing DU in men with LUTS compared to the invasive gold-standard PFS.

Methods

Search strategy

Our study protocol was registered with PROSPERO (CRD42024556425).

A systematic literature review was performed in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA) statement to identify all scientific studies investigating a non-invasive diagnostic method for DU in men with non-neurogenic LUTS.

The Population, Intervention, Control, Outcome (PICO) framework was used to specify the review question. The following inclusion criteria were considered for evaluation:

- Type of study and study population (P): We included only full-text original studies in English language, published after the year 2000, covering a non-invasive diagnostic method for DU. Non-invasive method meant no need for performing an invasive PFS. The study population consisted of adult men (≥ 18 years old) with non-neurogenic LUTS. We excluded studies that included females in the study group or patients

with neurogenic bladder or any diagnosed neurologic disease that could account for neurogenic LUTS.

- Index test (I): Index tests included any type of non-invasive tests or predictors used for the diagnosis of DU.
- Reference standard (C): In all studies, the reference standard used for the diagnosis of DU must have included PFS (conventional, video, or ambulatory urodynamics).
- Outcome (O): The accuracy of the non-invasive methods was reported using sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV), negative predictive value (NPV) and overall accuracy for the diagnosis of DU.

We searched Medline (PubMed), Scopus and Web of Science databases in June 2024 for all relevant publications to date using the following terms: (“underactive bladder” OR “detrusor underactivity” OR “impaired

detrusor contractility” OR “acontractile detrusor” OR “underactive detrusor” OR “detrusor failure” OR “detrusor areflexia”).

Data selection

Abstracts of all identified studies after exclusion of duplicates ($n=1899$, see Fig. 1 for details) were independently reviewed and screened for eligibility by two authors (KG, ŁZ). Further selected original studies reporting on non-invasive diagnostic methods for DU were reviewed in full text ($n=51$). Disagreements between individual judgments, when present, were referred to the third reviewer (TP), and the final decision was made based on the majority vote of the three reviewers. Finally, we decided to include 18 studies in our review. Studies were only included in our systematic review, if they were original studies in English language with full-text available and

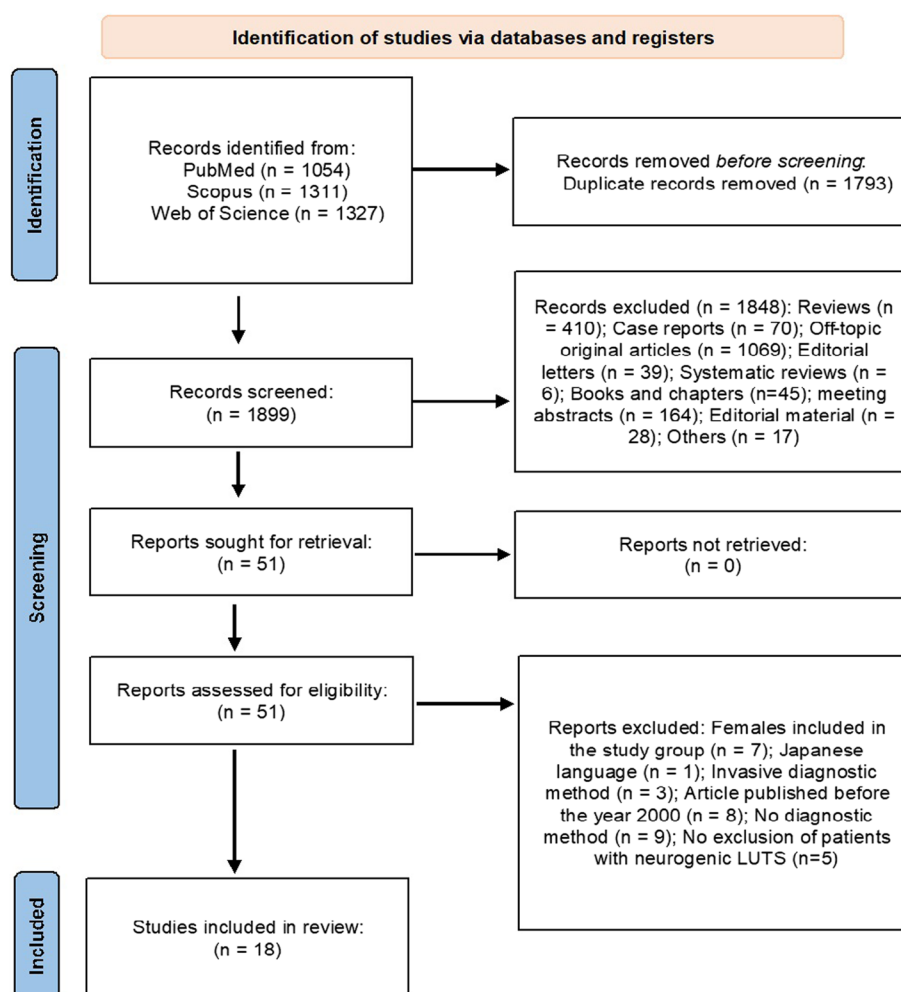


Fig. 1 Flowchart for study selection process using Medline, Web of Science and Scopus databases to identify the original articles investigating a non-invasive diagnostic method for DU in men with non-neurogenic LUTS

they covered any type of non-invasive tests used for the diagnosis of DU or DU predictors in men with non-neurogenic LUTS. Data from the eligible reports and their supplementary data files were extracted by two reviewers independently (KG, HP). Any discrepancies were resolved through consensus among the authors.

Studies that utilized invasive methods, specifically those diagnosing DU through UDS, were excluded [19–21]. Nevertheless, we opted to include two studies [13, 14] that involved cystometry to standardize the level of bladder filling. In these studies, the DMT/BWT ratio and BWT were measured with the use of ultrasound. Our rationale for including these studies was that, despite the invasive nature of cystometry used for standardizing the measurement conditions, the method itself employed ultrasound, which could be used non-invasively in clinical practice. Patients could achieve an appropriate bladder filling by drinking a precise amount of fluids before the test. Studies in which the exclusion criteria did not precisely mention neurogenic bladder or a diagnosed neurogenic disease were excluded [22–26]. We also excluded studies performed before the year 2000, as we found the data outdated in comparison to the most up-to-date knowledge about DU.

Data display

All data extracted from the studies were systematically organized and presented using tables to ensure clarity and facilitate comparison across studies. Descriptive statistics, including means, medians, percentages, and ranges were displayed where applicable. When presenting the accuracy of the examined methods, sensitivity, specificity and prevalence were used to calculate missing NPV and PPV values, where available.

Risk of bias assessment

We used the Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies 2 (QUADAS-2) Critical Appraisal Tool to evaluate the methodological quality and risk of bias in the retrieved studies [27]. Two authors (KG and HP) individually and independently assessed all the studies based on the QUADAS-2 criteria, and any potential disagreements were resolved via consensus between those two authors. In the index test domain, the risk of bias was deemed “low” when the physicians interpreting the test were blinded to the reference standard results, and when the measurement methods were consistent across all patients (e.g., all measurements were performed using abdominal ultrasound). For the reference standard domain, the risk of bias was deemed “low” if the PFS was conducted according to ICS Standards by a physician blinded to the index test results, if both DU and non-DU patients underwent the reference standard, and if the diagnosis

of DU was based on BCI and BOOI values. The risk of bias in the flow and timing domain was considered “low” when patient flow was clearly documented, all patients included in the study were included in the analysis, and all received the same reference standard. Regarding applicability concerns, most studies were assessed as having “low” concerns, with some exceptions. The reference standard domain was classified as “unclear” when diagnostic criteria other than BCI/BOOI were used to diagnose DU. The QUADAS-2 template for tabular display was employed to visualize the risk of bias and applicability [28] and the Robvis tool was utilized to create a summary plot of the risk of bias of all included studies [29].

Results

Characteristics of included studies

This systematic review included 18 studies with a total of 7390 patients, of whom 3194 were diagnosed with DU.

The review comprised 18 observational studies, including cross-sectional studies ($n=17$) and a case–control study ($n=1$). The studies were conducted across multiple geographic regions, with a majority from Asia ($n=13$), followed by Europe ($n=3$), Turkey ($n=1$) and India ($n=1$). The publication dates ranged from 2016 to 2024 (see Table 1 for details).

Sample sizes varied from 44 to 1792 participants, with a median sample size of 252. All studies exclusively involved male patients, with a mean or median age over 50 years. The studies addressed diverse populations, including study groups with pure DU ($n=17$) and comparator groups consisting of individuals without DU ($n=11$), DU combined with BOO ($n=1$), BOO alone ($n=4$), or healthy controls ($n=1$). One study included two separate analyses: one compared a DU group with a DU+BOO+ and BOO group, while the other compared DU+BOO+ to both DU and BOO groups [16]. Baseline characteristics of patients are presented in Table 2.

BCI data were available in 11 studies for both DU and comparator groups and in one study for the DU group only. BOOI data were available in 13 studies. Other UDS data were less commonly reported, with Pdet@Qmax available in 9 studies, Qmax in both DU and comparator groups in 8 studies, and in 1 study for the DU group only. Pdetmax data were reported in only 2 studies (see Table 3 for details).

Three studies employed diagnostic criteria for DU that differed from the commonly used BCI and/or BOOI. One study defined DU by exclusion, identifying DU patients with PVR > 30 ml but without BOO or dysfunctional voiding in PFS [31]. Another study defined DU as Pdet.max < 50 cmH₂O on PFS [36]. A third study used a combination of criteria: BCI < 100, BOOI < 40, and bladder voiding efficiency (BVE) < 90% [13]. Medication

Table 1 Characteristics of the studies included in the systematic review

No	Study	DOI	Country	Study design	Dates of analysed data	Inclusion criteria	Exclusion criteria
1	Kiba et al. 2022 [30]	10.1111/luts.12424	Japan	retrospective cross-sectional study	January 2013—October 2020	men ≥ 50 years without neurogenic disorders with DU or BOO	neither DU nor BOO, surgery for BPH, conditions known to cause neurogenic bladder dysfunction (neurological disease, spinal disease, cerebrovascular infarction, or cerebral hemorrhage), PCa, BCa, incomplete data
2	De Nunzio et al. 2020 [14]	10.1002/nau.24327	Italy	prospectively recruited, retrospective cross-sectional study	January 1996—December 2000	males, ≥ 45 years old, LUTS, informed consent	neurological disorders, renal insufficiency, bladder stones, PCa, urethral stricture, previous pelvic surgery, taking α -blockers and 5- α reductase inhibitors
3	Matsukawa et al. 2020 [11]	10.1111/iju.14121	Japan	prospectively recruited, retrospective cross-sectional study	2010–2017	male patients, total IPSS ≥ 8 , IPSS-QOL ≥ 3 , PV ≥ 20 mL in transabdominal US and age ≥ 45 years	pharmacotherapy for LUTS, bladder calculi, active UTI, suspected of conditions known to cause neurogenic bladder dysfunction (severe diabetes mellitus, neurological disease, history of pelvic surgery, spinal disease, cerebrovascular infarction or cerebral hemorrhage), incomplete data
4	Rademakers et al. (FORCE Research Group) 2017 [31]	10.1007/s00345-016-1902-7	the Netherlands, Germany	prospectively recruited, retrospective cross-sectional study	1 January 2000—31 December 2001	treatment-naïve men ≥ 40 years with clinical BPH, LUTS, and/or PV > 25 mL and able to void without previous medical or surgical therapies for LUTS	α -blockers, 5 α -reductase inhibitors, urinary retention, prior LUT or pelvic surgery, evident PCa or BCa, or a neurologic deficit
5	Matsukawa et al. 2021 [16]	10.1111/iju.14661	Japan	retrospective cross-sectional study	January 2015 to December 2018	male patients, total IPSS of ≥ 8 , IPSS-QOL of ≥ 3 and age of ≥ 45 years	prior LUTS pharmacotherapy, bladder calculi, active UTI or suspected neurogenic bladder dysfunction due to severe DM, neurological disease, history of pelvic surgery, spinal disease, cerebrovascular infarction or cerebral hemorrhage

Table 1 (continued)

No	Study	DOI	Country	Study design	Dates of analysed data	Inclusion criteria	Exclusion criteria
6	Takahashi et al. 2021 [32]	10.1002/nau.24558	Japan	retrospective cross-sectional study	January 2010—January 2017	male LUTS patients who underwent PFS	patients < 50 years, duplicates, with history of BPH surgery, neurogenic bladder, PCa, IC, BCa, bladder LUT, without full PFS data because of urinary retention or minimal VV (< 50 ml), without the data: IPSS, UFL, PVR, and PV; with DO on PFS
7	Namitome et al. 2020 [33]	10.1097/JU.0000000000000616	Japan	retrospective cross-sectional study	January 2010—January 2017	male patients with LUTS, ≥ 50 years old	previous BPH surgery, neurogenic bladder, PCa, IC, BCa, bladder stones, bladder neck contracture, chronic prostatitis, urethral stricture, urinary retention, < 50 ml on PFS, no full data
8	Matsukawa et al. 2023 [34]	10.1080/13685538.2018.1481941	Japan	retrospective cross-sectional study	September 2018—December 2021	men with non-neurogenic LUTS who underwent UFL and PFS	total voided and residual urine volumes in UFL < 100 mL
9	Kim et al. 2019 [35]	10.1080/13685538.2018.1481941	Korea	retrospective cross-sectional study	2000 – 2016	male patients who underwent UDS	DO in UDS, acute urinary retention, neurogenic problems including stroke, Parkinson's disease, spinal cord injury, and acute UTI; low BCI and a high BOOI, suggesting simultaneous DU and BOO
10	Ishikawa et al. 2023 [17]	10.1007/s00345-023-04341-y	Japan	prospective cross-sectional study	April 2018—December 2020	treatment-naïve men aged ≥ 65 years with non-neurogenic LUTS	oral treatment for LUTS, neurogenic bladder dysfunction, bladder calculi, active UTI; severe cardiac disease (NYHA ≥ grade 2), hepatic dysfunction (AST and ALT levels > 2 × the normal values); renal dysfunction (serum creatinine ≥ 2.0 mg/dL); treatment for cancer at the time of study entry, receiving thiazolidinedione derivatives for DM

Table 1 (continued)

No	Study	DOI	Country	Study design	Dates of analysed data	Inclusion criteria	Exclusion criteria
11	Krishnan et al. 2021 [18]	10.1007/s00345-021-03784-5	India	prospective case-control study	June 2017–November 2018	cases: male patients aged 18–70 years with LUTS and PVR of > 150 ml; controls: healthy age- and sex-matched volunteers without any LUTS (zero IPSS Score)	cases: neurogenic bladder dysfunction, medications affecting bladder contractility such as anticholinergics, antipsychotics, opioids or beta-3 agonists; controls: serum creatinine > 2 mg/dl, prolonged use of urethral catheter, active UTI
12	Luo et al. 2017 [36]	10.1007/s11255-017-1539-5	China	retrospective cross-sectional study	January 2013–June 2016	adult men with BPH/LUTS	neurogenic bladder with a confirmed etiology, such as pelvic trauma; previous medical or surgical therapies for BPH/LUTS
13	Lee et al. 2022 [13]	10.1038/s41598-022-09302-w	Korea	prospectively recruited, retrospective cross-sectional study	December 2017–October 2019	male patients ≥ 40 years scheduled for UDS due to LUTS/BPH refractory to medical treatments for > 3 months	medical conditions affecting bladder function and/or structural deformation including neurological disorders of parkinsonism, stroke, MS, urethral stricture, bladder diverticulum, bladder stone, previous BPH or pelvic surgery, and PCa; patients with complications of Clavien–Dindo grading 3 or higher after prostate surgery
14	Bang et al. 2022 [15]	10.4111/icu.20210434	Korea	retrospective cross-sectional study	December 2006–December 2017	males, ≥ 40 years old, who underwent PFS	diseases affecting LUT function, BCa, PCa, previous prostate, bladder, and/or urethral surgeries, indwelling catheters (or needing regular catheterization), history of cerebrovascular accident, neurologic disorders, and spinal or pelvic bone trauma, < 150 mL voided on UFL, insufficient UFL study graphs for analysis

Table 1 (continued)

No	Study	DOI	Country	Study design	Dates of analysed data	Inclusion criteria	Exclusion criteria
15	Lee et al. 2016 [112]	10.4111/icu.2016.57.6437	Korea	retrospective cross-sectional study	2008—2014	men > 50 years old who visited outpatient department complaining of weak stream, hesitation, intermittent urination and residual urine sense, with IPPS ≥ 8 points; normal serum PSA < 3.5 ng/dL, no hematuria or pyuria and no α -blocker, anticholinergics or beta-agonists for min. 8 weeks before evaluation	central or peripheral neurogenic disease including cerebral vascular accident and spinal cord disease, histories of urinary tract abnormalities or lithiasis, surgeries of the pelvic floor or bladder, chronic pelvic pain, cardiovascular disease, patients unable to complete UDS, other UDS criteria than: DU: BCI < 100 cmH ₂ O with BOOI < 20 cmH ₂ O and BOO: BOOI ≥ 40 cmH ₂ O
16	Yoldas 2022 [37]	10.4081/aiua.2022.1.51	Turkey	retrospective cross-sectional study	January 2007—January 2015	males with min. 2 UFLs (and ≥ 150 ml on UFL) and PVR measurements	females, urological malignancies, calculi in the bladder and lower end of the ureter, infection and asymptomatic bacteriuria, transurethral intervention history, neurogenic disease, indwelling catheter or CIC, bedridden patients, missing data
17	Wu et al. 2024 [38]	10.22514/jomh.2024.031	China	retrospective cross-sectional study	January 2018—October 2023	BPH/LUTS patients, informed consent form, 18—100 years old; conscious, compliant, ability to express feelings and independently complete symptom questionnaire; diagnosis made through physical examinations, PV measurement by abdominal US and UDS; DU defined with the PIP < 100	PV > 50 mL; history of prostate surgery, prostate biopsy, medication (antimuscarinic, beta3 agonists, $\alpha 1$ -antagonists, 5 α -reductase inhibitor, intravesical injection of Botulinum Neurotoxin A and hyaluronic acid), acute and chronic prostatitis; urethral stricture, radical pelvic surgery, neurologic disease, OAB, urinary incontinence, DM and no other periferic neurologic condition to explain DU (Tarlov cyst, severe lumbar hernia, pelvic trauma)

Table 1 (continued)

No	Study	DOI	Country	Study design	Dates of analysed data	Inclusion criteria	Exclusion criteria
18	Garbas et al. 2024 [39]	10.1007/s11255-024-04093-7	Poland	retrospective cross-sectional study	2012 – 2022	male gender, age > 18 years old, LUTS, final diagnosis of DU or BOO in PFS, UFL performed immediately prior to undergoing PFS, W on UFL > 150 ml, informed consent	neurogenic bladder (any history of neurologic disease), chronic prostatitis, IC, BCa, PCa, bladder stones, prior BPH surgery, incomplete data

BCI bladder contractility index, BCa bladder cancer, BOO bladder outlet obstruction, BOOI bladder outlet obstruction index, BPH benign prostatic hyperplasia, CIC Clean Intermittent Catheterization, DM diabetes mellitus, DO detrusor overactivity, DU detrusor underactivity, IC interstitial cystitis, IPS International Prostate Symptom Score, IPSS-QOL International Prostate Symptom Score Quality of Life, LUT lower urinary tract, LUTS lower urinary tract symptoms, MS multiple sclerosis, OAB overactive bladder, PCa prostate cancer, PFS pressure flow study, PIP projected isovolumetric pressure, PSA prostate specific antigen, PV prostate volume, PVR post-void residual, UDS urodynamic study, UFL uroflowmetry, US ultrasound, UTI urinary tract infection

Table 2 Baseline characteristics of patients included in the studies. Values are presented as mean +—SD, unless indicated as median (Q1–Q3)

No	Study	Sample size (n)	DU group	Comparator group	DU (n)	Comparator (n)	Age (DU)	Age (comparator)	Medication (DU)	Medication (comparator)	Comorbidities (DU)	Comorbidities (comparator)
1	Kiba et al. 2022 [30]	205	pure DU	DU + BOO +, BOO	63	DU + BOO + 48; pure BOO 94	73.9 + - 6.7	DU + BOO + 71.2 ± 7.1; pure BOO 71.6 ± 6.4	α-1 blocker 47 (75%); Tadalafil 17 (27%); Dutasteride 16 (25%); Anticholinergic agent or beta-3 adrenergic agonist 5 (8%)	DU + BOO + : α-1 blocker 42 (86%); Tadalafil 7 (15%); Dutasteride 25 (52%); Anticholinergic agent or beta-3 adrenergic agonist 5 (10%); BOO + : α-1 blocker 82 (87%); Tadalafil 18 (19%); Dutasteride 42 (45%); Anticholinergic agent or beta-3 adrenergic agonist 18 (19%)	DM: 7 (11%)	DU + BOO + : DM- 5 (10%); pure BOO: DM- 15 (16%)
2	De Nunzio et al. 2020 [14]	448	DU	non-DU	194	254	67.6 ± 7.5	67.8 ± 8.1	no α-blockers and 5-α reductase inhibitors	no α-blockers and 5-α reductase inhibitors		
3	Matsukawa et al. 2020 [11]	418	DU	BOO	145	273	69.5 + - 9.9	69.7 + - 7.1	no LUTS pharmacotherapy	no LUTS pharmacotherapy		
4	Rademakers et al. (FORCE Research Group) 2017 [31]	143	DU	non-DU	33	110	median 62 (59–73)	median 62 (57–68)	no LUTS pharmacotherapy	no LUTS pharmacotherapy		
5	Matsukawa et al. 2021 [16]	264	DU	BOO, DU + BOO +	81	183	70.1 + - 8.8	BOO 68.9 + - 7.2; DU + BOO 71.4 + - 8.3	no LUTS pharmacotherapy	no LUTS pharmacotherapy		
	Matsukawa et al. 2021 [16]		DU + BOO +	DU, BOO	65	199	71.4 + - 8.3	BOO 68.9 + - 7.2; DU 70.1 + - 8.8	no LUTS pharmacotherapy	no LUTS pharmacotherapy		
6	Takahashi et al. 2020 [32]	909	DU	non-DU	454	455	71.7 + - 8.6	69.4 + - 7.6				

Table 2 (continued)

No	Study	Sample size (n)	DU group	Comparator group	DU (n)	Comparator (n)	Age (DU)	Age (comparator)	Medication (DU)	Medication (comparator)	Comorbidities (DU)	Comorbidities (comparator)
7	Namitome et al. 2020 [33]	909	DU	non-DU	454	455			of the whole cohort: some patients with LUTS refractory to medication	of the whole cohort: some patients with LUTS refractory to medication		
8	Matsukawa et al. 2023 [34]	266	DU	non-DU (BOO group, DU + BOO group, and non-DU + non-BOO group)	70	196	69.8 ± 8.7	70.2 ± 7.9				
9	Kim et al. 2019 [35]	318	pure DU	pure BOO	165	153	67 ± 8.8	65 ± 15.1				
10	Ishikawa et al. 2023 [17]	118	DU	non-DU	39	79	median 76 (68–81)	median 76 (68–81)	no α1-blockers, phosphodiesterase type 5 inhibitors, 5α-reductase inhibitors, anticholinergic agents, β3-adrenergic receptor agonists or thiazolidinedione derivatives for DM	no α1-blockers, phosphodiesterase type 5 inhibitors, 5α-reductase inhibitors, anticholinergic agents, β3-adrenergic receptor agonists or thiazolidinedione derivatives for DM	HTN: 27, HL: 28, DM: 7	HTN: 51, HL: 49, DM: 21
11	Krishnan et al. 2021 [18]	44	DU	healthy controls	26	18	56.7 ± 16.7	52.3 ± 14.9	no medications affecting bladder contractility (anticholinergics, antipsychotics, opioids or beta-3 agonists)		DM: 4, BOO: 8	
12	Luo et al. 2017 [36]	704	DU	non-DU	112	592	70.3 ± 8.4	69.6 ± 7.8	no LUTS pharmacotherapy	no LUTS pharmacotherapy	HTN: 53, DM: 11, MI: 21, stroke: 19	HTN: 230, DM: 100, MI: 120, stroke: 99
13	Lee et al. 2022 [13]	94	DU	non-DU	24	70	median 73 (70.5–75.5)	median 71 (66–74)	LUTS treatment > 3 months	LUTS treatment > 3 months		
14	Bang et al. 2022 [15]	1792	pure DU	non-DU	893	899	64.93	64.39				

Table 2 (continued)

No	Study	Sample size (n)	DU group	Comparator group	Comparator DU (n)	Age (DU)	Age (comparator)	Medication (DU)	Medication (comparator)	Comorbidities (DU)	Comorbidities (comparator)
15	Lee et al. 2016 [12]	240	DU	BOO	111	68.01 ± 9.74	68.39 ± 9.29	no LUTS pharmacotherapy for min. 8 weeks prior to UDS	no LUTS pharmacotherapy for min. 8 weeks prior to UDS		
16	Yoldas 2022 [37]	93	pure DU	pure BOO	44	78.54 ± 11.6	64.18 ± 11.1	drugs affecting LUTS stopped 3 days prior to UDS	drugs affecting LUTS stopped 3 days prior to UDS		
17	Wu et al. 2024 [38]	196	DU	non-DU	93	70.7 ± 6.9	67.6 ± 7.4	no antimuscarinic, beta3 agonists, α1-antagonists, 5α-reductase inhibitor	no antimuscarinic, beta3 agonists, α1-antagonists, 5α-reductase inhibitor	HTN: 38, DM: 12, Cardiovascular Disease: 19, Bladder stone: 10, Hyperlipidemia: 38	HTN: 32, DM: 10, Cardiovascular Disease: 13, Bladder stone: 14, Hyperlipidemia: 40
18	Garbas et al. 2024 [39]	229	DU	non-DU	128	median 61.5 (49–69.5)	median 63 (52–70)	cholinolytics: 17, α-blockers: 36, insulin: 3, oral drugs for DM: 4, statins: 6	cholinolytics: 6, α-blockers: 52, insulin: 3, oral drugs for DM: 12, statins: 4	DM: 12, hypothyroidism: 6	DM: 16, hypothyroidism: 5

BOO bladder outlet obstruction, DM diabetes mellitus, DU detrusor underactivity, HL hyperlipidemia, HTN hypertension, LUTS lower urinary tract symptoms, MI myocardial infarction, UDS urodynamic study

Table 3 UDS characteristics of the patients included in the studies. Values are presented as mean +—SD, unless indicated as median (Q1–Q3)

No	Study	UDS criteria for DU diagnosis	UDS criteria for comparator group diagnosis	Pdet@Qmax (DU group)	Pdet@Qmax (comparator group)	Qmax_PFS (comparator group)	Pdetmax (DU group)	Pdetmax (comparator group)	BCI (DU group)	BCI (comparator group)	BOOI (DU group)	BOOI (comparator group)
1	Kiba et al. 2022 [30]	BCI < 100 and BOOI < 40	DU + BOO group: BCI < 100 and BOOI ≥ 40; pure BOO group: BCI ≥ 100 and BOOI ≥ 40	35.3 ± 12.1	DU + BOO +: 66.1 ± 12.3; pure BOO: 98.3 ± 25.4	7.0 ± 2.7	DU + BOO + 4.1 ± 1.8; pure BOO: 5.4 ± 2.5		70.4 ± 19.5	DU + BOO +: 86.5 ± 9.7; pure BOO: 125.4 ± 22.5	21.2 ± 12.4	DU + BOO +: 57.9 ± 14.8; pure BOO: 87.5 ± 28.1
2	De Nunzio et al. 2020 [14]	BCI < 100	BCI > 100	42 ± 16	67 ± 31	6.1 ± 3.1	9.2 ± 5.2		78.8 ± 13.6	130 ± 25	28 ± 20	43 ± 40
3	Matsu-kawa et al. 2020 [11]	BCI ≤ 100 and BOOI ≤ 40	BCI 100 and BOOI > 40						73.1 ± 19.0	127.4 ± 20.6	26.8 ± 9.2	73.2 ± 25.8
4	Rademakers et al. (FORCE Research Group) 2017 [31]	by exclusion: patients with PVR > 30 ml but without BOO or dysfunctional voiding in PFS		median 27.2 (19.8–39.8)	median 58.2 (45.6–76.6)						median 15.6 (5.2–27.2)	median 39.2 (22.9–63.1)
5	Matsu-kawa et al. 2021 [16]	BCI ≤ 100 and BOOI ≤ 40	BOO: BCI > 100 and BOOI > 40						DU: 68.8 ± 18.3	BOO: 121 ± 22; BOO + DU: 84.9 ± 9.1	DU: 27.1 ± 9.8	BOO: 67.8 ± 21.5; BOO + DU: 51.6 ± 8.0
6	Takahashi et al. 2021 [32]	BCI < 100 and BOOI ≤ 40	BOO: BOOI > 40 and BCI ≥ 100						DU + BOO +: 84.9 ± 9.1	BOO: 121 ± 22; DU: 68.8 ± 18.3	DU + BOO +: 51.6 ± 8.0	BOO: 67.8 ± 21.5; DU: 27.1 ± 9.8
7	Nami-tome et al. 2020 [33]	BCI < 100	BOO: BOOI > 40									
8	Matsu-kawa et al. 2023 [34]	BCI < 100 and BOOI < 40	BOO: (BCI ≥ 100, BOOI ≥ 40), DU + BOO: (BCI < 100, BOOI ≥ 40), and non-DU + non-BOO: (BCI ≥ 100, BOOI < 40)						68.6 ± 19.2	BOO: 128.4 ± 20.1; DU + BOO: 86.4 ± 11.0; DU nonBOO: 120.0 ± 16.4	26.0 ± 9.3	BOO: 70.8 ± 23.9; DU + BOO +: 53.7 ± 9.4; non-BOO nonDU: 26.4 ± 13.5
9	Kim et al. 2019 [35]	BCI < 100	BOOI > 40						60.4 ± 30.7	121.9 ± 32.4	13 ± 13.4	63.7 ± 34.5

Table 3 (continued)

No	Study	UDS criteria for DU diagnosis	UDS criteria for comparator group diagnosis	Pdet@Qmax (DU group)	Pdet@Qmax (comparator group)	Qmax_PFS (DU group)	Qmax_PFS (comparator group)	Pdetmax (DU group)	Pdetmax (comparator group)	BCI (DU group)	BCI (comparator group)	BOOI (DU group)	BOOI (comparator group)
10	Ishikawa et al. 2023 [17]	BCI < 100 and BOOI < 40	DO: uninhibited detrusor contraction with an increasing amplitude of ≥ 10 cm H2O during the filling phase			median 7 (4–8)	median 7 (6–11)			median 71 (60–78.5)	median 113 (99–126.5)	median 27 (24.5–32)	median 51 (40–72.5)
11	Krishnan et al. 2021 [18]	BCI < 100, no DO on UDS	age and sex-matched healthy persons (no UDS)	32.3 ± 21.9		4.0 ± 3.2				57.9 ± 27.6			
12	Luo et al. 2017 [36]	Pdetmax < 50 cmH2O						33.45 ± 14.15	97.81 ± 37.3				
13	Lee et al. 2022 [13]	BCI < 100, BVE < 90% and BOOI < 40	BOO: BOOI > 40	35.8 ± 6.7	67.3 ± 26.2	8.3 ± 4.1	9.1 ± 4.3			69.1 ± 21.0	100.1 ± 29.7	22.7 ± 6.3	52.8 ± 28.3
14	Bang et al. 2022 [15]	BCI < 100	BOO: BOOI > 40			11.09	14.67			78.38	127.66	26.22	33.01
15	Lee et al. 2016 [12]	BCI < 100 and BOOI < 20	BOO: BOOI ≥ 40	13.6 ± 0.7	34.7 ± 1.2							15.3 ± 16.5	56.4 ± 16.8
16	Yoldas et al. 2022 [37]	BCI < 100 and BOOI > 40	BCI > 100 and BOOI > 40	34.1 ± 21.31	101.1 ± 40.02	4.2 ± 3.96	6.5 ± 3.98			48.8 ± 27.21	132.5 ± 37.83	20.0 ± 8.82	88.0 ± 40.69
17	Wu et al. 2024 [38]	PIP < 100		32.7 ± 7.8	49.3 ± 11.6	4.4 ± 1.2	13.0 ± 3.0						
18	Garbas et al. 2024 [39]	BCI < 100	BOO: BOOI > 40	median 37 (20–51)	median 80 (70–93)	median 6.6 (4.5–8.8)	median 8.1 (6.6–11.1)	median 46.5 (29–58.5)	median 101 (84–123)	median 78.5 (57.8–88)	median 124.5 (112.5–141.5)	median 22 (7.5–40.6)	median 64.6 (52.6–80.8)

BCI bladder contractility index, BOO bladder outlet obstruction, BOOI bladder outlet obstruction index, DO detrusor overactivity, DU detrusor underactivity, PFS pressure flow study, PIP projected isovolumetric pressure, PVR post-void residual, UDS urodynamic study, BVE bladder voiding efficiency

potentially affecting detrusor function was specified in 14 studies. Studies included patients without LUTS therapy ($n=8$), LUTS therapy was stopped 8 weeks prior to UDS ($n=1$) or 3 days prior to UDS ($n=1$) or patients were on constant medication ($n=4$). One study included patients with LUTS refractory to medication, without detailing their current medication intake, and one study included healthy controls without LUTS or medication. Comorbidities were reported in only 6 studies, with the most prevalent being hypertension (HTN) and diabetes mellitus (DM) (see Table 2 for details).

The investigated non-invasive diagnostic methods

Diagnostic methods, their descriptions, sensitivity, and specificity were demonstrated in Table 4.

Nomograms and scoring models

Five studies developed and applied nomograms or scoring models for DU diagnosis, comparing patients with DU to non-DU individuals. One study introduced a visual nomogram combining age, prostate volume (PV), bladder wall thickness (BWT) measured via ultrasound, and maximum flow rate (Qmax) on UFL. This model demonstrated a 70% predictive probability of DU for patients scoring 14 points, which increased to approximately 93% when the total score reached 16 points [14]. Another study used a three-parameter nomogram composed of International Prostate Symptom Score (IPSS) question 4 (Q4), PV and age. A patient aged 74 or older, with a PV of 34.8 ml or less and an IPSS Q4 score of 1 or lower, scored 3 points in the nomogram, which corresponded to a 77% probability of DU [32]. Namitome et al. developed a five-parameter scoring model that incorporated age, PV, IPSS Q4 and Q5, and Qmax on UFL. In this model, scores of 1, 2, or 5 were assigned to each variable. For example, a 75-year-old male patient (2 points) with an IPSS Q4 score of 2 (1 point), an IPSS Q5 score of 3 (1 point), a PV of 30 ml (2 points) and a Qmax on UFL of 5 ml/sec (2 points) would have a total score of 8 points, corresponding to 72% probability of DU [33]. One study employed a nomogram based on PV and PVR, achieving 77% sensitivity and 73% specificity for DU diagnosis [36]. Another study developed a 10-factor model that incorporated symptoms, the Core Lower Urinary Tract Symptoms score (CLSS), PVR ratio (calculated as the percentage of PVR to bladder volume [voided volume + PVR]), and UFL curve shapes. The ten factors included nocturia, intermittency, weak stream, straining points in CLSS, slow stream points in CLSS, incomplete emptying points in CLSS, PVR ratio, and fluctuating, fluctuating-intermittent and intermittent UFL curve shapes. This model demonstrated sensitivity of 75.8%, similar to the abovementioned models, but had a lower specificity of 62.4% [39].

UFL analysis

Four studies utilized various UFL parameters as a diagnostic method for DU. One study investigated the presence of "sawtooth" and "interrupted" waveforms on UFL, characterized by an interrupted flow curve with three or more discrete peaks, as well as repeated decrease in urine flow to zero followed by an increase, during micturition. This method achieved a sensitivity of 80% and a specificity of 87.2%, for differentiating DU from BOO patients. Additionally, the study assessed bladder voiding efficiency (BVE), defined as the ratio between voided volume and total bladder capacity [9]. However, it performed worse, with a sensitivity of 66% and specificity of 57% [11]. Another study also evaluated the utility of BVE, showing that DU could be diagnosed with a 93% sensitivity and a 60% specificity in men over 80 years old, with UFL measurements indicating voiding efficiency higher than 46% [37]. Lee et al. tested a DeltaQ parameter, calculated as $Q_{\max} - Q_{\text{mean}}$ on UFL. The area under the curve (AUC) for DeltaQ (0.806) was significantly higher than that from $Q_{\max}$ (0.763) and Q_{mean} (0.574). With a cutoff value of 6.65 mL/s, it had a sensitivity of 71.3% and specificity of 70.3% [12]. $Q_{\max}$ was also evaluated in another study, showing a sensitivity of over 80% and specificity of 63%. However, it performed worse than the combined PV and PVR for predicting DU [36].

Ultrasound parameters

Three studies focused on ultrasound parameters. Two investigated detrusor wall thickness (DWT), bladder wall thickness (BWT), or their derivatives, and one assessed intravesical prostatic protrusion (IPP). The FORCE Research Group evaluated DWT in combination with bladder capacity (BC) as a method for diagnosing DU. DWT measurements were taken at the anterior bladder wall, using a 7.5 MHz ultrasound array with the bladder filled to over 250 mL. A mean of three DWT measurements was used for the analysis. BC was calculated as $BC = [\text{voided volume} + \text{PVR}]$ on UFL. A DWT of 1.23 mm or less, combined with BC of over 445 mL demonstrated a 100% specificity for DU diagnosis but had poor sensitivity of only 42% [31]. In contrast, Lee et al. studied the ratio of detrusor muscle thickness (DMT) to BWT, calculated as $(\text{DMT}/\text{BWT} \times 100) \%$, which showed better sensitivity but lower specificity. A thickness ratio of less than 47.5%, measured at 20% of the maximal cystometric capacity (MCC), provided a sensitivity of over 86% and a specificity of approximately 64%. In this study, ultrasound measurements of the DMT and BWT were performed every 50 mL during filling in a cystometric study up to 500 mL or MCC. Both DMT and BWT were measured at the anterior wall of the bladder with the patient in the supine position. BWT was defined as the

Table 4 Characteristics of the non-invasive diagnostic methods

No	Study	Diagnostic method	Measurement method	Threshold/cut-off value	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV	Accuracy (other)	Subgroup analysis	Feasibility of the method	Limitations of the study
1	Kiba et al. 2020 [30]	Smaller PV		PV: 39 ml =	75%	67%	50.2%	85.8%		no		1. Retrospective study; 2. Severe cases included; 3. The BCI and BOOI criteria used for DU diagnosis; 4. 13% of patients had DM
2	De Nunzio et al. 2020 [14]	visual nomogram including: Age, PV, BWT and Qmax on UFL	BWT was measured on the bladder filled to 150 mL, with suprapubic US using the 3.5 MHz convex probe, in the horizontal direction at maximum magnification. PV was measured with transrectal US using the ellipsoid formula (p/6 width height depth of prostate). Analysis of UFL (Qmax) and clinical data (age)	ex. score of 14 corresponds to 70% probability of DU					AUC = 0.82; net benefit in the range of probabilities between 10 and 80%;	severe LUTS group: AUC = 0.84	1. Useful for identifying patients at high risk of DU who should undergo PFS; 2. Patients at low risk of DU could be spared of an invasive test; 3. Could be used in neurological patients (after an external validation)	1. A retrospective study (data collected prospectively) 2. Applicable to males with LUTS; a small prostate nonreceiving medical treatments 3. A small percentage of patients with severe LUTS (30%)
3	Matsukawa et al. 2020 [11]	presence of "sawtooth and interrupted" waveform on UFL lower IPP	When the flow curve showed an interrupted shape with ≥ 3 discrete peaks, as well as with a repeated decrease of urine flow to zero followed by an increase, during micturition IPP = the vertical distance from the tip of the protrusion to the circumference of the bladder at the base of the prostate gland using transabdominal US longitudinal imaging with a bladder urine volume of approximately 150–200 mL	yes vs no 8.2 mm	80%	87.2%	76.8%	89.2%		no	Useful, high-integrity factor to predict DU	1. A retrospective study 2. Difficulty evaluating flow pattern 3. DU defined as BCI < 100 and BOOI < 40, however, the prevalence of DU was reported to be different according to other diagnostic criteria based on a urodynamic measure
4	Rademakers et al. (FORCE Research Group) 2017 [31]	lower BVE DWT on US in combination with BC	US DWT measurements were taken at the anterior bladder wall with a 7.5 MHz US array and bladder filling ≥ 250 mL. A mean of three DWT measurements was used for the analysis. BC = [VV + PVR] on UFL	70% DWT ≤ 1.23 mm with BC > 445 ml	66% 42%	57% 100%	45.1% 100%	76.1% 85%	accuracy of 87%, a likelihood ratio of a positive test result (DU) of 42, and a likelihood ratio of a negative test result (no-DU) of 0.58	no no	Patients with DU could be identified with the two non-invasive parameters and without urodynamic investigation	1. A retrospective study; 2. Small group of patients; 3. Only applicable for male adult male patients (no females, no children with PVR)

Table 4 (continued)

No	Study	Diagnostic method	Measurement method	Threshold/cut-off value	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV	Accuracy (other)	Subgroup analysis	Feasibility of the method	Limitations of the study
5	Matsukawa et al. 2021 [16]	AI based model (for DU diagnosis) AI based model (for DU + BOO + diagnosis)	Model established using tenfold stratified crossvalidation and data augmentation		79.7%	88.7%	75.9%	90.7%	accuracy of 84%	no	The AI system could diagnose LUTD by calculating BCI and BOOI directly from the UFL waveform and could diagnose DU + BOO	1. The AI system did not learn normal patient waveforms. 2. Insufficient evaluation of reproducibility in the same person. 3. Women not analyzed
6	Takahashi et al. 2021 [32]	3-parameters nomogram composed of: 1) IPSS Q4; 2) PV 3) age: 1 point for each factor	PV measured by transrectal or abdominal US; IPSS questionnaire and clinical data analysis (age)	≥ 74 years old, PV ≤ 34.8 , and IPSS Q4 ≤ 1	50.8%	83.2%	49.7%	83.8%	diagnostic predictive value = 50.8%	no	Selected three factors could be useful for differentiating DU from BOO	1. A retrospective study 2. Excluded patients with urinary retention and those who could not void > 50 ml in a PFS 3. PV was evaluated using transrectal or abdominal ultrasonography (variability) 5. Even if all three factors are present, 34% of patients still have BOO and 23% of patients still do not have DU 6. Among non-DU patients with all three factors, 76% of the patients had a BCI ≤ 120 (borderline DU)
7	Namitome et al. 2020 [33]	5-parameter scoring model, including: 1) age, 2) PV, 3) IPSSQ4, 4) IPSSQ5, 5) Qmax on UFL;	PV was measured by transrectal or abdominal US; IPSS questionnaire, UFL analysis, clinical data analysis (age); 1) Age 50–74-0 points, ≥ 75 —2 points; 2) PV: < 30 ml—5 points ≥ 30 and < 50 —2 points, ≥ 50 ml 0 points; 3) IPSS Q4 ≤ 2 —1 point, 4) IPSS Q5 > 2 —1 point; 5) Qmax on UFL: ≤ 5 —2 points, > 5 and ≤ 10 0 1 point, > 10 —0 points						c-index: 0.724; points and predicted probability of DU: 0 points—12%; 11 points—88%	no	The study included patients with BOO and DO, which is important as DU, BOO and DO often overlap clinically	1. No external validation. 2. The effect of medications not considered. 3. Excluded patients with urinary retention or those who could not void > 50 ml in the PFS

Table 4 (continued)

No	Study	Diagnostic method	Measurement method	Threshold/cut-off value	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV	Accuracy (other)	Subgroup analysis	Feasibility of the method	Limitations of the study
8	Matsukawa et al. 2023 [34]	AI-developed UFL-based parameter: 1) lower first peak flow rate	The first peak flow: the point in the voiding wave shape at which the subsequent urine flow rate decreases. Even if the gradient of the urine waveform decreased, it was not judged as the first peak flow unless the gradient was negative	6.5 mL/s	72%	86%	64.7%	89.6%	AUC=0.82	no	The first peak flow can be easily assessed in clinical practice	1. Study required 0.1-s interval measurements of the UFL waveforms. 2. A retrospective study. 3. DU was defined as BCI < 100 and BOOI < 40. 4. The first peak flow parameters may not be useful when VV is too low (< 50 mL). 5. Difficult to diagnose the severity of DU or exactly distinguish DU from BOO + DU
		AI-developed UFL-based parameter: 2) lower ratio of the first peak flow rate to Qmax	Calculated as the first peak flow rate/Qmax	0.8	76%	83%	61.6%	90.6%	AUC=0.85	no		
9	Kim et al. 2019 [35]	Higher score in DUA-SQ: 8-questions questionnaire based on symptoms	8 parameters to assess; each scored 0.5, 10 or 15 points	45 points	95.8%	95.4%	95.8%	95.4%	AUC=0.99	no		1. A retrospective study 2. Difficult to detect patients who overlap with DU and BOO (designed for the differential diagnosis)

Table 4 (continued)

No	Study	Diagnostic method	Measurement method	Threshold/cut-off value	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV	Accuracy (other)	Subgroup analysis	Feasibility of the method	Limitations of the study
10	Ishikawa et al. 2023 [17]	Lower total serum adiponectin level	Total serum adiponectin levels were measured using a particle-enhanced turbidimetric immunoassay at a commercial laboratory using a latex bead-immobilized anti-adiponectin polyclonal antibody	7.9 µg/mL	79%	90%	79.6%	89.7%	AUC = 0.85	no	Adiponectin can be easily measured with good reproducibility	1. Other factors associated with lifestyle-related diseases and MetS not evaluated. 2. A control group of healthy participants or a patients with different BMI and lifestyle-related diseases not included. 3. Patients taking anticholinergic drugs, statins and anti-inflammatory drugs not excluded. 4. DU defined as a BCI < 100 and a BOOI < 40 and most patients had 20 < BOOI < 40. 5. Some patients in the non-DU group with BOOI > 40 but BCI < 100. 6. A cross-sectional study
11	Krishnan et al. 2021 [18]	Higher NO/ATP ratio in urine samples	ELISA kits were used to estimate NO and ATP levels from urine	2.06	88.5%	88.9%	92.0%	84.2%	accuracy of 88.6%, AUC = 0.91	no	Spot urinary levels of NO and ATP might help reach a diagnosis of DU for indeterminate urodynamic findings or help completely avoid UDS	1. Small sample size. 2. DU of different etiologies. 3. Control subjects labeled as usual based on history - the UDS was not performed. 4. DU defined with BCI < 100

Table 4 (continued)

No	Study	Diagnostic method	Measurement method	Threshold/cut-off value	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV	Accuracy (other)	Subgroup analysis	Feasibility of the method	Limitations of the study
12	Luo et al. 2017 [36]	Smaller PV combined with higher PVR	PV and PVR were measured using abdominal US. Prolate ellipsoid formula (volume = $\pi/6 \times \text{length} \times \text{width} \times \text{height}$) was used to obtain the PV	PV = 46.05 ml and PVR = 147 ml	77.8%	73.7%	35.8%	94.6%	AUC = 0.77	no		1. Not all clinical determinants of DU assessed. 2. Only Pdet. max used as the criterion for DU. 3. The threshold of Qmax might be inaccurate as a result of the low values. 4. Small sample size. 5. Results based on Asian men
13	Lee et al. 2022 [13]	Smaller ratio of DMT and BWT = (DMT/BWT × 100) %	US measurements of the DMT and BWT were performed every 50 mL during filling in a cystometric study up to 500 mL or MCC. DMT and BWT were measured at the anterior wall of the bladder with the patient in the supine position	< 47.5% of the thickness ratio at 20% of the MCC	86.7%	64.3%	45.4%	93.4%	AUC = 0.76	no	The thickness ratio remained relatively constant up to 50% of the MCC; thus, measuring the thickness ratio < 50% of the MCC would be more accurate and convenient	1. Small number of DU patients. 2. The age of the two control groups not matched. 3. Difficult to repeat bladder filling for patients diagnosed with DU due to UDS invasiveness. 4. Operator-dependent. 5. Measuring DMT and BWT by US is challenging below 50% of the MCC
14	Bang et al. 2022 [15]	Deep learning-based diagnostic platform based on UFL graphs analysis	UFL graph was extracted automatically using the ABBYY Flexicapture® image capture program. A convolutional neural network (CNN) was applied. A fivefold cross-validation average value of the AUROC curve was chosen as an evaluation metric. The corresponding average precision-recall (PR) curves were provided. The average AUROC scores of DUA were measured using fivefold cross-validation and the best score was obtained with fine-tuned VGG16 network		65.9%	68.9%	67.9%	67.0%	AUROC score = 73.30% (mAP = 0.70)	no		1. Low prediction rate (over 70%). 2. The capacity to set the basis for model predictions confined due to the absence of external data. 3. Excluded patients with both BOO and DU

Table 4 (continued)

No	Study	Diagnostic method	Measurement method	Threshold/cut-off value	Sensitivity	Specificity	PPV	NPV	Accuracy (other)	Subgroup analysis	Feasibility of the method	Limitations of the study
15	Lee et al. 2016 [12]	Smaller DeltaQ = (Qmax—Qmean) on UFL	UFL analysis	6.65 mL/s	71.3%	70.3%	67.5%	74.0%	AUC = 0.81	no		1. A retrospective study. 2. Only patients with DU or BOO, men with mixed urodynamic problems were excluded. 3. Possibly other conditions affect DeltaQ. 5. UDS interpreted by a single urologist. 6. A single institution study
16	Yoldas 2022 [37]	Higher BVE on UFL (for men > 80 years old)*	BVE = VV on UFL/pre-void BC measured on US	46%	93%	60%	67.6%	90.5%	AUC of max. diagnostic value for VE = 0.771	yes; age > 80 years old	Applicable for men over 80 years old	1. The BOOI 20–40 not examined. 2. A cut-off of 40 for AG-number used
17	Wu et al. 2024 [38]	Older age Lower PSA level		66.5 years 2.90 ng/mL	72% 30%	46% 49%	54.6% 34.7%	64.5% 43.7%	AUC = 0.71 AUC = 0.37	no		1. Limited number of participants. 2. Incomplete incorporation of inflammation markers. 3. The hematological markers oversimplified and did not provide accurate representation of patient's condition
18	Garbas et al. 2024 [39]	10-factor model, including nocturia, intermittency, weak stream, straining points in CLSS, slow stream points in CLSS, incomplete emptying points in CLSS, PVR ratio, and fluctuating, fluctuating-intermittent and intermittent UFL curve shapes	medical history, CLSS questionnaire, interpretation of UFL, including curve shape analysis		75.8%	62.4%	71.9%	67.0%	C-index: 0.783	no	Can be useful during the initial ambulatory visit	1. A retrospective study. 2. Excluded patients who could not void > 150 ml on UFL, including those with urinary retention. 3. A single geographic and ethnic population study, performed on white Polish males. 5. PV not evaluated. 6. Some patients on medication affecting voiding

AI artificial intelligence, AUC area under the curve, AUROC area under the receiver operating characteristic curve, BC bladder capacity, BCI bladder contractility index, BMI body mass index, BOO bladder outlet obstruction, BOOI bladder outlet obstruction index, BE bladder voiding efficiency, BWT bladder wall thickness, CLSS core lower urinary tract symptom score, DM diabetes mellitus, DWT detrusor wall thickness, DO detrusor overactivity, DU detrusor underactivity, DUASQ detrusor underactivity symptom questionnaire, IPP intravesical prostatic protrusion, IPSS International Prostate Symptom Score, LUTD lower urinary tract dysfunction, LUTS lower urinary tract symptoms, MCC maximal cystometric capacity, PFS pressure flow study, PSA prostate specific antigen, PSAD prostate-specific antigen, PVR post-void residue, PVR post-void volume, UDS urodynamic study, UFL uroflowmetry, US ultrasound, W voided volume

width of the bladder wall, including the two thin hyper-echoic layers of the mucosa, while DMT was specified as the width of the hypoechoic space, excluding the hyper-echoic layers [13]. The third study investigated IPP, which was calculated as the vertical distance from the tip of the protrusion to the circumference of the bladder at the base of the prostate gland, using transabdominal ultrasonographic longitudinal imaging, with a bladder urine volume of approximately 150–200 mL. In this study, IPP had a significant correlation with BCI and was a useful predictor of DU, with a sensitivity of 77% and a specificity of 66% [11].

Biomarkers

Three studies investigated potential biochemical markers for DU diagnosis, focusing on those detectable in blood and urine samples. Ishikawa et al. examined total serum adiponectin levels, measured using a particle-enhanced turbidimetric immunoassay, as a potential predictor of DU. This method demonstrated a sensitivity of 79% and a specificity of 90% [17]. Krishnan assessed the NO/ATP ratio in urine samples with the use of ELISA kits, comparing DU patients to healthy controls. This marker reached both sensitivity and specificity levels exceeding 88% for DU diagnosis [18]. In contrast, the third study showed that several hematological serum markers, including Prognosis Nutrition Index (PNI), Systemic Immune Inflammation Index (SII), Neutrophil to Lymphocyte Ratio (NLR), and Platelet to Lymphocyte Ratio (PLR), were not significant predictors of DU [38].

Artificial intelligence and machine learning

Three studies incorporated AI and deep learning to diagnose DU. Matsukawa et al. developed an AI-based model established using only UFL data, tenfold stratified cross-validation, and data augmentation, which demonstrated a sensitivity of almost 80% and a specificity of over 88% for DU diagnosis and over 50% sensitivity and 83% specificity for DU + BOO + diagnosis [16]. Another study investigated parameters developed with the help of AI based on UFL, including first peak flow rate and the ratio of the first peak flow rate to Qmax. The first peak flow was defined as the point in the voiding wave shape at which the urine flow rate decreases. Even if the gradient of the urine waveform decreased, it was not judged as the first peak flow unless the gradient was negative. Both parameters showed good diagnostic performance, with sensitivities of 72% and 76%, and specificities of 86% and 83%, respectively [34]. The third study utilized a deep learning diagnostic platform based on UFL graphs analysis, achieving a sensitivity of over 65% and specificity of 68% [15].

Symptom questionnaires

One study developed a new questionnaire, the DUA Symptom Questionnaire (DUA-SQ), consisting of eight targeted questions addressing urinary symptoms. These questions included erectile dysfunction, long duration of void, nocturia, abdomen distention, sensation of void, straining, bowel dysfunction, and weak stream. Each symptom was assessed based on its severity and was assigned a score of 0, 5, 10, or 15 points. The questionnaire demonstrated a sensitivity of 95.8% and a specificity of 95.4% for predicting DU in patients who scored more than 45 points [35].

Additional parameters

Other studies evaluated various parameters, including PV, age, and PSA level. Kiba et al. found that smaller PV, older age, and less urgency may be clinical features of DU. The study identified 39 mL as the optimal cutoff value for PV for the diagnosis of pure DU, with a sensitivity of 75% and a specificity of 67% [30]. Wu et al. examined a PSA cut-off value of 2.9 ng/mL; however, the sensitivity and specificity were low, reaching 30% and 49%, respectively. Age was also considered an ancillary factor in assessing the likelihood of DU [38].

Risk of bias assessment

When assessing the risk of bias using the QUADAS-2 tool, the risk of bias in the patient selection domain was evaluated as “low” for prospectively recruited, retrospectively analyzed cross-sectional studies [11, 13, 14, 17, 31], and “high” for retrospective cross-sectional and case-control studies. In one case-control study [18], applicability concerns were rated as “high” for patient selection and the reference standard, as the control group consisted of healthy individuals without LUTS who did not undergo PFS. Overall, due to the poor quality of the studies and data heterogeneity, the meta-analysis was not performed, and only a qualitative synthesis was conducted. For a detailed risk of bias assessment, see Figs. 2 and 3.

Discussion

In this systematic review, we conducted a comprehensive analysis of non-invasive tests for diagnosing DU in men with non-neurogenic LUTS. Our review underscores the diversity of emerging non-invasive diagnostic methods, which include ultrasound parameters, biomarkers, uroflowmetry results, symptom questionnaires, and clinical characteristics, as well as models developed with the help of AI and machine learning. Notably, the methods identified as having the highest sensitivity and specificity were the symptom questionnaire DUA-SQ and DWT measured with ultrasound in combination

Study	RISK OF BIAS				APPLICABILITY CONCERNS		
	PATIENT SELECTION	INDEX TEST	REFERENCE STANDARD	FLOW AND TIMING	PATIENT SELECTION	INDEX TEST	REFERENCE STANDARD
Kiba et al. 2021	⊗	⊗	⊗	?	😊	😊	😊
de Nunzio et al. 2020	😊	😊	😊	?	😊	😊	😊
Matsukawa et al. 2020	😊	😊	😊	?	😊	😊	😊
Kevin et al. 2017	😊	😊	⊗	😊	😊	😊	?
Matsukawa et al. 2021	⊗	⊗	😊	⊗	😊	😊	😊
Takahashi et al. 2020	⊗	⊗	⊗	😊	😊	😊	😊
Namitome et al. 2020	⊗	⊗	⊗	😊	😊	😊	😊
Matsukawa et al. 2023	⊗	⊗	😊	?	😊	😊	😊
Kim et al. 2018	⊗	⊗	⊗	?	😊	😊	😊
Ishikawa et al. 2023	😊	😊	⊗	?	😊	😊	😊
Krishnan et al. 2021	⊗	😊	⊗	?	⊗	😊	⊗
Luo et al. 2017	⊗	⊗	⊗	?	😊	😊	?
Lee et al. 2022	😊	😊	⊗	?	😊	😊	?
Bang et al. 2022	⊗	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Lee et al. 2016	⊗	⊗	⊗	?	😊	😊	😊
Yoldas M. 2022	⊗	⊗	⊗	😊	😊	😊	😊
Wu et al. 2024	⊗	⊗	⊗	?	😊	😊	😊
Garbas et al. 2024	⊗	⊗	⊗	😊	😊	😊	😊

Fig. 2 Risk of bias and applicability concerns assessment of the studies included in the systematic review using QUADAS-2 tool

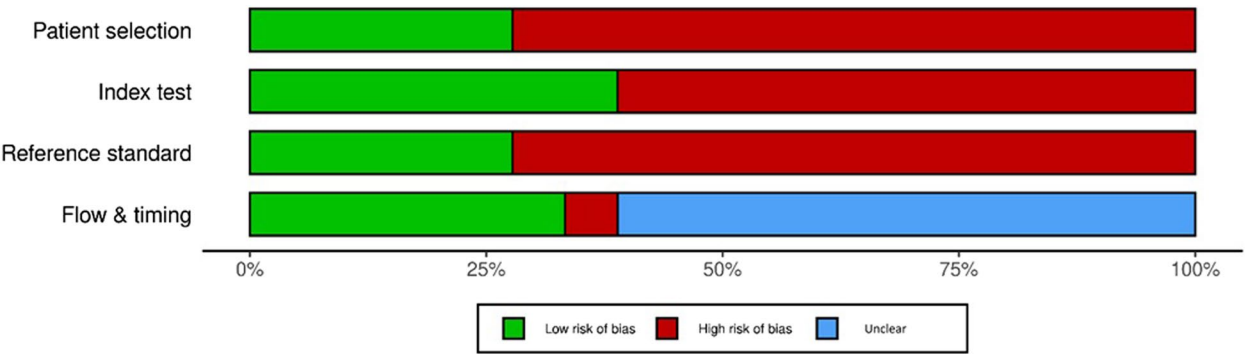


Fig. 3 A summary plot of the risk of bias for main domains of the studies created with the use of the Robvis tool [29]

with BC, respectively. Furthermore, our review highlights the potential role of machine learning and AI in developing predictive models for DU. Our study also reveals the problem of significant variability in the diagnostic criteria for DU. This underscores the need for developing standardized diagnostic criteria in order to improve both the consistency and reliability of DU diagnoses. To our knowledge, this is the first systematic review that comprehensively summarizes the up-to-date data on the non-invasive tests for DU diagnosis in men

with non-neurogenic LUTS, indicating their accuracy, strengths, and limitations.

UDS, currently considered the gold-standard for diagnosing DU, poses several inconveniences for patients, including embarrassment, pain, and dysuria. UDS is also not devoid of complications, such as urinary retention, macroscopic hematuria, or urinary tract infection [40], which can be dangerous for immunocompromised patients. On the contrary, non-invasive diagnostic methods, especially UFL analysis [11, 12], symptom questionnaires [35] and diagnostic nomograms [32, 33, 36, 39], offer a more convenient, non-traumatic, and safer alternative. These methods rely on easily accessible parameters (e.g., UFL, IPSS, age, PV), facilitating quicker diagnoses, even in uncooperative patients and during initial outpatient visits. Additionally, symptoms questionnaires and diagnostic nomograms are intuitive, easy to follow and integrate into daily clinical practice, unlike UDS, which requires highly trained experts for accurate interpretation and diagnosis.

The integration of AI into diagnostic methods has only recently begun but holds significant promise for the future. Matsukawa et al. were pioneers in developing an AI system capable of diagnosing lower urinary tract dysfunction (LUTD) by calculating BCI and BOOI directly from UFL waveforms. Preliminary findings indicated that the AI system diagnosed DU or BOO with high sensitivity and specificity, utilizing only limited data. When the diagnostic accuracy of the AI system was compared to that of three urologists, the AI system outperformed the clinicians, achieving a sensitivity of 80% and a specificity of 100% for DU diagnosis, whereas the urologists had a sensitivity of 46.7% and a specificity of 80% [16]. AI also contributes to the development of new diagnostic parameters derived from established tools like UFL. In another study, Matsukawa et al. proposed using the first peak flow rate and the ratio of the first peak flow rate to Qmax in UFL as diagnostic markers for DU. Both parameters were developed with AI assistance and can be easily implemented into clinical practice [34]. Additionally, deep learning diagnostic platforms, such as one developed by Bang et al., can interpret UFL results and assist clinicians in decision-making by quickly analyzing and comparing vast data sets [15].

The ongoing search for serum or urine biomarkers for DU is also promising, as they could provide more objective diagnostic tools with straightforward interpretation. Ishikawa et al. studied adiponectin, a beneficial adipokine with reported anti-inflammatory and anti-atherogenic properties [41, 42], as a potential DU predictor. Adiponectin was easy to measure and had good reproducibility, with a cutoff value of 8 $\mu\text{g/mL}$, providing high sensitivity and specificity for DU diagnosis. These

findings suggest that adiponectin could serve as a useful screening marker for bladder dysfunction and may potentially predict treatment efficacy for LUTS, including surgical interventions. Nevertheless, the precise relationship between urodynamic parameters and adiponectin remains unclear and warrants further investigation [17]. Another potential biomarker is the NO/ATP ratio in urine samples. Since ATP and nitric oxide (NO) released from the urothelium have been shown to affect the afferent stimuli arising from the bladder [43], Krishnan et al. investigated the NO/ATP ratio in patients with DU, comparing it to healthy, age- and sex-matched volunteers without LUTS. Although the study found no correlation between urinary ATP and NO levels, and urodynamic parameters, the NO/ATP ratio showed excellent discrimination between DU patients and controls, with an area under the curve (AUC) of 0.91. This indicates that urinary NO and ATP levels warrant further exploration as potential DU biomarkers. If implemented, this method would be entirely non-invasive, requiring only urine samples from patients [18].

Despite the strengths of the studies included in this review, several limitations and concerns about the methods, their quality, and reliability remain. Most studies were retrospective, single-center, and conducted in Asia, which introduces selection bias. Moreover, none of the studies published after 2023 applied the newly introduced ICS-SUFU standards on PFS analysis [10], likely because their research began before the updated guidelines took effect. Future studies that avoid relying on a strict DCI < 100 threshold are needed to more precisely assess the detrusor function. Given the limited utility of a single cutoff at 100 for defining a weak detrusor, using DCI as a continuous variable or introducing an additional “very weak” threshold (DCI < 50) may provide greater clinical relevance and utility in daily practice. Additionally, none of the diagnostic methods have undergone external validation, further limiting their applicability. Although Krishnan et al. conducted a case-control study, the control group consisted of healthy, age- and sex-matched volunteers without any LUTS (indicated by a zero IPSS score), who did not undergo UDS. This may have led to overly optimistic findings [18]. Several studies did not account for patient medications [15, 32, 34, 35], included patients on drugs affecting detrusor function [13, 30, 33, 39] or only ceased medication three days prior to UDS [37]. Overlooking the impact of medications on bladder function might have affected the studies’ results. Additionally, some researchers excluded patients who could not void over 150 mL during UFL [15, 37, 39] or whose total voided and residual urine volumes in UFL were under 100 mL [34]. These exclusions limit applicability, as patients with the most severe LUTS were omitted from

the study cohort. It is important to note that some diagnostic tools were restricted to specific patient subgroups. For example, Yoldas developed a diagnostic tool solely for men over 80 years old [37], while de Nunzio et al. created a method applicable to males with LUTS, a small prostate (median 30 g) not receiving medical treatment for LUTS [14]. This suggests that a universal tool applicable to all patients may not exist. Instead, various non-invasive diagnostic methods tailored for specific subgroups might be necessary.

Moreover, even though some methods seem quick and easy to follow, such as the newly developed DUA-SQ, proposed by Kim et al. [35], they are highly subjective. Its results depend on a patient's understanding of symptoms, current well-being, and patient-clinician dialogue, which can lead to significant variability.

Some methods rely on ultrasound to measure BWT [14, 31] or DMT/BWT ratio [13]. To standardize measurement conditions, BWT was assessed in a bladder prefilled with a calculated volume of fluid via catheterization. This approach is suboptimal, as each catheterization increases the risk of urinary tract infection, especially in patients with neutropenia or renal diseases [44]. Moreover, ultrasound diagnoses are operator-dependent, and require consistent training to ensure reproducibility of results.

Other methods are based on UFL analysis, which has already demonstrated diagnostic utility in various urological conditions. Despite the quick and easy implementation of UFL, recent data suggest that several factors, including diurnal, postural, locational, and operator variability, may introduce variability in test results, affecting its overall diagnostic value [45]. Matsukawa et al. faced challenges in precisely evaluating UFL flow patterns, particularly "sawtooth" and "interrupted" waveforms, noting that interpretations could vary between clinicians [11]. A study by Lee et al. identified DeltaQ as the most specific and sensitive UFL parameter, however, it exclusively included patients with DU or BOO, excluding men with mixed urodynamic issues. Limited data on other conditions that may also affect DeltaQ highlights the need for further prospective trials [12].

Regarding DU biomarkers, Ishikawa et al. introduced adiponectin as a possible DU predictor. However, this study did not evaluate other major pathological factors associated with lifestyle-related diseases and metabolic syndrome, such as leptin, TNF- α , or interleukin-6. Furthermore, the study did not include patients with lifestyle-related diseases or varying BMI—the median BMI of 23.0 appeared low compared to Western populations. Lastly, it remains unclear whether serum adiponectin levels increase following LUTS treatment or whether elevated adiponectin levels improve bladder function

[17]. Wu et al. aimed to analyze the potential of systemic inflammatory markers in predicting DU in BPH patients with LUTS and low PV [38]. The study posited that inflammatory markers in the bloodstream might correlate with chronic bladder ischemia, contributing to DU. However, their role as potential markers was not confirmed. It is essential to recognize that identifying new biomarkers and incorporating them into clinical practice can be costly and time-consuming. Additionally, the pathogenesis of DU is multifactorial, involving a complex interplay of aging, neurogenic, myogenic, and iatrogenic factors [46], making it unlikely to find a single universal biomarker for DU.

Recent advancements in AI have also impacted DU diagnostic methods. The initial study by Matsukawa et al. in 2021, which developed an AI-based model, encountered several limitations. The AI system did not learn normal patient waveforms, and the evaluation of reproducibility within the same patient was insufficient. Diagnosing coexisting pathological conditions, such as concurrent DU and BOO, also proved challenging [16]. In 2023, Matsukawa et al. utilized AI to develop new specific parameters derived from available UFL data to aid in DU diagnosis. However, this study also had limitations, including an analysis restricted to only 266 cases due to the requirement for precise 0.1-s interval measurements of urinary flow waveforms. Additionally, when the voided volume is too low, the UFL waveform often appears monophasic, regardless of LUTS pathophysiology, which may render parameters related to the first peak flow ineffective for differentiating DU [34]. Bang et al., on the other hand, used deep learning in order to create a diagnostic platform based on UFL graphs analysis. However, the prediction rate was only slightly over 70%, and the capacity to set the basis for model predictions confined due to the absence of external data [15].

Future research on diagnostic methods should not only focus on identifying non-invasive markers for diagnosing DU but also on evaluating the degree of detrusor weakness by considering the DCI as a continuous variable. A key question is whether these methods can determine a patient's candidacy for surgical intervention and accurately predict likely benefit. In the recent UPSTREAM trial, patients with LUTS who had BCI greater than 123.0 showed more favorable outcomes following surgery [47], underscoring the need to develop non-invasive tools that can reliably identify those most likely to benefit from surgical treatment.

Several non-invasive methods included in this analysis, particularly those that are straightforward to use in clinical practice and have high sensitivity – such as the DUA-SQ questionnaire [35] or the "sawtooth and interrupted" waveform on UFL [11] – could serve to preselect patients

for invasive UDS, after external validation of these methods. This approach would improve the diagnostic process and reduce costs. Moreover, combining multiple existing techniques into a single diagnostic algorithm and evaluating its overall accuracy could further enhance clinical decision-making for DU.

Conclusions

Non-invasive diagnostic methods, including ultrasound parameters, biomarkers, UFL analysis, symptom questionnaires, clinical characteristics, and AI integration, show promise in diagnosing DU and offer safer, more convenient alternatives to invasive UDS. However, many methods face limitations such as a lack of accuracy and external validation, as well as variability in test conditions, which affect their reliability and applicability. Our work provides a valuable resource for clinicians seeking to optimize diagnostic strategies for DU by consolidating evidence on the efficacy and limitations of these non-invasive tests. Furthermore, our analysis highlights important areas that require further investigation to refine existing methods, examine their applicability, and create diagnostic tools customized for specific patient subgroups.

Abbreviations

DU	Detrusor underactivity
LUTS	Lower urinary tract symptoms
ICS	International Continence Society
UAB	Underactive bladder
OAB	Overactive bladder
BOO	Bladder outlet obstruction
UDS	Urodynamic study
PFS	Pressure flow study
BCI	Bladder Contractility Index
BOOI	Bladder outlet obstruction index
UFL	Uroflowmetry
BWT	Bladder wall thickness
DMT	Detrusor muscle thickness
AI	Artificial intelligence
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses
PICO	Population, Intervention, Control, Outcome
PPV	Positive predictive value
NPV	Negative predictive value
QUADAS-2	Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies 2
BE	Bladder voiding efficiency
HTN	Hypertension
DM	Diabetes mellitus
PV	Prostate volume
CLSS	Core Lower Urinary Tract Symptoms score
AUC	Area under the curve
MCC	Maximal cystometric capacity
IPP	Intravesical prostatic protrusion
BC	Bladder capacity
PNI	Prognosis Nutrition Index
SII	Systemic Immune Inflammation Index
NLR	Neutrophil to Lymphocyte Ratio
PLR	Platelet to Lymphocyte Ratio
DUASQ	DUA Symptom Questionnaire
LUTD	Lower urinary tract dysfunction
BCa	Bladder cancer
BPH	Benign prostatic hyperplasia

CIC	Clean Intermittent Catheterization
DO	Detrusor overactivity
IC	Interstitial cystitis
IPSS	International Prostate Symptom Score
IPSS-QOL	International Prostate Symptom Score Quality of Life
LUTD	Lower urinary tract dysfunction
MS	Multiple sclerosis
PCa	Prostate cancer
PIP	Projected isovolumetric pressure
PSA	Prostate specific antigen
PSAD	Prostate-specific antigen density
PVR	Post-void residual
US	Ultrasound
UTI	Urinary tract infection
DWT	Detrusor wall thickness
VV	Voided volume

Acknowledgements

Not applicable.

Authors' contributions

Conceptualization: KG, ŁZ; Methodology: KG, ŁZ, AS; Formal analysis: KG; Investigation: KG, ŁZ, TP; Data Extraction: KG, HP; Writing – original draft: KG; Writing – review and editing: KG, HP, ŁZ, AS, TP, PR; Supervision: PR.

Funding

No funding was received for conducting this study.

Data availability

The datasets used and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

Not applicable.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Received: 3 January 2025 Accepted: 20 February 2025

Published online: 06 March 2025

References

1. Yu YD, Jeong SJ. Epidemiology of underactive bladder: Common but underresearched. *Investig Clin Urol.* 2017;58(Suppl 2):S68.
2. Abrams P, Cardozo L, Fall M, Griffiths D, Rosier P, Ulmsten U, et al. The standardisation of terminology in lower urinary tract function: report from the standardisation sub-committee of the International Continence Society. *Urology.* 2003;61(1):37–49.
3. D'Ancona C, Haylen B, Oelke M, Abranches-Monteiro L, Arnold E, Goldman H, et al. The International Continence Society (ICS) report on the terminology for adult male lower urinary tract and pelvic floor symptoms and dysfunction. *Neurourol Urodyn.* 2019;38(2):433–77.
4. Chapple CR, Osman NI, Birder L, Van Koeveeringe GA, Oelke M, Nitti VW, et al. The underactive bladder: a new clinical concept? *Eur Urol.* 2015;68(3):351–3.
5. Aldamanhori R, Chapple CR. Underactive bladder, detrusor underactivity, definition, symptoms, epidemiology, etiopathogenesis, and risk factors. *Curr Opin Urol.* 2017;27(3):293–9.
6. Osman NI, Chapple CR, Abrams P, Dmochowski R, Haab F, Nitti V, et al. Detrusor underactivity and the underactive bladder: a new clinical entity? A review of current terminology, definitions, epidemiology, aetiology, and diagnosis. *Eur Urol.* 2014;65(2):389–98.

7. ICS Standards 2024. Retrieved from: <https://www.ics.org/Publications/ICS%20Standards%202024.pdf> Accessed 20 Oct 2024
8. Wang J, Ren L, Liu X, Liu J, Ling Q. Underactive bladder and detrusor underactivity: new advances and perspectives. *Int J Mol Sci*. 2023;24(21):15517.
9. Abrams. Bladder outlet obstruction index, bladder contractility index and bladder voiding efficiency: three simple indices to define bladder voiding function. *BJU Int*. 1999;84(1):14–5.
10. Rosier PFWM, Gammie A, Valdevenito JP, Speich J, Smith P, Sinha S. ICS-SUFU standard: theory, terms, and recommendations for pressure-flow studies performance, analysis, and reporting, Part 2: Analysis of PFS, reporting, and diagnosis. *Continence*. 2023;7:100709.
11. Matsukawa Y, Yoshida M, Yamaguchi O, Takai S, Majima T, Funahashi Y, et al. Clinical characteristics and useful signs to differentiate detrusor underactivity from bladder outlet obstruction in men with non-neurogenic lower urinary tract symptoms. *Int J Urol*. 2020;27(1):47–52.
12. Lee KS, Song PH, Ko YH. Does uroflowmetry parameter facilitate discrimination between detrusor underactivity and bladder outlet obstruction? *Investig Clin Urol*. 2016;57(6):437.
13. Lee J, Yoo S, Cho MC, Jeong H, Choo MS, Son H. Significance of a decrease in the proportion of detrusor muscle to bladder wall for non-invasive diagnosis of detrusor underactivity in men with lower urinary tract symptoms. *Sci Rep*. 2022;12(1):5237.
14. De Nunzio C, Lombardo R, Cicione A, Trucchi A, Carter S, Tema G, et al. The role of bladder wall thickness in the evaluation of detrusor underactivity: Development of a clinical nomogram. *Neurourol Urodyn*. 2020;39(4):1115–23.
15. Bang S, Tukhtaev S, Ko KJ, Han DH, Baek M, Jeon HG, et al. Feasibility of a deep learning-based diagnostic platform to evaluate lower urinary tract disorders in men using simple uroflowmetry. *Investig Clin Urol*. 2022;63(3):301.
16. Matsukawa Y, Kameya Y, Takahashi T, Shimazu A, Ishida S, Yamada M, et al. Development of an artificial intelligence diagnostic system for lower urinary tract dysfunction in men. *Int J Urol*. 2021;28(11):1143–8.
17. Ishikawa T, Matsukawa Y, Naito Y, Ishida S, Majima T, Gotoh M. Adiponectin can be a good predictor of urodynamic detrusor underactivity: a prospective study in men with lower urinary tract symptoms. *World J Urol*. 2023;41(4):1117–24.
18. Krishnan A, Sharma G, Devana SK, Zohmangaihi D, Mavuduru RS, Mandal AK, et al. Urinary adenosine triphosphate and nitric oxide levels in patients with underactive bladder: a preliminary study. *World J Urol*. 2021;39(12):4421–5.
19. Oelke M, Rademakers KJ, Van Koeveering GA, on behalf of the FORCE Research Group, Maastricht & Hannover. Unravelling detrusor underactivity: Development of a bladder outlet resistance—Bladder contractility nomogram for adult male patients with lower urinary tract symptoms. *Neurourol Urodyn*. 2016;35(8):980–6.
20. Xu D, Cui X, Qu C, Yin L, Wang C, Chen J. Urodynamic pattern distribution among aged male patients with lower urinary tract symptoms suggestive of bladder outlet obstruction. *Urology*. 2014;83(3):563–9.
21. Liu D, Chen M, Han X, Li Y. Comparative study of the maximum Watts factor and Schafer contractility grade, bladder contractility index in male patients with lower urinary tract symptoms. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97(44):e13101.
22. Wada N, Watanabe M, Ishikawa M, Takeuchi K, Miyauchi K, Abe N, et al. Uroflowmetry pattern in detrusor underactivity and bladder outlet obstruction in male patients with lower urinary tract symptoms. *LUTS Low Urin Tract Symptoms*. 2021;13(3):361–5.
23. Szymdki D, Burzyński B, Sołtysiak-Gibała Z, Przymuszała P, Trzewik M, Chudek J, Owczarek AJ. Prediction of detrusor underactivity based on non-invasive functional tests and clinical data in patients with symptoms of bladder outlet obstruction. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2020;24(21):10992–8.
24. Matsukawa Y, Majima T, Mori A, Kamizyo S, Naito Y, Matsuo K, et al. Novel clinical diagnostic criteria based on noninvasive examination findings to predict the presence of urodynamic detrusor underactivity in men. *Neurourol Urodyn*. 2024;43(3):703–10.
25. Rubilotta E, Balzarro M, Trabacchin N, Righetti R, D'Amico A, Blaivas JG, et al. Post-void residual urine ratio: A novel clinical approach to the post-void residual urine in the assessment of males with lower urinary tract symptoms. *Investig Clin Urol*. 2021;62(4):470.
26. Mostafa D, Higazy A, Ali MH, Elsayaad MF, Abuelnaga M. Evaluation of a noninvasive uroflowmetry parameter (Delta Q value) in detrusor underactivity and bladder outlet obstruction. *Egypt J Surg*. 2023;42(3):647–51.
27. Whiting PF. QUADAS-2: a revised tool for the quality assessment of diagnostic accuracy studies. *Ann Intern Med*. 2011;155(8):529.
28. QUADAS-2 Template for tabular display. Retrieved from: <https://www.bristol.ac.uk/population-health-sciences/projects/quadas/resources/> Accessed 10 Aug 2024
29. McGuinness LA, Higgins JPT. Risk-of-bias Visualization (robvis): An R package and shiny web app for visualizing risk-of-bias assessments. *Res Synth Methods*. n/a(n/a). Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jrsm.1411>. Accessed 10 Aug 2024.
30. Kiba K, Akashi Y, Yamamoto Y, Hirayama A, Fujimoto K, Uemura H. Clinical features of detrusor underactivity in elderly men without neurological disorders. *LUTS Low Urin Tract Symptoms*. 2022;14(3):193–8.
31. On behalf of the FORCE Research Group, Maastricht and Hannover, Rademakers KJ, Van Koeveering GA, Oelke M. Ultrasound detrusor wall thickness measurement in combination with bladder capacity can safely detect detrusor underactivity in adult men. *World J Urol*. 2017;35(1):153–9.
32. Takahashi R, Takei M, Namitome R, Yamaguchi O, Eto M. Symptoms and noninvasive test parameters that clinically differentiate detrusor underactivity from bladder outlet obstruction without a pressure-flow-based diagnosis in men with lower urinary tract symptoms. *Neurourol Urodyn*. 2021;40(1):303–9.
33. Namitome R, Takei M, Takahashi R, Kikutake C, Yokomizo A, Yamaguchi O, et al. A prediction model of detrusor underactivity based on symptoms and noninvasive test parameters in men with lower urinary tract symptoms: an analysis of a large group of patients undergoing pressure-flow studies. *J Urol*. 2020;203(4):779–85.
34. Matsukawa Y, Kameya Y, Takahashi T, Shimazu A, Ishida S, Yamada M, et al. Characteristics of uroflowmetry patterns in men with detrusor underactivity revealed by artificial intelligence. *Int J Urol*. 2023;30(10):907–12.
35. Kim A, Park YJ, Heo KO, Choi WS, Park HK, Paick SH, et al. Novel symptom questionnaire for the differential diagnosis of detrusor underactivity and bladder outlet obstruction in men. *Aging Male*. 2019;22(2):150–5.
36. Luo F, Sun HH, Su YH, Zhang ZH, Wang YS, Zhao Z, et al. Assessment of noninvasive predictors of bladder detrusor underactivity in BPH/LUTS patients. *Int Urol Nephrol*. 2017;49(5):787–92.
37. Yoldas M. Non-invasive diagnosis of under active bladder: A pilot study. *Arch Ital Urol E Androl*. 2022;94(1):51–6.
38. Wu Y, He Y, Qi J, Wang S, Wang Z. Evaluation of the non-invasive indicators in predicting detrusor underactivity in individuals with small-volume prostatic hyperplasia and lower urinary tract symptoms. *J Mens Health*. 2024;20(5):83–8.
39. Garbas K, Zapala Ł, Ślusarczyk A, Piecha T, Gwara P, Żuk-Łapan A, et al. (A) voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS. *Int Urol Nephrol*. 2024. [cited 2024 Sep 16]; Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s11255-024-04093-7>
40. Klingler HC, Madersbacher S, Djavan B, Schatzl G, Marberger M, Schmidbauer CP. Morbidity of the evaluation of the lower urinary tract with transurethral multichannel pressure-flow studies. *J Urol*. 1998;159(1):191–4.
41. Yamauchi T, Kamon J, Waki H, Terauchi Y, Kubota N, Hara K, et al. The fat-derived hormone adiponectin reverses insulin resistance associated with both lipoatrophy and obesity. *Nat Med*. 2001;7(8):941–6.
42. Shibata R, Sato K, Pimentel DR, Takemura Y, Kihara S, Ohashi K, et al. Adiponectin protects against myocardial ischemia-reperfusion injury through AMPK- and COX-2-dependent mechanisms. *Nat Med*. 2005;11(10):1096–103.
43. Birder LA, Nakamura Y, Kiss S, Nealen ML, Barrick S, Kanai AJ, et al. Altered urinary bladder function in mice lacking the vanilloid receptor TRPV1. *Nat Neurosci*. 2002;5(9):856–60.
44. Chenoweth CE, Gould CV, Saint S. Diagnosis, management, and prevention of catheter-associated urinary tract infections. *Infect Dis Clin North Am*. 2014;28(1):105–19.
45. Sinha S. The use of uroflowmetry as a diagnostic test. *Curr Urol Rep*. 2024;25(5):99–107.

46. Yoshida M, Yamaguchi O. Detrusor underactivity: the current concept of the pathophysiology. *LUTS Low Urin Tract Symptoms*. 2014;6(3):131–7.
47. Young GJ, Metcalfe C, Lane JA, Lewis AL, Abrams P, Blair PS, et al. Prostate surgery for men with lower urinary tract symptoms: do we need urodynamics to find the right candidates? Exploratory findings from the UPSTREAM Trial. *Eur Urol Focus*. 2022;8(5):1331–9.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Podsumowanie i wnioski

W badaniu nr 1 opracowano nową, całkowicie nieinwazyjną metodę umożliwiającą odróżnienie DU od BOO u mężczyzn z nieneurogennymi LUTS, bez konieczności wykonywania PFS. Ostateczny model predykcyjny obejmuje dziesięć zmiennych - zarówno obiektywnych, jak i subiektywnych - z trzech grup: parametry uroflowmetryczne, pojedyncze objawy oraz nasilenie objawów oceniane kwestionariuszem CLSS. Do ostatecznego modelu włączono kształty krzywej uroflowmetrycznej (zmienny, zmienny-przerywany i przerywany), niższy wskaźnik PVR-R, rzadsze występowanie nokturii, częstsze pojawianie się przerywanego strumienia moczu, rzadsze występowanie strumienia słabego, niższą punktację w sekcji „użycie tłoczni brzusznej” kwestionariusza CLSS, wyższą punktację w sekcji „wolny strumień” CLSS oraz wyższą punktację w sekcji „niekompletne opróżnianie pęcherza” CLSS.

Szczególnie innowacyjnym elementem modelu jest uwzględnienie kształtu krzywej swobodnego przepływu moczu - parametru analizowanego dotychczas jedynie w nielicznych badaniach (20,31). Co więcej, do oceny nasilenia objawów wykorzystano kwestionariusz CLSS, a nie szeroko wykorzystywany IPSS. Przewagą CLSS jest jej szybkość użycia oraz możliwość oceny pacjentów z chorobami współistniejącymi, bez jednoznacznego rozpoznania. W oparciu o wyniki badania, można przypuszczać, że o skutecznym różnicowaniu DU i BOO decyduje także nasilenie LUTS, a nie samo ich występowanie.

Opracowany w badaniu model osiągnął dobrą dokładność, o współczynniku c równym 0,78, a jego czułość, swoistość, PPV i NPV wyniosły odpowiednio 75,8 %, 62,4 %, 71,9 % i 67,0 %. Wartości te są porównywalne lub lepsze od dotychczas opracowanych nieinwazyjnych metod diagnostycznych (18,27,42), przy czym zaproponowana w badaniu metoda nie generuje wysokich kosztów, nie wymaga specjalistycznego sprzętu, ani zaawansowanej interpretacji wyników. Co więcej, na tle wcześniejszych prac (22,29), uzyskuje lepszą lub porównywalną dokładność przy znacznie mniejszym nakładzie technologicznym. Istotną zaletą modelu jest także możliwość jego zastosowania w warunkach ambulatoryjnych już podczas pierwszej wizyty, co jest szczególnie istotne u chorych mało zdyscyplinowanych, niechętnych badaniom inwazyjnym lub obciążonych ryzykiem powikłań infekcyjnych. Ograniczeniami badania pozostaje jego retrospektywny charakter oraz jednorodna grupa badana, co może

ograniczać możliwość uogólnienia wyników. Ponadto wykluczenie z badania pacjentów oddających mniej niż 150 ml moczu w UFL, zawęża zastosowania modelu do pacjentów o umiarkowanych dolegliwościach. Badanie nie uwzględnia również pomiaru objętości stercza, potencjalnego czynnika różnicującego DU z BOO.

Badanie nr 2 wykazało, że połączenie wywiadu, analizy UFL oraz oceny stopnia obniżenia narządów miednicy mniejszej może stanowić przyjazną pacjentce, nieinwazyjną alternatywę w różnicowaniu DU od BOO u kobiet z nieneurogennymi LUTS. Opracowany model składa się z czterech zmiennych: uczucia zalegania, uczucia niepełnego opróżnienia pęcherza, wydłużonego czasu do Qmax w UFL oraz stopnia obniżenia narządów miednicy mniejszej < 3 w skali POP-Q. Model uzyskał współczynnik c na poziomie 0,78. Przy progu prawdopodobieństwa 0,30, kryteria kliniczne dla urodynamicznie potwierdzonej DU osiągnęły czułość 86,8 %, swoistość 46 %, PPV 55 % i NPV 82,1 %. Wyniki te przewyższają dokładność wcześniejszych prób diagnozowania DU w oparciu o objawy. D'Alessandro i wsp. przyznali, że opracowane przez nich modele oparte na zmiennych klinicznych nie potrafiły trafnie identyfikować pacjentek z DU - niezależnie od zastosowanej definicji - osiągając jedynie AUC na poziomie 0,64–0,72 (43).

W przeciwieństwie do wcześniejszych doniesień, oraz badania nr 1 przeprowadzonego na grupie mężczyzn, kształt krzywej UFL nie okazał się istotnym predyktorem różnicującym DU od BOO, co może wynikać z relatywnie nielicznej grupy badanej. Zaskakująco, wbrew danym z innych publikacji (44), wiek pacjentek nie był w badanej kohorcie istotnym czynnikiem predykcyjnym DU. Choć fizjologiczny spadek czynności wypieracza wraz z wiekiem jest dobrze udokumentowany, relatywnie niska mediana wieku badanej grupy (56 lat; IQR 42–64) może tłumaczyć tę rozbieżność.

Ważną zaletą badania pozostaje zastosowanie kryteriów diagnostycznych DU i BOO rekomendowanych przez ICS. DU zdefiniowano jako $PIP1 < 30$, a BOO jako $BOOIf > 18$, co pozwoliło uwiarygodnić wyniki w odniesieniu do najnowszych standardów.

Fundament modelu stanowią wywiad, UFL i badanie ginekologiczne, co eliminuje konieczność cewnikowania i ułatwia diagnostykę zwłaszcza u starszych, niewspółpracujących lub obciążonych wielochorobowością pacjentek. Ograniczeniami badania pozostają jego retrospektywny charakter, niewielka liczebność próby ($n = 88$), brak danych dotyczących statusu menopauzalnego i stosowanej terapii hormonalnej oraz brak walidacji zewnętrznej, co nadaje analizie charakter pilotażowy i wymaga potwierdzenia wyników w większych kohortach.

Przeprowadzony przegląd systematyczny (badanie nr 3) dostarcza pełnego obrazu oraz krytycznej oceny nieinwazyjnych metod diagnostycznych DU u mężczyzn z nieneurogennymi LUTS. Wykazano szerokie spektrum proponowanych rozwiązań - od parametrów ultrasonograficznych i zmiennych uroflowmetrycznych, przez biomarkery w moczu i surowicy, kwestionariusze objawowe, aż po modele oparte na AI i uczeniu maszynowym. Niniejszy przegląd potwierdza, że kilka prostych, nieinwazyjnych narzędzi, m.in. kwestionariusz DUA-SQ o czułości 95,8 % i swoistości 95,4 % oraz obecność fal „piłokształtnych” i „przerywanych” w UFL (czułość 80 %, swoistość 87,2 %), może wstępnie identyfikować chorych z podejrzeniem DU i wpływać na decyzję o kierowaniu ich jako priorytetowych do wykonania badania UDS. Opracowywane nieinwazyjne metody diagnostyczne oparte na sztucznej inteligencji wykazują istotny potencjał. We wstępnych badaniach modele AI do rozpoznawania LUTS pozwalały na automatyczną analizę kształtu krzywych uroflowmetrycznych, jednak napotkały kluczowe ograniczenie - nie opanowały wzorców krzywych u pacjentów zdrowych. Ponadto pomijano weryfikację powtarzalności wyników u tych samych chorych (28). Nowsze opracowania podkreślają potrzebę rozszerzenia zbiorów treningowych o dane od osób o zróżnicowanych cechach klinicznych oraz uwzględnienia schorzeń współistniejących, co ma na celu poprawę dokładności diagnostycznej i zwiększenie generalizacji algorytmów. Kluczowe zagadnienie przyszłych badań stanowi także określenie, czy nieinwazyjne wskaźniki potrafią nie tylko wykrywać DU, lecz również przewidywać korzyść z leczenia operacyjnego. Obserwowana heterogeniczność kryteriów rozpoznania DU, brak zewnętrznej walidacji większości narzędzi diagnostycznych oraz przewaga analiz retrospektywnych, ograniczają obecnie możliwość przeprowadzenia metaanalizy i sformułowania jednoznacznych wniosków.

Wnioski:

1. Zarówno u kobiet, jak i mężczyzn możliwe jest różnicowanie DU oraz BOO w sposób nieinwazyjny za pomocą modeli integrujących dane z wywiadu, badania przedmiotowego, kwestionariusza CLSS i UFL. Dalszy rozwój tych metod w przyszłości może ograniczyć liczbę wykonywanych, inwazyjnych PFS.
2. Opracowywane metody diagnostyki nieinwazyjnej, obejmujące parametry ultrasonograficzne, biomarkery, analizę UFL, kwestionariusze objawów, parametry kliniczne oraz integrację sztucznej inteligencji, wykazują istotny

potencjał diagnozowania DU i stanowią bezpieczniejszą, wygodną alternatywę dla inwazyjnych badań urodynamicznych.

3. Wyniki przeglądu systematycznego wskazują, że algorytmy opracowywane z wykorzystaniem AI i uczenia maszynowego, są szczególnie obiecującą nieinwazyjną alternatywą dla UDS o potencjale wysokiej dokładności diagnostycznej. Aby zapewnić ich uogólnialność, konieczne jest trenowanie modeli na większych bazach danych i ich weryfikacja na wielośrodkowych, demograficznie zróżnicowanych kohortach pacjentów.
4. Do głównych ograniczeń dotychczasowych badań zalicza się: niewielką liczebność oraz jednorodność grup badanych, retrospektywny charakter analiz oraz brak zewnętrznego potwierdzenia skuteczności narzędzi, co utrudnia porównywanie wyników i ich implementację w warunkach klinicznych.
5. Konieczna jest walidacja wielośrodkowa istniejących modeli i kwestionariuszy diagnostycznych, ze szczególnym uwzględnieniem ustalenia optymalnych punktów odcięcia dostosowanych do różnych grup wiekowych oraz pacjentów z chorobami współistniejącymi.

Bibliografia

1. Aldamanhori R, Chapple CR. Underactive bladder, detrusor underactivity, definition, symptoms, epidemiology, etiopathogenesis, and risk factors. *Curr Opin Urol*. 2017 May;27(3):293–9.
2. Abrams P, Cardozo L, Fall M, Griffiths D, Rosier P, Ulmsten U, et al. The standardisation of terminology in lower urinary tract function: report from the standardisation sub-committee of the International Continence Society. *Urology*. 2003 Jan;61(1):37–49.
3. D’Ancona C, Haylen B, Oelke M, Abranches-Monteiro L, Arnold E, Goldman H, et al. The International Continence Society (ICS) report on the terminology for adult male lower urinary tract and pelvic floor symptoms and dysfunction. *Neurourol Urodyn*. 2019 Feb;38(2):433–77.
4. Osman NI, Chapple CR, Abrams P, Dmochowski R, Haab F, Nitti V, et al. Detrusor Underactivity and the Underactive Bladder: A New Clinical Entity? A Review of Current Terminology, Definitions, Epidemiology, Aetiology, and Diagnosis. *Eur Urol*. 2014 Feb;65(2):389–98.
5. Van Koeveringe GA, Vahabi B, Andersson KE, Kirschner-Herrmans R, Oelke M. Detrusor underactivity: A plea for new approaches to a common bladder dysfunction. *Neurourol Urodyn*. 2011 Jun;30(5):723–8.
6. Yoshida M, Yamaguchi O. Detrusor Underactivity: The Current Concept of the Pathophysiology. *LUTS Low Urin Tract Symptoms*. 2014 Sep;6(3):131–7.
7. J.N. Cornu (Chair), M. Gacci, H. Hashim, T.R.W. Herrmann, S. Malde, C. Netsch, C. De Nunzio, M. Rieken, V. Sakalis, M. Tutolo (2024). *Eau Guidelines on the Management of Non-neurogenic Male LUTS*. EAU Guidelines. Edn. presented at the EAU Annual Congress Paris 2024. ISBN 978-94-92671-23-3
8. Rademakers KLJ, Van Koeveringe GA, Oelke M. Detrusor underactivity in men with lower urinary tract symptoms/benign prostatic obstruction: characterization and

- potential impact on indications for surgical treatment of the prostate. *Curr Opin Urol*. 2016 Jan;26(1):3–10.
9. Abrams PH, Griffiths DJ. The Assessment of Prostatic Obstruction from Urodynamic Measurements and from Residual Urine. *Br J Urol*. 1979 Apr;51(2):129–34.
 10. Rosario DJ, Woo HH, Chapple CR. Definition of normality of pressure-flow parameters based on observations in asymptomatic men. *Neurourol Urodyn*. 2008 Jun;27(5):388–94.
 11. Pfisterer MH -D., Griffiths DJ, Schaefer, PhD W, Resnick NM. The Effect of Age on Lower Urinary Tract Function: A Study in Women. *J Am Geriatr Soc*. 2006 Mar;54(3):405–12.
 12. Abrams. Bladder outlet obstruction index, bladder contractility index and bladder voiding efficiency: three simple indices to define bladder voiding function. *BJU Int*. 1999 Jul;84(1):14–5.
 13. Rosier PFWM, Gammie A, Valdevenito JP, Speich J, Smith P, Sinha S. ICS-SUFU standard: Theory, terms, and recommendations for pressure-flow studies performance, analysis, and reporting, Part 2: Analysis of PFS, reporting, and diagnosis. *Continence*. 2023 Sep;7:100709.
 14. ICS Standards 2024. Retrieved from: <https://www.ics.org/Publications/ICS%20Standards%202024.pdf> Accessed 20 October 2024
 15. Steele SS. Are urodynamics still useful? *Can Urol Assoc J*. 2013 Jun 12;7(5–6):452.
 16. Gammie A, Kaper M, Dorrepaal C, Kos T, Abrams P. Signs and Symptoms of Detrusor Underactivity: An Analysis of Clinical Presentation and Urodynamic Tests From a Large Group of Patients Undergoing Pressure Flow Studies. *Eur Urol*. 2016 Feb;69(2):361–9.
 17. Kim A, Park YJ, Heo KO, Choi WS, Park HK, Paick SH, et al. Novel symptom questionnaire for the differential diagnosis of detrusor underactivity and bladder outlet obstruction in men. *Aging Male*. 2019 Apr 3;22(2):150–5.

18. Matsukawa Y, Yoshida M, Yamaguchi O, Takai S, Majima T, Funahashi Y, et al. Clinical characteristics and useful signs to differentiate detrusor underactivity from bladder outlet obstruction in men with non-neurogenic lower urinary tract symptoms. *Int J Urol*. 2020 Jan;27(1):47–52.
19. Yoldas M. Non-invasive diagnosis of under active bladder: A pilot study. *Arch Ital Urol E Androl*. 2022 Mar 29;94(1):51–6.
20. Kocadag H, Toia B, Axell R, Yasmin H, Pakzad MH, Hamid R, et al. A comparison of flow rate curve shape and video-urodynamic findings in women with lower urinary tract symptoms: can flow rate curve shape predict female bladder outflow obstruction or detrusor underactivity? *World J Urol*. 2021 May;39(5):1591–5.
21. Lee KS, Song PH, Ko YH. Does uroflowmetry parameter facilitate discrimination between detrusor underactivity and bladder outlet obstruction? *Investig Clin Urol*. 2016;57(6):437.
22. Namitome R, Takei M, Takahashi R, Kikutake C, Yokomizo A, Yamaguchi O, et al. A Prediction Model of Detrusor Underactivity Based on Symptoms and Noninvasive Test Parameters in Men with Lower Urinary Tract Symptoms: An Analysis of a Large Group of Patients undergoing Pressure-Flow Studies. *J Urol*. 2020 Apr;203(4):779–85.
23. Kalil J, D’Ancona CAL. Detrusor underactivity versus bladder outlet obstruction clinical and urodynamic factors. *Int Braz J Urol*. 2020 Jun;46(3):419–24.
24. on behalf of the FORCE Research Group, Maastricht and Hannover, Rademakers KLJ, Van Koeveringe GA, Oelke M. Ultrasound detrusor wall thickness measurement in combination with bladder capacity can safely detect detrusor underactivity in adult men. *World J Urol*. 2017 Jan;35(1):153–9.
25. Lee J, Yoo S, Cho MC, Jeong H, Choo MS, Son H. Significance of a decrease in the proportion of detrusor muscle to bladder wall for non-invasive diagnosis of detrusor underactivity in men with lower urinary tract symptoms. *Sci Rep*. 2022 Mar 28;12(1):5237.

26. Krishnan A, Sharma G, Devana SK, Zohmangaihi D, Mavuduru RS, Mandal AK, et al. Urinary adenosine triphosphate and nitric oxide levels in patients with underactive bladder: a preliminary study. *World J Urol.* 2021 Dec;39(12):4421–5.
27. Ishikawa T, Matsukawa Y, Naito Y, Ishida S, Majima T, Gotoh M. Adiponectin can be a good predictor of urodynamic detrusor underactivity: a prospective study in men with lower urinary tract symptoms. *World J Urol.* 2023 Feb 24;41(4):1117–24.
28. Matsukawa Y, Kameya Y, Takahashi T, Shimazu A, Ishida S, Yamada M, et al. Development of an artificial intelligence diagnostic system for lower urinary tract dysfunction in men. *Int J Urol.* 2021 Nov;28(11):1143–8.
29. Matsukawa Y, Kameya Y, Takahashi T, Shimazu A, Ishida S, Yamada M, et al. Characteristics of uroflowmetry patterns in men with detrusor underactivity revealed by artificial intelligence. *Int J Urol.* 2023 Oct;30(10):907–12.
30. Bang S, Tukhtaev S, Ko KJ, Han DH, Baek M, Jeon HG, et al. Feasibility of a deep learning-based diagnostic platform to evaluate lower urinary tract disorders in men using simple uroflowmetry. *Investig Clin Urol.* 2022;63(3):301.
31. Çetinel B, Önal B, Selçuk B, Can G, Aferin U, Yıldırım Ö. Urodynamic Curve Patterns may Predict Female Bladder Outlet Obstruction and Detrusor Underactivity. *Urology.* 2022 Jul;165:150–6.
32. Garbas K, Zapała Ł, Ślusarczyk A, Piecha T, Gwara P, Żuk-Łapan A, et al. (A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS. *Int Urol Nephrol* [Internet]. 2024 May 31 [cited 2024 Sep 16]; Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s11255-024-04093-7>
33. Kiba K, Akashi Y, Yamamoto Y, Hirayama A, Fujimoto K, Uemura H. Clinical features of detrusor underactivity in elderly men without neurological disorders. *LUTS Low Urin Tract Symptoms.* 2022 May;14(3):193–8.
34. Takahashi R, Takei M, Namitome R, Yamaguchi O, Eto M. Symptoms and noninvasive test parameters that clinically differentiate detrusor underactivity from

- bladder outlet obstruction without a pressure-flow-based diagnosis in men with lower urinary tract symptoms. *Neurourol Urodyn*. 2021 Jan;40(1):303–9.
35. De Nunzio C, Lombardo R, Cicione A, Trucchi A, Carter S, Tema G, et al. The role of bladder wall thickness in the evaluation of detrusor underactivity: Development of a clinical nomogram. *Neurourol Urodyn*. 2020 Apr;39(4):1115–23.
 36. Homma Y, Yoshida M, Yamanishi T, Gotoh M. Core Lower Urinary Tract Symptom Score (CLSS) questionnaire: A reliable tool in the overall assessment of lower urinary tract symptoms. *Int J Urol*. 2008 Sep;15(9):816–20.
 37. Schäfer W, Abrams P, Liao L, Mattiasson A, Pesce F, Spangberg A, et al. Good urodynamic practices: Uroflowmetry, filling cystometry, and pressure-flow studies**. *Neurourol Urodyn*. 2002 Jan;21(3):261–74.
 38. Evaluation of the non-invasive indicators in predicting detrusor underactivity in individuals with small-volume prostatic hyperplasia and lower urinary tract symptoms. *J Mens Health [Internet]*. 2024 [cited 2024 Jul 16]; Available from: <https://www.jomh.org/articles/10.22514/jomh.2024.031>
 39. Rubilotta E, Balzarro M, Trabacchin N, Righetti R, D'Amico A, Blaivas JG, et al. Post-void residual urine ratio: A novel clinical approach to the post-void residual urine in the assessment of males with lower urinary tract symptoms. *Investig Clin Urol*. 2021;62(4):470.
 40. Bump RC. The POP-Q system: two decades of progress and debate. *Int Urogynecology J*. 2014 Apr;25(4):441–3.
 41. Whiting PF. QUADAS-2: A Revised Tool for the Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies. *Ann Intern Med*. 2011 Oct 18;155(8):529.
 42. Luo F, Sun HH, Su YH, Zhang ZH, Wang YS, Zhao Z, et al. Assessment of noninvasive predictors of bladder detrusor underactivity in BPH/LUTs patients. *Int Urol Nephrol*. 2017 May;49(5):787–92.

43. D'Alessandro G, Palmieri S, Cola A, Barba M, Manodoro S, Frigerio M. Detrusor underactivity prevalence and risk factors according to different definitions in women attending urogynecology clinic. *Int Urogynecology J*. 2022 Apr;33(4):835–40.
44. Cheng Y, Li T, Wu X, Du G, Xu S. A novel predictive model for noninvasively diagnosing bladder outlet obstruction in female patients based on clinical features and uroflowmetry parameters. *Int J Gynecol Obstet*. 2024 Aug;166(2):655–62.



Komisja Bioetyczna przy Warszawskim Uniwersytecie Medycznym

Tel.: 022/ 57 - 20 -303
Fax: 022/ 57 - 20 -165

ul. Żwirki i Wigury nr 61
02-091 Warszawa

e-mail: komisja.bioetyczna@wum.edu.pl
www.komisja-bioetyczna.wum.edu.pl

Warszawa, dnia 11.12.2023

AKBE/335/2023

Dr hab. n .med. Łukasz Zapala
Klinika Urologii Ogólnej
Onkologicznej i Czynnościowej ,
ul. Lindleya 4,
02-005 Warszawa

OŚWIADCZENIE

Niniejszym oświadczam, że Komisja Bioetyczna przy Warszawskim Uniwersytecie Medycznym w dniu 11 grudnia 2023 r. przyjęła do wiadomości informację na temat badania pt. "Kształt krzywej uroflowmetrycznej jako potencjalny wskaźnik różnicujący niedoczynność mięśnia wypieracza pęcherza moczowego od przeszkody podpęcherzowej u pacjentów z objawami z dolnych dróg moczowych."

Przedstawione badanie nie stanowi eksperymentu medycznego w rozumieniu art. 21 ust.1 ustawy z dnia 5 grudnia 1996 r. o zawodach lekarza i lekarza dentysty (Dz.U. z 2018 r poz. 617) i nie wymaga uzyskania opinii Komisji Bioetycznej przy Warszawskim Uniwersytecie Medycznym, o której mowa w art. 29 ust.1 ww. ustawy.

Przewodnicząca Komisji Bioetycznej

Prof. dr hab. n. med. Magdalena Kuźma –Kozakiewicz

Warszawa, 27.05.2025 r.
(miejscowość, data)

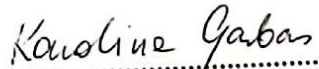
Karolina Garbas
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*(A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS*” opublikowanej w *International Urology and Nephrology* (2024) o numerze DOI: 10.1007/s11255-024-04093-7 oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie manuskryptu. Mój wkład w powstawanie publikacji określam jako 68 %.

Jako współautor pracy pt. „*Cracking the LUTS Code: A Pre-Urodynamic Tool for DU vs. BOO Diagnosis in Female Patients with Non-Neurogenic LUTS*” opublikowanej w *Journal of Clinical Medicine* (2025) o numerze DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm14113674> oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: stworzenie koncepcji badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie danych, opracowanie i analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie oryginalnego manuskryptu. Mój wkład w powstawanie publikacji określam jako 75 %.

Jako współautor pracy pt. „*Beyond urodynamics: non-invasive approaches to diagnosing detrusor underactivity in men with lower urinary tract symptoms – a systematic review*” opublikowanej w *BMC Urology* (2025) o numerze DOI: <https://doi.org/10.1186/s12894-025-01722-w> oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie oryginalnego manuskryptu, edycję manuskryptu. Mój wkład w powstawanie publikacji określam jako 70 %.


.....
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Lukasz Zapala

Warszawa, 27.05.2025 r.
(miejscowość, data)

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*(A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS*” opublikowanej w *International Urology and Nephrology* (2024) o numerze DOI: 10.1007/s11255-024-04093-7 oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

Stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, pisanie i edycja manuskryptu, udostępnienie materiałów źródłowych

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określam jako 68 %,

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie manuskryptu

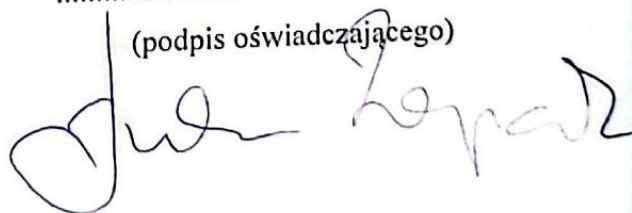
(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

dr hab. n. med. Lukasz Zapala
specjalista urolog, FEBU
PWZ 2556037

.....
(podpis oświadczającego)



*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

.....
(miejscowość, data)

Aleksander Ślusarczyk

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*(A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS*” opublikowanej w *International Urology and Nephrology* (2024) o numerze DOI: 10.1007/s11255-024-04093-7 oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

Stworzenie koncepcji badania, opracowanie metodologii badania, pisanie i edycja manuskryptu

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określam jako 68 %,

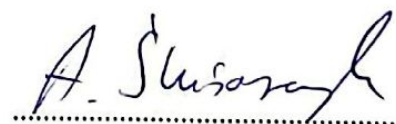
(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)



.....
(podpis oświadczającego)

Dr n. med
Aleksander Ślusarczyk
lekarz
3636220

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

.....
(miejscowość, data)

Tomasz Piecha

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*(A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS*” opublikowanej w *International Urology and Nephrology* (2024) o numerze DOI: 10.1007/s11255-024-04093-7 oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

Stworzenie koncepcji badania, edycja manuskryptu

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określłam jako 5 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określłam jako 68 %,

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

.....
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.
(miejscowość, data)

Piotr Gwara

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „(A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS” opublikowanej w *International Urology and Nephrology* (2024) o numerze DOI: 10.1007/s11255-024-04093-7 oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

Zbieranie materiałów źródłowych, analiza danych.

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określam jako 68%,

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

Piotr Gwara
.....
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

.....
(miejscowość, data)

Aleksandra Żuk-Lapan

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*(A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS*” opublikowanej w *International Urology and Nephrology* (2024) o numerze DOI: 10.1007/s11255-024-04093-7 oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

Zbieranie materiałów źródłowych, analiza danych.

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określłam jako 3 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określłam jako 68 %,

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

Aleksandra Żuk-Lapan
.....

(podpis oświadczającego)

Aleksandra Żuk-Lapan
Lekarz
4582627

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

.....
(miejscowość, data)

Hanna Piekarczyk

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*(A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS*” opublikowanej w *International Urology and Nephrology* (2024) o numerze DOI: 10.1007/s11255-024-04093-7 oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

Zbieranie materiałów źródłowych, analiza danych.

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określám jako 3 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określám jako 68 %,

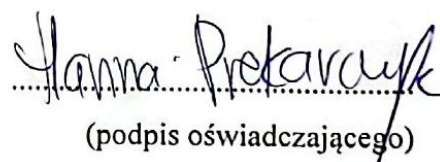
(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)


(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

.....
(miejscowość, data)

Piotr Zapala


.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*(A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS*” opublikowanej w *International Urology and Nephrology* (2024) o numerze DOI: 10.1007/s11255-024-04093-7 oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

Pisanie i edycja manuskryptu

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określám jako 3 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określám jako 68 %,

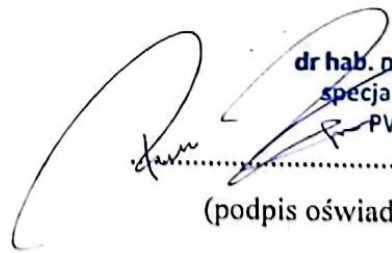
(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)


dr hab. n. med. Piotr Zapala
specjalista urolog FEBU
PWZ 3300982
.....
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

.....
(miejscowość, data)

Prof. dr hab. n. med. Piotr Radziszewski

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*(A)voiding misdiagnosis: prediction of detrusor underactivity vs. bladder outlet obstruction using pre-urodynamic nomogram in male patients with LUTS*” opublikowanej w *International Urology and Nephrology (2024)* o numerze DOI: 10.1007/s11255-024-04093-7 oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

udostępnienie materiałów źródłowych, nadzór nad badaniem

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określám jako 3 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określám jako 68 %,

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

ORDYNATOR KIEROWNIK KLINIKI
Urologii Ogólnej, Onkologicznej i Czynnościowej

.....
Prof. dr hab. n. med. Piotr Radziszewski
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

(miejscowość, data)

Lukasz Zapala

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*Cracking the LUTS Code: A Pre-Urodynamic Tool for DU vs. BOO Diagnosis in Female Patients with Non-Neurogenic LUTS*” opublikowanej w *Journal of Clinical Medicine* (2025) o numerze DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm14113674> oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

stworzenie koncepcji badania, opracowanie metodologii badania, analiza danych, udostępnienie materiałów źródłowych, pisanie i edycja manuskryptu, nadzór nad badaniem

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 10 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określam jako 75 %,

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie danych, opracowanie i analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie oryginalnego manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

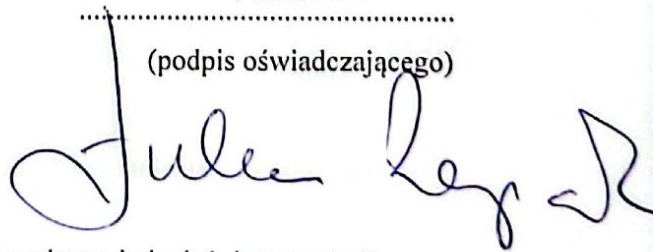
(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

dr hab. n. med. Lukasz Zapala

specjalista urolog, FEBU

PWZ 2556037

.....
(podpis oświadczającego)



*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

(miejscowość, data)

Aleksander Ślusarczyk

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*Cracking the LUTS Code: A Pre-Urodynamic Tool for DU vs. BOO Diagnosis in Female Patients with Non-Neurogenic LUTS*” opublikowanej w *Journal of Clinical Medicine* (2025) o numerze DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm14113674> oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

opracowanie metodologii badania, obsługa software, opracowanie danych, edycja manuskryptu

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określám jako 5 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określám jako 75 %,

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie danych, opracowanie i analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie oryginalnego manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek.

Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)



(podpis oświadczającego)

Dr n. med.
Aleksander Ślusarczyk
lekarz
3636229

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

(miejscowość, data)

Tomasz Piecha

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*Cracking the LUTS Code: A Pre-Urodynamic Tool for DU vs. BOO Diagnosis in Female Patients with Non-Neurogenic LUTS*” opublikowanej w *Journal of Clinical Medicine* (2025) o numerze DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm14113674> oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

zbieranie danych, edycja manuskryptu

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określłam jako 5 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określłam jako 75 %,

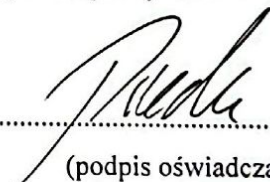
(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie danych, opracowanie i analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie oryginalnego manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)


.....
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

(miejscowość, data)

prof. dr hab. n. med. Piotr Radziszewski

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*Cracking the LUTS Code: A Pre-Urodynamic Tool for DU vs. BOO Diagnosis in Female Patients with Non-Neurogenic LUTS*” opublikowanej w *Journal of Clinical Medicine* (2025) o numerze DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm14113674> oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

udostępnienie materiałów źródłowych, nadzór nad badaniem.

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określam jako 75 %,

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie danych, opracowanie i analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie oryginalnego manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

ORDYNATOR KLINIKI
Urologii Ogólnej, Ginekologii i Cyfrowej
(podpis oświadczającego)
Prof. dr hab. n. med. Piotr Radziszewski

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

(miejscowość, data)

Łukasz Zapala

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*Beyond urodynamics: non-invasive approaches to diagnosing detrusor underactivity in men with lower urinary tract symptoms – a systematic review*” opublikowanej w *BMC Urology* (2025) o numerze DOI: <https://doi.org/10.1186/s12894-025-01722-w> oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

Stworzenie koncepcji badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, pisanie i edycja manuskryptu

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określám jako 10 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określám jako 70 %,

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie oryginalnego manuskryptu, edycję manuskryptu

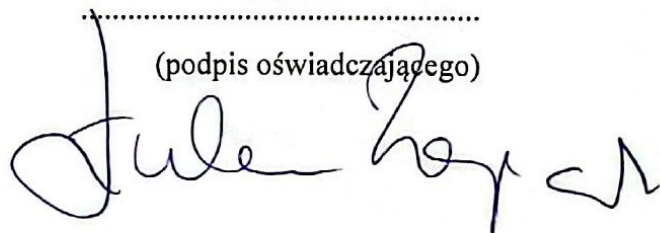
(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

dr hab. n. med. Łukasz Zapala
specjalista urolog, FEBU
PWZ 2556037

.....
(podpis oświadczającego)



*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

Aleksander Ślusarczyk

(miejscowość, data)

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*Beyond urodynamics: non-invasive approaches to diagnosing detrusor underactivity in men with lower urinary tract symptoms – a systematic review*” opublikowanej w *BMC Urology* (2025) o numerze DOI: <https://doi.org/10.1186/s12894-025-01722-w> oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

Opracowanie metodologii badania, pisanie i edycja manuskryptu

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określam jako 70 %,
(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie oryginalnego manuskryptu, edycję manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)



(podpis oświadczającego)

Dr n. med
Aleksander Ślusarczyk
lekarz
3636229

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

(miejscowość, data)

Hanna Piekarczyk

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*Beyond urodynamics: non-invasive approaches to diagnosing detrusor underactivity in men with lower urinary tract symptoms – a systematic review*” opublikowanej w *BMC Urology* (2025) o numerze DOI: <https://doi.org/10.1186/s12894-025-01722-w> oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

analiza danych, edycja manuskryptu

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określam jako 70 %,

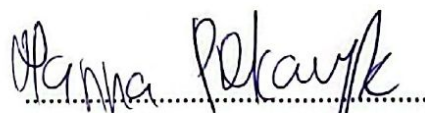
(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie oryginalnego manuskryptu, edycję manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)


.....
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

(miejscowość, data)

Tomasz Piecha

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*Beyond urodynamics: non-invasive approaches to diagnosing detrusor underactivity in men with lower urinary tract symptoms – a systematic review*” opublikowanej w *BMC Urology* (2025) o numerze DOI: <https://doi.org/10.1186/s12894-025-01722-w> oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

Zbieranie materiałów źródłowych, pisanie i edycja manuskryptu

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określam jako 70 %,

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie oryginalnego manuskryptu, edycję manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

.....
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 27.05.2025 r.

(miejscowość, data)

Prof. dr hab. n. med. Piotr Radziszewski

.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. „*Beyond urodynamics: non-invasive approaches to diagnosing detrusor underactivity in men with lower urinary tract symptoms – a systematic review*” opublikowanej w *BMC Urology* (2025) o numerze DOI: <https://doi.org/10.1186/s12894-025-01722-w> oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

edycja manuskryptu, nadzór nad badaniem

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 5 %.

Wkład Karoliny Garbas w powstawanie publikacji określam jako 70 %,

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: stworzenie koncepcji badania, zaplanowanie badania, opracowanie metodologii badania, zbieranie materiałów źródłowych, analizę danych, interpretację uzyskanych wyników, napisanie oryginalnego manuskryptu, edycję manuskryptu

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej lek. Karoliny Garbas.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

ORDYNATOR KIEROWNIK KLINIKI
Urologii Ogólnej, Onkologicznej i Czynnościowej

Prof. dr hab. n. med. Piotr Radziszewski.....
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników