

Nowoczesne techniki oceny anatomii i funkcji dna miednicy u kobiet

Evaluation of pelvic floor muscle anatomy and function in women: modern techniques

Aneta Adamiak-Godlewska, Tomasz Rechberger

II Katedra i Klinika Ginekologii Uniwersytetu Medycznego w Lublinie;
kierownik Kliniki: prof. dr hab. Tomasz Rechberger

Przeгляд Menopauzalny 2012; 4: 259–263

Streszczenie

W pracy dokonano przeglądu prac opisujących nowoczesne techniki oceniające anatomię i funkcję mięśni dna miednicy. Pokazano wiarygodność i przydatność różnych metod ultrasonografii, perineometrii, elektromiografii oraz nadzieje związane z dynamometrią. Jak wykazuje medycyna oparta na faktach (*evidence-based medicine* – EBM), ultrasonografia to najbardziej dostępna i najlepsza obecnie metoda umożliwiająca postawienie właściwej diagnozy i wdrożenie celowanej terapii dna miednicy u kobiet.

Słowa kluczowe: mięśnie dna miednicy, anatomia, funkcja, metody diagnostyczne.

Summary

This is a review of studies on modern techniques used to assess the anatomy and function of women's pelvic floor muscles. The usefulness of different methods of ultrasound examination is explained. The validity and reliability of perineometry, electromyography and hopes connected with dynamometry were also analyzed. According to evidence-based medicine, currently the ultrasound is the most widely used and best method for proper diagnosing and targeted therapy of women's pelvic floor muscles.

Key words: pelvic floor muscles, anatomy, function, diagnostic techniques.

Ultrasonografia „real-time” w ocenie funkcjonowania dna miednicy

Prawidłowy skurcz mięśni dna miednicy został zdefiniowany jako uniesienie i zaciśnięcie mięśni wokół pochwy wraz ze wzrostem ciśnienia wewnątrzcewkowego bez wykonywania znaczącego manewru Valsalvy oraz wysiłku związanego z napięciem [1]. Dno miednicy nie jest organem odizolowanym – kurcząc się, koaktywuje mięśnie brzucha i przeponę, aby wygenerować i utrzymać ciśnienie wewnątrzbrzuszne [2–4]. Dlatego w jakiegokolwiek ocenie prawidłowego uniesienia mięśni dna miednicy podczas skurczu należy brać pod uwagę aktywność innych mięśni w obrębie jamy brzusznej czy miednicy. Właściwa diagnoza dysfunkcji mięśni dna miednicy jest kluczowa do wdrożenia terapii celowanej. Ocena funkcji mięśni dna miednicy jest konieczna, aby nauczyć pacjentkę ćwiczyć oraz żeby ocenić efektywność programów treningowych. Ocena powinna zawierać zarówno aktywację świadomą mięśni dna miednicy (*pelvic floor muscles* – PFM), jak i odruchową, gdyż świadomy skurcz PFM nie za-

wsze dobrze odzwierciedla ich automatyczną aktywację w odpowiedzi na zmiany ciśnienia śródbrzusznego [5, 6].

Badanie ultrasonograficzne (USG) może przynieść korzyść fizjoterapeutom, ponieważ pozwala na dynamiczną ocenę w czasie rzeczywistym świadomej, jak również odruchowej aktywacji PFM w sytuacjach bardzo zbliżonych do życia codziennego. Nie jest to badanie inwazyjne [USG przezbrzusne (*transabdominal* – TA)] lub jest minimalnie inwazyjne [USG przezkroczone (*transperineal* – TP)], a generowane obrazy pozwalają na silny biofeedback zarówno dla terapeuty, jak i pacjentki. Ultrasonografię można wykonywać u mężczyzn, kobiet i dzieci, a droga przezbrzusna jest szczególnie przydatna do uzyskania bezpośredniej obiektywnej oceny funkcji PFM w populacjach, w których badania dopochwowego lub badania przezodbytniczego należałoby unikać, np. u dzieci i osób, które były wykorzystywane seksualnie [7].

Ultrasonografia przewyższa wszystkie inne kliniczne metody oceny PFM, gdyż pozwala obiektywnie zmierzyć uniesienie PFM podczas skurczu i jest bardziej dokładna niż ocena palpacyjna [1]. Jest także przydatna

Adres do korespondencji:

Tomasz Rechberger, II Katedra i Klinika Ginekologii, Uniwersytet Medyczny, ul. Jaczewskiego 8, 20-954 Lublin

do oceny funkcji podporowych dna miednicy podczas wykonywania próby Valsalvy [6, 8, 9]. U kobiet niemających objawów mięśnie dna miednicy kurczą się odruchowo podczas wzrostu ciśnienia śródbrzusznego [10]. Ta funkcjonalna aktywacja PFM i koaktywacja mięśni brzusznych jest istotna dla trzymania moczu i podparcia narządów miednicy mniejszej. Opóźnienie w aktywacji PFM podczas wzrostu ciśnienia śródbrzusznego wykazano u kobiet z wysiłkowym nietrzymaniem moczu [11, 12]. Ultrasonografia może być stosowana do oceny odruchowej aktywacji PFM i jako biofeedback do ponownego szkolenia pacjentów w uruchamianiu tej funkcji podporowej podczas wykonywania treningu [6].

Najbardziej powszechną metodą ultrasonograficzną stosowaną przez fizjoterapeutów w pracy klinicznej jest badanie USG dwuwymiarowe (2D) TP i TA. Ultrasonografia TP to uznana, wiarygodna metoda do oceny kobiet nietrzymających moczu [8, 9]. Zaletą jej jest dobra wizualizacja szyi pęcherza moczowego, cewki moczowej i pochwy oraz pomiar ruchu szyi pęcherza moczowego podczas skurczu PFM i próby Valsalvy względem ufixowanego punktu kostnego, jakim jest spojenie łonowe. Pozwala to na bardziej wiarygodne porównania między pacjentami. Wadą USG TP jest konieczność specjalnego szkolenia i praktyki, ażeby posługiwać się tą techniką prawidłowo, pomiary są bardziej złożone i wymagają czasu do ich wykonania, prawidłowa interpretacja obrazów wymaga doświadczenia, a lokalizacja sondy na kroczu jest bardziej inwazyjna niż dostęp przezbrzuszny i może ograniczać pewne funkcjonalne manewry.

Technologiczny rozwój ultrasonografii jest bardzo szybki i stale postępuje. Trójwymiarowe i czterowymiarowe badanie USG pozwala na bardzo szczegółową ocenę mięśni dźwigaczy odbytu i wymiarów rozworu moczowo-płciowego [8, 9, 13]. Ustalono wiarygodną metodę oceny morfologii dna miednicy i diagnozy urazu poporodowego mięśni dźwigaczy odbytu [14–18], a ostatnio także różnicową ocenę wypadania narządu rodowego [19, 13]. Ultrasonografie te były używane do oceny wyników demonstrujących zmiany w grubości mięśni dna miednicy, długości mięśni w pozycji spoczynkowej pęcherza moczowego oraz podczas próby Valsalvy oraz średnicy rozworu moczowo-płciowego jako odpowiedź na zastosowanie ćwiczeń PFM [17] i są bardzo obiecujące jako techniki oceniające efekt programów fizjoterapii w przyszłości.

Ultrasonografia TA jest całkowicie nieinwazyjną metodą oceny PFM i staje się coraz bardziej popularna w zastosowaniach klinicznych. Używana jest przez fizjoterapeutów na całym świecie. Wykorzystywano ją w wielu badaniach do obserwacji ruchu podstawy pęcherza moczowego jako marker ruchu dna miednicy [7, 20–21]. Wykazano dobrą wiarygodność pomiarów ruchu podstawy pęcherza moczowego [7, 22]. Z punktu widzenia fizjoterapeutów istnieje kilka zalet USG TA: technika wymaga jednego pomiaru i dlatego jest szybka i łatwa w zastosowaniu klinicznym, przyłożenie sondy nie ogranicza ruchu kończyn dolnych, można ją

zastosować w różnych funkcjonalnych pozycjach i jest całkowicie nieinwazyjna, pacjent nie musi się rozbiierać. Te wszystkie cechy sprawiają, że jest dostępna dla szerszej populacji, można ją stosować także u osób uczęszczających na pilates czy inną fizjoterapię mięśniowo-szkieletową. Ultrasonografia TA ma jednak kilka wad – bezpośrednia wizualizacja szyi pęcherza moczowego nie zawsze jest możliwa dzięki tej technice, nie pozwala ona na bezpośrednią ocenę wypadania narządu rodowego, wymaga pełnego pęcherza moczowego oraz może być trudno uzyskać wyraźny obraz u niektórych kobiet z gęstą bliznowatą tkanką na brzuchu. Myśląc zmienną jest także to, że ruch podstawy pęcherza moczowego nie zawsze odzwierciedla ruch szyi pęcherza moczowego. W niektórych badaniach za istotny uznawano widoczny ruch ściany jamy brzusznej, gdyż nie ma w tym przypadku żadnego markera kostnego, do którego można się odnieść [7]. Za pomocą ultrasonografii TA nie można ocenić siły ani napięcia spoczynkowego PFM, zakres ruchu podstawy pęcherza moczowego nie koreluje bezpośrednio z siłą PFM [22]. W sytuacjach, w których nie obserwuje się lub zauważalny jest jedynie minimalny ruch podstawy pęcherza moczowego, trudno ocenić, czy mięśnie są słabe, czy *de facto* nadreaktywne i niereleaksujące się. Nie zawsze można ocenić, czy relaksacja po skurczu PFM jest częściowa czy całkowita. Klinicznie niecałkowita relaksacja związana jest z upośledzeniem powrotu do pozycji spoczynkowej zarówno po powtórnych szybkich skurczach, jak i po długotrwałym skurczu doprowadzającym do zmęczenia. Zawsze, jeśli jest to możliwe, ocena ultrasonograficzna powinna być przeprowadzona w powiązaniu z palpacją przezpochwową lub przezodbytniczą, za zgodą pacjentki, w celu właściwej oceny napięcia spoczynkowego i siły PFM.

Przezbrzuszną ultrasonografią jest szybka i łatwa metodą oceny objętości pęcherza moczowego i objętości moczu zalegającego po mikcji u osób z mikcją dysfunkcyjną. Często pacjentki zgłaszają się na fizjoterapię bez badań funkcji pęcherza moczowego, dlatego ważna jest ocena prawidłowego opróżniania pęcherza moczowego i eliminacja objętości moczu zalegającego po mikcji PVR (*post void residual volume* – PVR) przed przystąpieniem do treningu pęcherza moczowego.

Klinicznie, ze względu na nieinwazyjne właściwości, badanie USG TA jest użyteczne jako narzędzie biofeedbacku oceniające funkcje PFM u dzieci z objawami ze strony pęcherza moczowego i jelit. Liczba ruchów pojawiających się u podstawy pęcherza moczowego podczas skurczu PFM u dzieci niemających objawów jest bardzo różna [23] i do tej pory nie przeprowadzono badań oceniających zastosowanie tej metody w reedukacji PFM u dzieci.

Podsumowując, można powiedzieć, że zastosowanie ultrasonografii przez fizjoterapeutów stale rośnie. Ultrasonografia TP jest bardziej wiarygodna niż TA ze względu na to, że pomiary odnoszone są do stałego punktu kostnego. Dzięki temu porównania między pacjentami i pomiary wyników po dokonaniu zmian są

bardziej wartościowe i nadają się do wykorzystania w badaniach naukowych. Wiele korzyści z zastosowania technik 3D i 4D będzie z pewnością przyszłością w badaniach. Z drugiej strony USG TA jest wartościowym nieinwazyjnym narzędziem biofeedbacku do oceny PFM u szerszej populacji. Można go użyć szybko i łatwo w wielu klinicznych sytuacjach, jednak należy spełnić pewne warunki w celu zminimalizowania błędów – należy mianowicie używać stałej sondy i wystandaryzować technikę.

Manometria, elektromiografia i dynamometria w ocenie funkcjonowania mięśni dna miednicy. Jak można je zastosować?

Manometria, elektromiografia i dynamometria to trzy narzędzia używane obecnie w praktyce klinicznej i w badaniach naukowych do oceny funkcjonowania mięśni dna miednicy.

Perineometria

W 1948 r. dr Kegel wynalazł dopochwowe narzędzie – perineometr, służące do oceny siły mięśni dna miednicy kobiet. Sonda mierząca ciśnienie w pochwie połączona była z manometrem wyrażającym je w milimetrach słupa rtęci (mm Hg). Od tamtej pory powstało wiele sond o różnych kształtach i technicznych właściwościach mierzących ciśnienie w pochwie [24–26]. Narzędzia te wyrażały ciśnienie w pochwie w mm Hg lub w cm H₂O.

Dobrą powtarzalność i wiarygodność pomiarów wewnątrz pochwy dla maksymalnych ciśnień przy skurczu mięśni oraz napięcia spoczynkowego (tonus) zademonstrowali liczni badacze [25, 27–30]. Jednak badania Frawley i wsp. [29, 30] wykazały, że pomiar wytrzymałości w utrzymywaniu napięcia mięśni nie jest powtarzalny. Jedną z korzyści przy badaniu ciśnień wewnątrz pochwy jest możliwość wykonywania tych pomiarów w różnych pozycjach ciała (na leżąco, podczas siedzenia czy w pozycji stojącej). Generalnie wszystkie parametry okazały się wiarygodne w powyższych pozycjach, z wyjątkiem wartości ciśnień spoczynkowych, które były mniej powtarzalne na siedząco i w pozycji stojącej. Akceptowalną wiarygodność pomiarów wewnątrz pochwy potwierdzili też Ferreira i wsp. [31].

Prawdziwość i wiarygodność pomiarów była badana poprzez porównywanie maksymalnych ciśnień podczas skurczu mięśni do innych mierzonych wartości. Było to korelowane z palpacją pochwy, przy użyciu np. skali Oxford (r zawiera się w przedziale 0,703–0,814) [32] oraz skali Brink ($r = 0,68$) [28]. Korelacja była dobra (ICC = 0,72), gdy porównywano maksymalne ciśnienie do ruchu podstawy pęcherza moczowego ocenianego w USG TA [33], lub korelacja była umiarkowana, gdy porównywano maksymalne ciśnienie do ruchu szyi pęcherza moczowego ocenianego w USG TP ($r = 0,43$) [4]. Praw-

dziwość i wiarygodność pomiarów jest także wspierana przez badania wykazujące zmiany tych samych wartości przed leczeniem i po leczeniu [34], czy różnice między grupami, np. u kobiet trzymających moczu w porównaniu z pacjentkami z nietrzymaniem moczu [4].

Istnieje kilka znanych sytuacji, o których trzeba pamiętać i w związku z którymi należy zachować ostrożność, stosując perineometrię ciśnieniową. Wzrost ciśnienia wewnątrzbrzusznego, np. jeśli pacjentka wspomaga skurcz mięśni dna miednicy, kurcząc jednocześnie mięśnie powłok brzusznych lub napinanie zamiast kurczenia PFM, może zakłócać pomiary ciśnień przy perineometrii. Niektóre rekomendacje mówią o upewnieniu się o wiarygodności pomiarów poprzez:

- wykonywanie palpacji pochwy podczas skurczu mięśni przed zastosowaniem perineometrii w celu upewnienia się, że pacjentka jest w stanie prawidłowo wykonać skurcz PFM,
- obserwowanie dogłównego przesuwania się sondy perineometru podczas pomiaru skurczu mięśni,
- niewykonywanie pomiarów skurczu mięśni przy wykonywaniu próby Valsalvy lub zgięcia ku tyłowi stawów biodrowych [35, 36].

Dlatego należy podkreślić, że zastosowanie perineometrii jest trudne i dyskusyjne przy bardzo słabej sile PFM, gdyż ruch sondy do wewnątrz jest praktycznie niemożliwy. Rozmiar sondy i jej marka były również rozpatrywane w aspekcie jej wpływu na pomiar [37, 38]. Jeszcze jednym ważnym czynnikiem jest sposób założenia sondy. Poleca się zakładać sondę na poziom PFM, który odpowiada strefie najwyższego ciśnienia w pochwie [39, 40].

Elektromiografia

Elektromiografia (EMG) jest oparta na odzwierciedlaniu elektrycznej aktywności włókien mięśniowych podczas skurczu. W niniejszej pracy autorzy skupili się na powierzchniowej EMG lub elektromiografii kinetycznej, które są stosowane do oceny funkcji mięśni dna miednicy. Do tej pory większość badań dotyczących EMG mięśni dna miednicy postuluje się amplitudą sygnału do ilościowej oceny funkcji PFM [41–45]. Jednak amplituda sygnału może być interpretowana z zastrzeżeniem, gdyż może na nią wpływać wiele czynników. Czynniki wpływające na detekcję to m.in. kontakt pomiędzy elektrodą a śluzówką pochwy, nawilżenie pochwy oraz grubość tkanek pochwy. Ponadto na amplitudę EMG mogą wpływać zakłócenia zbierane z mięśni sąsiadujących, co oczywiście nie jest obojętne dla interpretowania siły mięśniowej mierzonej taką metodą [46]. Należy podkreślić, że EMG nie jest bezpośrednim pomiarem siły mięśni. Zależność pomiędzy amplitudą EMG i siłą mięśni (liniowa lub nieliniowa) [47] nadal pozostaje nieznana w kontekście mięśni dna miednicy. Czynniki te były dyskutowane przez Auchincloss i wsp. [48], którzy stwierdzali ogólnie małą wiarygodność pomiarów

(ICC zawiera się w przedziale 0,08–0,84). Argumentowali oni, że zastosowanie powierzchniowej EMG jest akceptowalne jako narzędzie stosowane w biofeedbacku w celach ćwiczeń, ale nie poleca się go do wykonywania porównań między pacjentkami lub do wyciągania wniosków co do poprawy lub pogorszenia funkcji PFM przy stosowaniu wielodniowych ćwiczeń.

Pomimo tych ograniczeń EMG wydaje się obiecująca w wielu zastosowaniach klinicznych. Może być przydatna na przykład, gdy uzyska się właściwą normalizację maksymalnej siły mięśniowej [49]. Ponadto EMG może być interesująca w aspekcie oceny aktywacji mięśni dna miednicy lub koaktywacji wraz z mięśniami otaczającymi [44, 50–52], a także w ocenie strefy odnerwienia [53, 54].

Dynamometria

W ostatnich 20 latach wynaleziono kilka wersji dynamometrów mięśni dna miednicy [51, 56–61]. Różnią się one rozmiarami, kształtem, siłą działającego wektora (siła przednio-tylna, boczno-boczna, wielokierunkowa) lub innymi technicznymi szczegółami. Ogólnie podczas pracy PFM wydłużanie lub skracanie mięśni powoduje przekazania tej siły na kontrolkę napięcia przyklejoną do wziernika, co powoduje zmianę elektrycznej rezystancji. Wartość napięcia wyrażona w woltach jest następnie amplifikowana, wyrażana cyfrowo i konwertowana na jednostki siły.

Dynamometry wykazały dobrą liniowość, powtarzalność i zdolność do mierzenia siły niezależnie od punktu przyłożenia na tyłkach wziernika w badaniach kalibracyjnych przeprowadzanych na pacjentkach [57, 58]. Niektóre wersje oferują możliwość mierzenia wielokierunkowych sił wywieranych przez mięśnie dna miednicy [59, 60]. Niektóre dynamometry mogą być dostosowywane do mierzenia funkcji PFM, z uwzględnieniem różnych szerokości pochwy [57, 58, 62]. Powtarzalność pomiarów wykonanych za pomocą dynamometru okazała się dobra (ICC zawarte w przedziale 0,83–0,89) [58, 61, 63, 64]. Inne parametry, takie jak męczliwość mięśni, szybkość kurczenia się i tonus (bierne siły i sztywność), PFM także wykazały dobrą powtarzalność i wiarygodność [65, 66]. Używając dynamometrów, można rozróżnić pacjentki trzymające moczu od pacjentek cierpiących na nietrzymanie moczu [63, 67, 68]. Liczne badania wykazały dobrą wiarygodność pomiarów dynamometrem. Maksymalna siła mięśni wykryta za pomocą dynamometru korelowała z palpacją mięśni przez pochwę (skala Oxford, $r = 0,727$) [68]. Ponadto pomiary dynamometrem podlegały tylko minimalnym wpływom powodowanym przez wzrost ciśnienia śródbrzusznego [66]. Wykazano także dobrą czułość narzędzia do wykazania zmian po leczeniu [69].

Jedynym i zarazem głównym ograniczeniem związanym z dynamometrami dla PFM jest ich niedostępność,

gdyż używane są one przez swoich wynalazców i nie są komercyjnie osiągalne.

Reasumując – należy podkreślić, że mimo bardzo obiecujących wyników z zastosowania dynamometrów do oceny funkcji PFM u kobiet, ich komercyjna niedostępność powoduje, że obecnie najlepszym narzędziem, mającym najszersze zastosowanie kliniczne w diagnozowaniu defektów mięśni dna miednicy jest USG. Jak wykazuje EBM, USG to rekomendowana obecnie metoda umożliwiająca postawienie właściwej diagnozy i wdrożenie celowanej terapii dna miednicy u kobiet.

Piśmiennictwo

1. Frawley H, Galea M. Even weak pelvic floor muscles lift. *Neurourol Urodyn* 2005; 24: 21.
2. Sapsford RR, Hodges PW, Richardson CA, et al. Co-activation of the abdominal and pelvic floor muscles during voluntary exercises. *Neurourol Urodyn* 2001; 20: 31-42.
3. Neumann P, Gill V. Pelvic floor and abdominal muscle interaction: EMG activity and intra-abdominal pressure. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct* 2002; 13: 125-32.
4. Thompson JA, O'Sullivan PB, Briffa NK, et al. Assessment of voluntary pelvic floor muscle contraction in continent and incontinent women using transperineal ultrasound, manual muscle testing and vaginal squeeze pressure measurements. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct* 2006; 17: 624-30.
5. Devreese A, Staes F, De Weerd W, et al. Clinical evaluation of pelvic floor muscle function in continence and incontinent women. *Neurourol Urodyn* 2004; 23: 190-7.
6. Thompson J, O'Sullivan P, Briffa NK, et al. Comparison of transperineal and transabdominal ultrasound in the assessment of voluntary pelvic floor muscle contractions and functional manoeuvres in continent and incontinent women. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunction* 2007; 18: 779-86.
7. Thompson JA, O'Sullivan PB, Briffa K, et al. Assessment of pelvic floor movement using transabdominal and transperineal ultrasound. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunction* 2005; 16: 285-92.
8. Dietz HP. Ultrasound imaging of the pelvic floor. Part I: two-dimensional aspects. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2004; 23: 80-92.
9. Dietz HP. Ultrasound imaging of the pelvic floor. Part II three-dimensional or volume imaging. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2004; 23: 615-25.
10. Constantinou CE, Govan DE. Spatial distribution and timing of transmitted and reflexly generated urethral pressures in healthy women. *J Urol* 1982; 127: 964-9.
11. Smith MD, Coppieters MW, Hodges PW. Postural activity of the pelvic floor muscles is delayed during rapid arm movements in women with stress urinary incontinence. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct* 2007; 18: 901-11.
12. Smith MD, Coppieters MW, Hodges PW. Postural response of the pelvic floor and abdominal muscles in women with and without incontinence. *Neurourol Urodyn* 2007; 26: 377-85.
13. Dietz HP. The role of two- and three-dimensional dynamic ultrasonography in pelvic organ prolapse. *J Minim Invasive Gynecol* 2010; 17: 282-94.
14. Dietz HP, Lanzarone V. Levator trauma after vaginal delivery. *Obstet Gynecol* 2005; 106: 707-12.
15. Dietz HP, Steensma AB. The prevalence of major abnormalities of the levator ani in urogynaecological patients. *BJOG* 2006; 113: 225-30.
16. Braekken IH, Majida M, Engh ME, et al. Test-retest reliability of pelvic floor muscle contraction measured by 4D ultrasound. *Neurourol Urodyn* 2009; 28: 68-73.
17. Braekken IH, Majida M, Engh ME, et al. Morphological changes after pelvic floor muscle training measured by 3-dimensional ultrasonography: a randomized controlled trial. *Obstet Gynecol* 2010; 115: 317-24.
18. Braekken IH, Majida M, Engh ME, et al. Can pelvic floor muscle training reverse pelvic organ prolapse and reduce prolapse symptoms? An assessor-blinded, randomized, controlled trial. *Am J Obstet Gynecol* 2010; 203: 170.e1-7.
19. Dietz HP, Haylen BT, Broome J. Ultrasound in the quantification of female pelvic organ prolapse. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2001; 18: 511-4.

20. Bo K, Sherburn M, Allen T. Transabdominal ultrasound measurement of pelvic floor muscle activity when activated directly or via a transversus abdominis muscle contraction. *Neurourol Urodyn* 2003; 22: 582-8.
21. Thompson JA, O'Sullivan PB. Levator plate movement during voluntary pelvic floor muscle contraction in subjects with incontinence and prolapse: A cross sectional study and review. *Int Urogyn J Pelvic Floor Dysfunct* 2003; 14: 84-8.
22. Sherburn M, Murphy CA, Caroll S, et al. Investigation of transabdominal real-time ultrasound to visualise the muscles of the pelvic floor. *Austr J Physiother* 2005; 51: 167-70.
23. Bower WF, Chase JW, Stillman BC. Normative pelvic floor parameters in children assessed by transabdominal ultrasound. *J Urol* 2006; 176: 337-41.
24. Dougherty MC, Abrams R, McKey PL. An instrument to assess the dynamic characteristics of the circumvaginal musculature. *Nurs Res* 1986; 35: 202-6.
25. Bo K, Kvarstein B, Hagen R, et al. Pelvic floor muscle exercises for the treatment of female stress urinary incontinence: I Reliability of vaginal pressure measurements of pelvic floor muscle strength. *Neurourol Urodyn* 1990; 9: 471-7.
26. Laycock J, Jerwood D. Development of the Bradford perineometer. *Physiother* 1994; 80: 139-42.
27. Kerschman-Schindl K, Uher E, Wiesinger G, et al. Reliability of pelvic floor muscle strength measurement in elderly incontinent women. *Neurourol Urodyn* 2002; 21: 42-7.
28. Hundley AF, Wu JM, Visco AG. A comparison of perineometer to brink score for assessment of pelvic floor muscle strength. *Am J Obstet Gynecol* 2005; 192: 1583-91.
29. Frawley HC, Galea MP, Philips BA, et al. Reliability of pelvic floor muscle strength assessment using different test positions and tools. *Neurourol Urodyn* 2006; 25: 236-42.
30. Frawley HC, Galea MP, Philips BA, et al. Effect of test position on pelvic floor muscle assessment. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct* 2006; 17: 365-71.
31. Ferreira CH, Barbosa PB, de Oliveira Souza F, et al. Inter-rater reliability study of the modified Oxford Grading Scale and the Peritron manometer. *Physiother* 2011; 97: 132-8.
32. Riesco ML, Caroci Ade S, de Oliveira SM, et al. Perineal muscle strength during pregnancy and postpartum: the correlation between perineometry and digital vaginal palpation. *Rev Lat Am Enfermagem* 2010; 18: 1138-44.
33. Chehrehrizi M, Arab AM, Karimi N, et al. Assessment of pelvic floor muscle contraction in stress urinary incontinent women: comparison between transabdominal ultrasound and perineometry. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct* 2009; 20: 491-6.
34. Aksac B, Aki S, Karan A, et al. Biofeedback and pelvic floor exercises for the rehabilitation of urinary stress incontinence. *Gynecol Obstet Invest* 2003; 56: 23-7.
35. Bo K, Kvarstein B, Hagen R, et al. Pelvic floor muscle exercises for the treatment of female stress urinary incontinence: II. Validity of vaginal pressure measurements of pelvic floor muscle strength and the necessity of supplementary methods for control of correct contraction. *Neurourol Urodyn* 1990; 9: 479-87.
36. Bump RC, Mattiasson A, Bo K, et al. The standardization of terminology of female pelvic organ prolapse and pelvic floor dysfunction. *Am J Obstet Gynecol* 1996; 175: 10-7.
37. Bo K, Raastad R, Finckenhagen HB. Does the size of the vaginal probe affect measurement of pelvic floor muscle strength? *Acta Obstet Gynecol Scand* 2005; 84: 129-33.
38. Barbosa PB, Franco MM, Souza Fde O, et al. Comparison between measurements obtained with three different perineometers. *Clinics (Sao Paulo)* 2009; 64: 527-33.
39. Guaderrama NM, Nager CW, Liu J, et al. The vaginal pressure profile. *Neurourol Urodyn* 2005; 24: 243-7.
40. Jung SA, Pretorius DH, Padda BS, et al. Vaginal high-pressure zone assessed by dynamic 3-dimensional ultrasound images of the pelvic floor. *Am J Obstet Gynecol* 2007; 197: 52e.1-7.
41. Workman DE, Cassisi JE, Dougherty MC. Validation of surface EMG as a measure of intravaginal and intra-abdominal activity: implications for biofeedback-assisted Kegel exercises. *Psychophysiology* 1993; 30: 120-5.
42. Glazer HI, Romanzi LJ, Polaneczky M. Pelvic floor muscle surface electromyography. Reliability and clinical predictive validity. *J Reprod Med* 1999; 44: 779-82.
43. Romanzi LJ, Polaneczky M, Glazer HI. Simple test of pelvic muscle contraction during pelvic examination: correlation to surface electromyography. *Neurourol Urodyn* 1999; 18: 603-12.
44. Sapsford RR, Hodges PW. Contraction of the pelvic floor muscles during abdominal maneuvers. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82: 1081-8.
45. Botelho S, Riccetto C, Herrmann V, et al. Impact of delivery mode on electromyographic activity of pelvic floor: comparative prospective study. *Neurourol Urodyn* 2010; 29: 1258-61.
46. Peschers UM, Gingelmaier A, Jundt K, et al. Evaluation of pelvic floor muscle strength using four different techniques. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct* 2001; 12: 27-30.
47. Woods JJ, Bigland-Ritchie B. Linear and non-linear surface EMG/force relationships in human muscles. An anatomical/functional argument for the existence of both. *Am J Phys Med* 1983; 62: 287-99.
48. Auchincloss CC, McLean L. The reliability of surface EMG recorded from the pelvic floor muscles. *J Neurosci Methods* 2009; 182: 85-96.
49. Lehman GJ, McGill SM. The importance of normalization in the interpretation of surface electromyography: a proof of principle. *J Manipulative Physiol Ther* 1999; 22: 444-6.
50. Neumann P, Gill V. Pelvic floor and abdominal muscle interaction: EMG activity and intra-abdominal pressure. *Int Urogyn J Pelvic Floor Dysfunct* 2002; 13: 125-32.
51. Barbic M, Kralj B, Cör A. Compliance of the bladder neck supporting structures: importance of activity pattern of levator ani muscle and content of elastic fibers of endopelvic fascia. *Neurourol Urodyn* 2003; 22: 269-76.
52. Madill SJ, McLean L. Quantification of abdominal and pelvic floor muscle synergies in response to voluntary pelvic floor muscle contractions. *J Electromyogr Kinesiol* 2008; 18: 955-64.
53. Enck P, Franz H, Azpiroz F, et al. Innervation zones of the external anal sphincter in healthy male and female subjects. Preliminary results. *Digestion* 2004; 69: 123-30.
54. Merletti R, Bottin A, Cescon C, et al. Multichannel surface EMG for the non-invasive assessment of the anal sphincter muscle. *Digestion* 2004; 69: 112-22.
55. Caufriez M. Postpartum reeducation urodynamique approche globale et technique analytique. Book chapter: 2. Brussels, Belgium 1993, Collection Maite. Tome 3: 36-44.
56. Ashton-Miller JA, DeLancey JO, Warwick DN. Method and apparatus for measuring properties of the pelvic floor muscles. US patent no 6468232 B1.
57. Dumoulin C, Bourbonnaris D, Lemieux MC. Development of a dynamometer for measuring the isometric force of the pelvic floor musculature. *Neurourol Urodyn* 2003; 22: 648-53.
58. Verelst M, Leivseth G. Force-length relationship in the pelvic floor muscles under transverse vaginal distension: a method study in healthy women. *Neurourol Urodyn* 2004; 23: 662-7.
59. Constantinou CE, Omata S. Direction sensitive sensor probe for the evaluation of voluntary and reflex pelvic floor contractions. *Neurourol Urodyn* 2007; 26: 386-91.
60. Saleme CS, Rocha DN, Del Vecchio S, et al. Multidirectional pelvic floor muscle strength measurement. *Ann Biomed Eng* 2009; 37: 1594-600.
61. Nunes FR, Martins CC, Guirro EC, et al. Reliability of bidirectional and variable-opening equipment for the measurement of pelvic floor muscle strength. *PMR* 2011; 3: 21-6.
62. Morin M, Gravel D, Bourbonnais D, et al. Application of a new method in the study of pelvic floor muscle passive properties in continent women. *J Electromyogr Kinesiol* 2010; 20: 795-803.
63. Dumoulin C, Gravel D, Bourbonnais D, et al. Reliability of dynamometric measurements of the pelvic floor musculature. *Neurourol Urodyn* 2004; 23: 134-42.
64. Miller JM, Ashton-Miller JA, Perruchini D, et al. Test-retest reliability of an instrumented speculum for measuring vaginal closure force. *Neurourol Urodyn* 2007; 26: 858-63.
65. Morin M, Dumoulin C, Gravel D, et al. Reliability of speed of contraction and endurance dynamometric measurements of the pelvic floor musculature in stress incontinent parous women. *Neurourol Urodyn* 2007; 26: 397-403.
66. Morin M, Gravel D, Ouellet S, et al. Influence of intraabdominal pressure on the validity of pelvic floor dynamometric measurements. *Neurourol Urodyn* 2006; 25: 530-1.
67. Morin M, Bourbonnais D, Gravel D, et al. Pelvic floor muscle function in continent and stress urinary incontinent women using dynamometric measurements. *Neurourol Urodyn* 2004; 23: 668-74.
68. Morin M, Dumoulin C, Bourbonnais D, et al. Pelvic floor maximal strength using vaginal digital assessment compared to dynamometric measurements. *Neurourol Urodyn* 2004; 23: 336-41.
69. Dumoulin C, Bourbonnais D, Morin M. Predictors of success for physiotherapy treatment in women with persistent postpartum stress urinary incontinence. *Arch Phys Med Rehabil* 2011; 91: 1059-63.