

DERLEME / REVIEW

Parkinson Hastalığı'nda Myotonometri Yönteminin Rijidite Değerlendirmesinde Kullanımı

Utilization of Myotonometry for Assessment of Rigidity in Parkinson's Disease

Birön Onur ÜĞÜT^{1,2}, Arzu GENÇ³

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye

²İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, İzmir, Türkiye

³Dokuz Eylül Üniversitesi, Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Fakültesi, İzmir, Türkiye

Geliş tarihi/Received: 27.02.2023

Kabul tarihi/Accepted: 28.07.2023

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:

Birön Onur ÜĞÜT, Uzm. Fzt.

Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
İzmir, Türkiye.

E-posta: onur.ugut@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1474-9050

Arzu GENÇ, Prof. Dr.

ORCID: 0000-0001-9481-6083

Öz

Parkinson hastalığı (PH) nigrostriatal dopaminerjik yolaktaki bozulmadan kaynaklı, Alzheimer Hastalığından sonra en sık görülen ikinci nörodejeneratif hastalıktır. Rijidite, bir ekstremitenin ya da aksiyal vücut parçasının pasif harekete karşı hızdan ve hareketin yönünden bağımsız olarak gösterdiği artmış direnç olarak tanımlanmaktadır. Rijidite, PH'nin tanı koydurucu, temel ve en sık görülen semptomlarından biridir ve rijidite değerlendirilmesi PH'de motor semptomları takip etme, hastalığın seyrini izleme ve tedavilerin etkinliğini değerlendirme, ilaç dozunu belirleme gibi önemli konularda kullanılabilir. Rijidite değerlendirilmesinde kullanılan objektif ve kantitatif yöntemler bu nedenle büyük önem taşımaktadır. Myotonometri; kasın mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan noninvasif, kolay uygulanabilir, ucuz, geçerli ve güvenilir bir yöntemdir. Myotonometri aynı zamanda kasın sağlıklı olma durumu dışında tonusta değişikliklere yol açan rijidite ya da spastisite gibi durumlarında kasın mekanik özelliklerinin kantitatif olarak değerlendirilmesinde dolayısıyla kasın hastalık durumunun sayısal olarak ifade edilmesinde de kullanılmaktadır. Bu derlemenin amacı rijiditenin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemleri genel olarak açıklamak ve bu yöntemler arasında myotonometrinin yerini belirlemektir.

Anahtar Kelimeler: Parkinson hastalığı, myotonometri, rijidite değerlendirilmesi.

Abstract

Parkinson's disease (PD) is the second most common neurodegenerative disease, following Alzheimer's, caused by the impairment in the nigrostriatal dopaminergic pathway. Rigidity is defined as increased resistance to passive movement in a limb or axial body part, independent of speed and direction. Rigidity is a key and prevalent symptom of PD, and its assessment is crucial for diagnosing PD, monitoring motor symptoms, evaluating disease progression, assessing treatment efficacy, and determining medication dosages. Thus, objective and quantitative methods for evaluating rigidity, like Myotonometry, are of significant importance. Myotonometry is a non-invasive, easily applicable, inexpensive, valid, and reliable method used to determine the mechanical properties of muscles. It can be utilized to quantitatively assess muscle mechanical properties, such as rigidity or spasticity, which cause changes in muscle tone, besides determining the healthy state of the muscle. The purpose of this review is to provide a general overview of the methods used for rigidity assessment and to determine the role of myotonometry among these methods.

Keywords: Parkinson's disease, myotonometry, rigidity assessment.

1. Giriş

Parkinson hastalığı (PH) temel olarak, nigrostriatal dopaminerjik yolağın ve substantia nigra pars kompaktadaki nöronların, α -synuclein'lerin lewy cisimcikleri ya da lewy nevrileri şeklinde bir araya gelmesiyle, progresif dejenerasyonuna bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. PH, Alzheimer hastalığından sonra en sık görülen nörodejeneratif hastalıktır (1, 2) ve genel popülasyonda %0,3, 65 yaş üstü popülasyonda ise %1-3 sıklığında görülmektedir (2). Hastalık ilerledikçe dopamin düzeyinin azalmasıyla birlikte istirahat tremoru, bradikinezi, rijidite, reflekslerde bozulma, depresyon, anksiyete, emosyonel değişiklikler, bilişsel bozukluklar, yutma, çiğneme ve konuşma güçlüğü, donuk yüz ifadeleri, üriner problemler, kabızlık, yorgunluk ve uyku problemleri gibi motor ve non-motor semptomlar görülmektedir (3).

Rijidite, bir ekstremitenin ya da aksiyal vücut parçasının pasif harekete karşı hızdan ve hareketin yönünden bağımsız olarak gösterdiği artmış direnç şeklinde tanımlanabilir ve PH'de görülen temel semptomlardan biridir (4, 5). PH'li kişilerin yaklaşık %89'unda görülmektedir (6). Altında yatan mekanizma tam olarak bilinmemekle birlikte, dopamin eksikliğiyle rijidite arasında direkt bir bağlantı bulunmamaktadır dolayısıyla klasik bazal gangliyon patofizyolojisi modeli rijiditeyi açıklamakta yetersiz kalmaktadır (7). Spinal kord, beyin sapı ve üst kortikal devrelerin tamamının rijidite patofizyolojisine katkı sağladığı ve önemli rol oynadığı düşünülmektedir (8). Rijiditenin ortaya çıkmasında nedenin artmış monosinaptik germe refleksi, gecikmiş germe refleksi ve tonik germe refleksiyle birlikte kısalma reaksiyonunun ortaya çıkması olabileceği öne sürülmektedir (9).

Rijiditenin ortaya çıkmasındaki nedenle ilgili olarak ortaya atılan diğer ve daha yeni bir görüş ise subtalamik nükleustan kaynaklanan nöronların deşarj frekanslarının azalmasıyla birlikte serebellum, motor korteks, temporal, oksipital ve kaudat nükleusun iletişimini sağlayan bağlantılarda oluşan değişiklikler şeklindedir (10).

PH'nin temel, tanı koydurucu semptomlarından biri olan (11) ve hastaların çok büyük bir kısmında gözlenen rijiditenin değerlendirilmesinde altın standart olarak Birleşik Parkinson Hastalığı Değerlendirme Ölçeği (BPHDÖ) içindeki, 0 ile 4 arasında beş noktada değerlendirme sağlayan, tek bir madde kullanılmaktadır (Şekil 1) (12). Bu maddenin uygulayıcılar arası güvenilirliği orta ile mükemmel arasında değişmektedir (13). Ancak, alanında uzman bir nörolog bile motor semptomlara dayalı tanı koyma sırasında %20'ye kadar yüksek oranda hata yapabilmektedir (14). Ayrıca rijidite değerlendirmesi PH'de motor semptomların seyrini ve tedavilerin etkinliğini izlemek için kullanılabilir bir yöntemdir (15). Bu bağlamda, motor semptomların, özellikle rijiditenin, objektif ve kantitatif bir yöntemle değerlendirilmesi önem taşımaktadır (12).

RİJİDİTE



Değerlendiren için yönerge: Rijidite, gevşek halde duran büyük eklemlerin yavaş pasif hareketleri ile muayene eden kişinin ekstremiteleri ve boynu oynatması şeklinde değerlendirilir. Önce, aktivasyon manevrası olmadan test edin. Her ekstremiteyi ve boynu ayrı ayrı muayene edip değerlendirin. Kollar için, el bileği ve dirsek eklemini aynı anda muayene edin. Bacaklar için kalça ve diz eklemini aynı anda muayene edin. Eğer rijidite saptanmadıysa muayene yapılmayan ekstremitelerde parmak hareketleri, yumruk yapma veya topuk vurma gibi aktivasyon manevrası kullanın. Hastaya rijidite için muayeneyi yaparken kendisini mümkün olduğu kadar gevşek bırakmasını söyleyin.

0: Normal: Rijidite yok.

1: Silik: Sadece aktivasyon manevrasıyla rijidite var.

2: Hafif: Aktivasyon manevrası olmadan rijidite var; ancak hareketin tamamı kolayca yapılıyor.

3: Orta: Aktivasyon manevrası olmadan rijidite var; hareketin tamamı eforla yapılıyor.

4: Şiddetli: Aktivasyon manevrası olmadan rijidite var; hareketin tamamı yapılamıyor.

SKOR

BOYUN

SaÜE

SoÜE

SaAE

SoAE

Şekil 1. Birleşik Parkinson Hastalığı Değerlendirme Ölçeği İçindeki Rijiditenin Değerlendirilmesinde Kullanılan Soru (13) (Şekil yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Kaynak: Patrick SK, Denington AA, Gauthier MJ, Gillard DM, Prochazka A. Quantification of the UPDRS rigidity scale. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2001;9(1):31-41. doi: 10.1109/7333.918274.

Bu derlemenin amacı; PH'de rijiditenin değerlendirilmesi için kullanılan yöntemler hakkında bilgi sağlamak ve myotonometrinin rijidite değerlendirmesi için kullanım alanlarını ve kullanılabilirliğini açıklamaktır.

1.1. Rijiditenin Objektif, Noninvazif ve Kantitatif Değerlendirme Yöntemleri

Rijiditenin noninvazif, kantitatif ve objektif değerlendirilebilmesi için kullanılan birkaç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanları elastografi, elektromyografi, izokinetik dinamometri ve myotonometridir (16). Elastografi, değerlendirilecek dokunun ultrason yardımıyla elde edilen görüntülerinin incelenip, Young modülü olarak adlandırılan kasın eksternal kuvvet altında deforme olma miktarını ifade eden objektif bir ölçü

birimi kullanılarak, doku sertliğinin (stiffness) belirlenmesidir (17, 18). Elektromyografi, nöromusküler aktivite temelli meydana gelen elektriksel dalgalanmaların ayrıca standart elektriksel uyarılara kasın cevaplarını değerlendirmektedir ve tonus, elastisite, rijidite hakkında bilgi vermektedir (19). İzokinetik dinamometri, herhangi bir vücut bölümünün sabit hızda hareket ettirilerek harekete gösterilen direncin normatif verilerle karşılaştırılmasıyla rijidite hakkında bilgi vermektedir (16, 20).

Literatürde bu yöntemlerin çeşitli kaslardaki rijiditenin değerlendirilmesinde, henüz altın standart olarak kabul edilen klinik skalalarla ve bazı çalışmalarda birbirleri arasında iyi düzeyde geçerlilik ve güvenilirliğinin olduğuna dair kanıtlar mevcuttur (18, 21-25). Ancak, bu yöntemlerden elastografi, elektromyografi ve izokinetik dinamometri kalifiye uygulayıcı gerektirdiğinden ve görece pahalı değerlendirme yöntemleri olduklarından klinik ve rutin uygulamada çok geniş bir yer kaplayamamaktadır (26). Diğer yandan myotonometri, ucuz ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle klinik standartlarda ve rijiditenin seyrini izlemede rutin kullanıma daha uygundur (27).

1.1.1. Myotonometri

Myotonometri, yumuşak dokuların biyomekanik ve viskoelastik özelliklerini ölçmeye yarayan bir yöntemdir (27). Temelde, yumuşak dokuya gönderilen küçük mekanik etkilere yanıt olarak yumuşak dokuda oluşan osilasyonları kaydedip değerlendirmektedir (28). Myotonometri ile değerlendirilen özellikler arasında; hücre bazında gerilimini ifade eden tonus, dokunun şeklini değiştirmek isteyen eksternal bir kuvvete karşı direncini ifade eden stiffness, bir dokunun şeklinin eksternal bir kuvvet tarafından değiştirildikten sonra eski haline geri dönme yetisini ifade eden elastisite, bir dokunun istemli bir kontraksiyon sonrasında ya da eksternal kuvvet tarafından şekli değiştirildikten sonra eski haline geri dönme süresini ifade eden relaksasyon süresi, deformasyon ve relaksasyon süreleri oranını ifade eden "creep" (Deborah sayısı) özelliği bulunmaktadır (29).

Myotonometri yoluyla elde edilen stiffness değeri, PH'de rijiditeyi sayısal olarak belirlemek, değişimini ölçmek, tedavilerin etkinliğini saptamak gibi amaçlarla kullanılmaktadır (24, 25, 30-33). PH'de rijidite değerlendirmesi için altın standart kabul edilen BPHDÖ ile kıyaslandığında geçerli ve güvenilir bir yöntem olduğu tespit edilmiştir (Rho=.866) (25). Uygulayıcı içi tekrarlanabilirliği biceps brachii kası kısa başı gövdesi için sağlıklı kişilerde ve PH'li bireylerde mükemmel düzeyde bulunmuştur (sırayla ICC=.937, ICC=.995) (25). Başka bir çalışmada PH'li bireylerde; biceps brachii, brachioradialis ve triceps brachii kas gövdelerinden yapılan ölçümlerin uygulayıcı içi tekrarlanabilirliği araştırılmış ve tamamında mükemmel düzeyde tekrarlanabilirlik saptanmıştır (sırayla ICC=.941, ICC=.930, ICC=.946) (30). PH'li kişilerde yapılan bir diğer çalışmada biceps brachii kasının tendonundan yapılan ölçüm için tekrarlanabilirlik mükemmel düzeyde bulunmuştur (24).

Uygulayıcılar arası tekrarlanabilirliği extensor digitorum kası gövdesi için mükemmel düzeyde saptanmıştır (ICC=.997) (32). MyotonPRO (MyotonAS, Estonia and MyotonLtd, London) literatürde myotonometrik ölçümler için en sık kullanılan cihazdır (34). MyotonPro'nun kullanımı, cihazda herhangi bir modifikasyon yapılmadığı takdirde bazı durumlarla sınırlandırılmaktadır. Bu sınırlılıklar şu şekilde belirtilmektedir: uygulama seçici olarak tek bir kas

üzerinde yoğunlaştığından birkaç kası içeren geniş kas gruplarının, çok küçük boyutlu (<3mm) kasların, palpe edilemeyen kasların, başka doku katmanları altında kalan dokuların, 20mm'den fazla subkutanöz yağ dokusu ile kaplı dokuların ve yumuşak doku olarak kategorize edilmeyen dokuların bu yöntemle değerlendirilmesi mümkün değildir (35).

2. Sonuç ve Öneriler

Rijidite PH'nin tanı koydurucu temel semptomlarından biridir. Rijidite değerlendirmesi, PH'de motor semptomların değişiminin belirlenmesi, hastalık seyrinin izlenmesi, tedavi etkinliğinin tespit edilmesi gibi önemli alanlarda kullanılabilir. Rijiditenin değerlendirilmesinde henüz altın standart olarak kullanılan yöntem semi-kantitatif olup; noninvazif, kantitatif ve objektif değerlendirme yöntemlerinin kullanımı bahsedilen alanlarda yarar sağlayabilmesi için önemlidir. Rijiditenin noninvazif, kantitatif ve objektif değerlendirilmesi için kullanılan yöntemlerin geneli kalifiye kullanıcı gerektirdiğinden ve/veya pahalı yöntemler olduğundan rutin yöntemler olarak kullanılamamaktadır. Myotonometri ile değerlendirme görece olarak ucuzdur ve yüksek miktarda deneyim ve bilgi gerektirmemektedir. Bu yöntem ayrıca PH'de rijidite değerlendirilmesinde geçerli ve güvenilir bir yöntem olarak bulunmuştur. Bu bağlamda; myotonometri PH'de rijiditenin noninvazif, kantitatif ve objektif değerlendirilmesinde kullanıma uygundur ve kullanımının sınırlandırılmadığı durumlarda motor semptomların değişiminin belirlenmesi, hastalık seyrinin izlenmesi, tedavi etkinliğinin tespit edilmesi amaçlı kullanımı önerilmektedir.

3. Alana Katkı

Bu derlemede PH ve rijidite genel mekanizmalarıyla birlikte tanımlanmış ve rijiditenin noninvazif, kantitatif ve objektif olarak değerlendirilmesinin ve bu yöntemlerden biri olan myotonometrinin PH'deki önemi açıklanmıştır.

Çıkar Çatışması

Bu makalede herhangi bir nakdi/ayni yardım alınmamıştır. Herhangi bir kişi ve/veya kurum ile ilgili çıkar çatışması yoktur.

Yazarlık Katkısı

Fikir/Kavram: BOÜ; **Tasarım:** BOÜ; **Denetleme:** BOÜ, AG; **Kaynak ve Fon Sağlama:** Yok; **Malzemeler:** Yok; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** Yok; **Analiz/Yorum:** BOÜ; **Literatür Taraması:** BOÜ; **Makale Yazımı:** BOÜ; **Eleştirel İnceleme:** BOÜ, AG.

Kaynaklar

- Hirtz D, Thurman D, Gwinn-Hardy K, Mohamed M, Chaudhuri A, Zalutsky R. How common are the "common" neurologic disorders? *Neurology*. 2007;68(5):326-37. doi: 10.1212/01.wnl.0000252807.38124.a3.
- Raza C, Anjum R. Parkinson's disease: Mechanisms, translational models and management strategies. *Life Sci*. 2019;226:77-90. doi: 10.1016/j.lfs.2019.03.057.
- Wong SL, Gilmour HL, Ramage-Morin PL. Parkinson's disease: prevalence, diagnosis and impact. *Health Rep*. 2014;25(11):10-4.

4. Tysnes O-B, Storstein A. Epidemiology of Parkinson's disease. *J Neural Transm*. 2017;124(8):901-5. doi: 10.1007/s00702-017-1686-y.

5. Delwaide PJ. Parkinsonian rigidity. *Funct Neurol*. 2001;16(2):147-56.

6. Mutch WJ, Strudwick A, Roy SK, Downie AW. Parkinson's disease: disability, review, and management. *Br Med J (Clin Res Ed)*. 1986;293(6548):675-7. doi: 10.1136/bmj.293.6548.675.

7. Rodriguez-Oroz MC, Jahanshahi M, Krack P, Litvan I, Macias R, Bezdar E, et al. Initial clinical manifestations of Parkinson's disease: features and pathophysiological mechanisms. *Lancet Neurol*. 2009;8(12):1128-39. doi: 10.1016/S1474-4422(09)70293-5.

8. Hong M, Perlmutter JS, Earhart GM. Enhancement of rigidity in Parkinson's disease with activation. *Mov Disord*. 2007;22(8):1164-8. doi: 10.1002/mds.21524.

9. Berardelli A, Sabra A, Hallett M. Physiological mechanisms of rigidity in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1983;46(1):45-53. doi: 10.1136/jnnp.46.1.45.

10. Moustafa AA, Chakravarthy S, Phillips JR, Gupta A, Keri S, Polner B, et al. Motor symptoms in Parkinson's disease: A unified framework. *Neurosci Biobehav Rev*. 2016;68:727-40. doi: 10.1016/j.neubiorev.2016.07.010.

11. Postuma RB, Berg D, Stern M, Poewe W, Olanow CW, Oertel W, et al. MDS clinical diagnostic criteria for Parkinson's disease. *Mov Disord*. 2015;30(12):1591-601. doi: 10.1002/mds.26424.

12. Teshuva I, Hillel I, Gazit E, Giladi N, Mirelman A, Hausdorff JM. Using wearables to assess bradykinesia and rigidity in patients with Parkinson's disease: a focused, narrative review of the literature. *J Neural Transm*. 2019;126(6):699-710. doi: 10.1007/s00702-019-02017-9.

13. Patrick SK, Denington AA, Gauthier MJ, Gillard DM, Prochazka A. Quantification of the UPDRS rigidity scale. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2001;9(1):31-41. doi: 10.1109/7333.918274.

14. Rizzo G, Copetti M, Arcuti S, Martino D, Fontana A, Logroscino G. Accuracy of clinical diagnosis of Parkinson disease: a systematic review and meta-analysis. *Neurology*. 2016;86(6):566-76. doi: 10.1212/WNL.0000000000002350.

15. Prochazka A, Bennett DJ, Stephens MJ, Patrick SK, Sears-Duru R, Roberts T, et al. Measurement of rigidity in Parkinson's disease. *Mov Disord*. 1997;12(1):24-32. doi: 10.1002/mds.870120106.

16. Ferreira-Sánchez MdR, Moreno-Verdú M, Cano-de-la-Cuerda R. Quantitative Measurement of Rigidity in Parkinson's Disease: A Systematic Review. *Sensors*. 2020;20(3):880. doi: 10.3390/s20030880.

17. Gao J, He W, Du L-J, Li S, Cheng L-G, Shih G, et al. Ultrasound strain elastography in assessment of resting biceps brachii muscle stiffness in patients with Parkinson's disease: a primary observation. *Clin Imaging*. 2016;40(3):440-4. doi: 10.1016/j.clinimag.2015.12.008.

18. Du L-J, He W, Cheng L-G, Li S, Pan Y-S, Gao J. Ultrasound shear wave elastography in assessment of muscle stiffness in patients with Parkinson's disease: a primary observation. *Clin Imaging*. 2016;40(6):1075-80. doi: 10.1016/j.clinimag.2016.05.008.

19. López de Celis C, Pérez Bellmunt A., Bueno Gracia E, Fanlo Mazas P, Zárate Tejero CA, Llurda Almuzara L, Cadellanas Arróniz A, Rodríguez Rubio PR. Effect of diacutaneous fibrolysis on the muscular properties of gastrocnemius muscle. *PLoS ONE*. 2020;15:e0243225. doi: 10.1371/journal.pone.0243225.

20. Mak MK, Wong EC, Hui-Chan CW. Quantitative measurement of trunk rigidity in parkinsonian patients. *J Neurol*. 2007;254(2):202-9. doi: 10.1007/s00415-006-0327-4.

21. Fung VS, Burne JA, Morris JG. Objective quantification of resting and activated parkinsonian rigidity: a comparison of angular impulse and work scores. *Mov Disord*. 2000;15(1):48-55. doi: 10.1002/1531-8257(200001)15:1<48::aid-mds1009>3.0.co;2-e.

22. Levin J, Krafczyk S, Valkovič P, Eggert T, Claassen J, Bötzel K. Objective measurement of muscle rigidity in Parkinsonian patients treated with subthalamic stimulation. *Mov Disord.* 2009;24(1):57-63. doi: 10.1002/mds.22291.
23. Marusiak J, Jarocka E, Jaskólska A, Jaskólski A. Influence of number of records on reliability of myotonometric measurements of muscle stiffness at rest and contraction. *Acta Bioeng Biomech.* 2018;20:123-131.
24. Marusiak J, Jaskólska A, Budrewicz S, Koszewicz M, Jaskólski A. Increased muscle belly and tendon stiffness in patients with Parkinson's disease, as measured by myotonometry. *Mov Disord.* 2011;26(11):2119-22. doi: 10.1002/mds.23841
25. Marusiak J, Kisiel-Sajewicz K, Jaskólska A, Jaskólski A. Higher muscle passive stiffness in Parkinson's disease patients than in controls measured by myotonometry. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010;91(5):800-2. doi: 10.1016/j.apmr.2010.01.012.
26. Lo WLA, Zhao JL, Li L, Mao YR, Huang DF. Relative and absolute interrater reliabilities of a hand-held myotonometer to quantify mechanical muscle properties in patients with acute stroke in an inpatient ward. *Biomed Res Int.* 2017;2017:4294028. doi: 10.1155/2017/4294028.
27. Kisilewicz A, Madeleine P, Ignasiak Z, Ciszek B, Kawczynski A, Larsen RG. Eccentric exercise reduces upper trapezius muscle stiffness assessed by shear wave elastography and myotonometry. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020;8:928. doi: 10.3389/fbioe.2020.00928.
28. Agyapong-Badu S, Warner M, Samuel D, Stokes M. Practical considerations for standardized recording of muscle mechanical properties using a myometric device: Recording site, muscle length, state of contraction and prior activity. *Journal of Musculoskeletal Research.* 2018;21(02):1850010. doi: 10.1142/S0218957718500100.
29. Ianieri G, Saggini R, Marvulli R, Tondi G, Aprile A, Ranieri M, et al. New approach in the assessment of the tone, elasticity and the muscular resistance: nominal scales vs MYOTON. *Int J Immunopathol Pharmacol.* 2009;22(3):21-4. doi: 10.1177/039463200902205304.
30. Gapeyeva H, Vain A. Methodological guide: principles of applying Myoton in physical medicine and rehabilitation. Tartu, Estonia: Muomeetria Ltd. 2008.
31. Marusiak J, Jaskólska A, Koszewicz M, Budrewicz S, Jaskólski A. Myometry revealed medication-induced decrease in resting skeletal muscle stiffness in Parkinson's disease patients. *Clin Biomech.* 2012;27(6):632-5. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2012.02.001.
32. Rätsep T, Asser T. Changes in viscoelastic properties of skeletal muscles induced by subthalamic stimulation in patients with Parkinson's disease. *Clin Biomech.* 2011;26(2):213-7. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2010.09.014.
33. Rätsep T, Asser T. The effect of subthalamic stimulation on viscoelastic stiffness of skeletal muscles in patients with Parkinson's disease. *Clin Biomech.* 2017;44:94-8. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2017.03.012.
34. Marusiak J, Jaskólska A, Budrewicz S, Koszewicz M, Andrzejewska R, Kisiel-Sajewicz K, et al. Influence of dopaminergic treatment on resting elbow joint angle control mechanisms in patients with Parkinson's disease—a preliminary report. *Acta Bioeng Biomech.* 2018;20(4):75-82.
35. Technical specification of MyotonPRO. 2021. MyotonPRO Digital Palpation Device User Manual [User manual on the internet]. [updated 2022 Nov 30; cited 2023 Jan 05]. Available from https://www.myoton.com/UserFiles/Updates/MyotonPRO_User_Manual.pdf