



О.А. ІЛЬІНА

Національний медичний університет  
імені О.О. Богомольця, Київ

## Ефективність постурографії для виявлення та моніторингу порушень координації при розсіяному склерозі (огляд літератури)

Розсіяний склероз (РС) — це хронічне демієлінізуювальне захворювання центральної нервової системи, що характеризується різноманітними клінічними виявами, зокрема порушеннями координації рухів, рівноваги та ходи. Баланс і координація належать до найуразливіших функцій при РС. Погіршення постурального контролю істотно знижує мобільність пацієнтів, підвищує ризик падінь та погіршує якість життя. Виявлення прихованих координаційних розладів на ранніх стадіях РС є актуальним завданням, оскільки стандартні клінічні шкали (наприклад EDSS, SARA) можуть не фіксувати таких порушень. Постурографія — це об'єктивний інструментальний метод оцінки постурального балансу. Він привертає увагу дослідників як потенційно чутливий маркер ранніх змін. В огляді узагальнено дані щодо застосування статичної та динамічної постурографії в діагностиці й моніторингу РС. Порушення постурального контролю виникають на ранніх стадіях РС, навіть при мінімальній неврологічній дисфункції, і часто спричиняють падіння та зниження якості життя. Статична постурографія, реєструючи відхилення центру тиску тіла при спокійному стоянні, демонструє високу чутливість до субклінічних розладів рівноваги навіть у пацієнтів без змін при традиційній перевірці за тестом Ромберга. Одночасно відзначено значні методологічні обмеження: відсутність єдиних протоколів і нормативів, надлишок індикаторів (понад 100 можливих показників), узгоджених рекомендацій, суперечливість результатів деяких досліджень. Зазначено, що динамічні тести можуть краще виявляти приховані дефіцити рівноваги, а роботизовані платформи дають змогу оцінити баланс за новими метриками. Інноваційні нелінійні показники демонструють додаткову чутливість до ранніх змін постурального контролю. Узгодження цих підходів з традиційними методиками, визначення їхньої прогностичної значущості та стандартизація залишаються невирішеними питаннями, які потребують проведення досліджень. Наголошено на перспективності розвитку постурографічного моніторингу при РС і необхідності розробки єдиних методологій та норм для об'єктивної інтерпретації результатів.

**Ключові слова:** розсіяний склероз, постуральний баланс, порушення координації, постурографія, стабілометр, рівновага, атаксія, падіння.

Розсіяний склероз (РС) — хронічне захворювання центральної нервової системи, яке призводить до нейродегенерації, що прогресує. Це найпоширеніша нетравматична неврологічна причина інвалідності в молодих осіб. Розсіяний склероз характеризується гетерогенністю виявів [1, 21]. У світі налічується понад 2,8 млн осіб із РС [19, 50], переважно жінок [24]. Щорічно кількість хворих зростає [14].

Одним із найпоширеніших наслідків РС є порушення рівноваги й координації рухів, часто наявне

на ранніх стадіях РС. На пізніх стадіях захворювання ці порушення є основною причиною падінь, пов'язаних із травмами [6, 7, 31, 32]. За різними оцінками, проблеми з балансом спостерігаються в близько 75 % пацієнтів із РС [39].

Для підтримки рівноваги потрібні вестибулярні, зорові та соматосенсорні сигнали (як пропріоцептивна, так і екстероцептивна інформація) [36]. Тому вестибулярний дефіцит (наприклад, запаморочення) [26], порушення зору (диплопія) [15] і пропріоцептивні розлади, спричинені втому та



**Рис. 1.** Статокінезограми, отримані одним здоровим добровольцем, одним пацієнтом, який не повідомляв про жодне падіння, та одним пацієнтом, який повідомив про три випадкові падіння протягом останніх 3 міс (41)

м'язовою слабкістю [20], можуть порушувати рівновагу в осіб із РС [38]. Ці проблеми впливають на постуральний контроль і різні складові рівноваги (функціональну, статичну чи динамічну), знижуючи впевненість пацієнтів у своїй рівновазі та збільшуючи ризик і страх щодо падіння [30]. Порушення рівноваги пов'язані з підвищеним ризиком падінь, обмеженням мобільності та погіршенням якості життя хворих [1, 23].

Рівновага — це здатність підтримувати центр ваги тіла з мінімальним коливанням [41]. Близько двох третин пацієнтів із РС повідомляють про проблеми з рівновагою або координацією, що призводять до інвалідності та обмежень у повсякденному житті [42]. За результатами досліджень, хворі на РС падають значно частіше, ніж здорові особи. Так, метааналіз продемонстрував, що близько 56 % пацієнтів із РС принаймні раз упали впродовж 3 міс спостереження [3, 5, 36]. Падіння можуть траплятися вже на ранніх стадіях захворювання, навіть у мінімально симптомних пацієнтів [34]. Таким чином, оцінка постурального контролю та ефективна реабілітація порушень рівноваги є надзвичайно важливими для підвищення безпеки й збереження активності хворих на РС.

#### *Важливість ранньої діагностики координаційних порушень при РС*

Розсіяний склероз характеризується поступовою втратою цілісності мієлінових структур центральної нервової системи, що призводить до порушення нервових зв'язків і постурального контролю [7]. Близько 75—80 % пацієнтів із РС скаржаться на проблеми з рівновагою в повсякденному житті [25, 42]. Погіршення рівноваги знижує мобільність і самостійність, призводить до падіння та травм (у пацієнтів із РС ризик переломів удвічі вищий, ніж у здорових дорослих) [42]. Дисфункція постурального контролю виникає задовго до явних проблем із ходом та може бути маловиразною клінічно («субклінічна»), але свідчити про активність процесу.

Деякі автори звертають увагу на те, що порушення рівноваги помітні вже при EDSS 0—1 (Expanded Disability Status Scale) і корелюють із ризиком подальших падінь [9, 18, 42]. Отже, виявлення таких порушень на ранніх етапах дає змогу своєчасно оцінити ризики та розпочати лікувально-реабілітаційні втручання.

#### *Принципи статичної та динамічної постурографії*

Постурографія є комплексом інструментальних методик оцінки статичної рівноваги тіла. Зазвичай використовують платформу з тензодатчиками для реєстрації змін центру тиску (COP) під час стояння.

**Статична постурографія** оцінює постуральні коливання при спокійному стоянні на нерухомій опорі [48]. Ці об'єктивні вимірювання є високонадійними й дають змогу відрізнити здорових осіб і хворих на РС за характеристиками коливань COP [27, 44, 46, 49]. Наприклад, просторові параметри (ділянка, шлях, швидкість коливань) виявляють відмінності між групами з високою статистичною значущістю [33, 42, 43] (рисунки). Установлено, що статична постурографія перевершує звичайні клінічні тести рівноваги (наприклад, шкалу Берга) за прогностичною чутливістю до падінь у пацієнтів із РС [27, 44, 46, 49].

**Динамічна постурографія** передбачає додаткові провокації стабільності (рух платформи, нестабільна опора, змінюване зорове поле чи стимуляція) [35]. Вона «екологічніша» (імітує реальні умови), дає змогу окремо оцінити внесок вестибулярної, соматосенсорної та візуальної систем в утримання рівноваги [11]. Однак у дослідженнях РС виявлено, що під час складних динамічних випробувань частина пацієнтів (13—22 %) втрачає рівновагу [10]. Цей ефект, поряд із необхідністю великогабаритного обладнання та тривалих тестів, обмежує практичне застосування динамічної постурографії при РС [10]. У відповідь на ці виклики з'явилися компактні й дешевші альтернативи, Kinect [8, 29, 45]. Вони забезпечують прийнятну

надійність (test-retest  $\approx$  75—90 %) при меншій точності та можуть бути корисними для моніторингу динаміки в одного пацієнта [8, 42]. Проте їхня відмінність від лабораторного золотого стандарту є суттєвою, що слід враховувати при інтерпретації результатів.

#### *Чутливість статичної постурографії до ранніх порушень рівноваги*

Дослідження підтверджують, що статична постурографія виявляє порушення рівноваги вже на доклінічних стадіях РС. Наприклад, F. Melillo та співавт. порівняли комп'ютерну платформу з класичним тестом Ромберга у малодисабілітованих хворих РС (EDSS  $\leq$  1). При строгому визначенні «нормального тесту» Ромберга стабільність виявилася зниженою лише в 7 % пацієнтів, тоді як сила платформи виявила відхилення в 25 % [33]. Навіть під час однорічного спостереження наявність принаймні одного аномального параметра статичної постурографії в групі без порушень Ромберга прогнозувала появу клінічних порушень рівноваги пізніше [33]. У дослідженні H. Inojosa та співавт. більшість пацієнтів із РС мали значно гірші показники коливань COP порівняно зі здоровими особами при спокійному стоянні ( $p < 0,001$ ) [25]. Навіть пацієнти, в яких офтальмологічний тест Ромберга не виявляв нестабільності, демонстрували настроювану область постурального коливання (delineated area) вірогідно більшу за норму [25]. Збалансована кореляція між характеристиками постурограм і традиційною шкалою EDSS чи балом церебелярної дисфункції ( $r \approx 0,33—0,54$ ;  $p < 0,001$ ) підтверджує, що статичні параметри тісно пов'язані з тяжкістю захворювання [25].

J.W. Błaszczyk і співавт. розробили нові показники аналізу флуктуацій COP (вектор стабільності, індекси AP/ML) і також виявили «патологічні» особливості постурального маятника у хворих на РС [4]. Зокрема, вони відзначили вірогідно вищі швидкості коливань при закритих очах й аномальні співвідношення фронто-задніх та бічних ковзань, які корелювали з балом за EDSS [4]. Таким чином, статична постурографія не лише доповнює неструктуровану неврологічну оцінку (EDSS), а й може виявляти субклінічні дисфункції постурального контролю, невидимі при рутинному обстеженні [4, 25, 33].

#### *Динамічна постурографія та роботизовані системи*

Динамічні протоколи зворотного зв'язку, хоча й вимогливіші, надають додаткові можливості. Дослідження L. Grassi та співавт. показало, що застосування тривісної рухомої платформи виявляє суттєві відмінності між групою пацієнтів і контролем уже при відносно «легких» навантаженнях, тоді як при спокійному стоянні статичні тести були недостатньо чутливими [22]. Отже, штучно ініційований зсув

рівноваги (perturbation) дав змогу «розпізнати» приховані дефіцити навіть у пацієнтів без явних ознак ураження мозочка (cerebellar EDSS subscore = 0) [22]. Відповідно, автори вважають, що розроблені з використанням роботизованої платформи тести є ефективним засобом для вивчення ранніх порушень постуральної стабільності в осіб із РС [22].

Недавно з'явилися комерційні роботизовані платформи для вимірювання балансу. Наприклад, hupova® — паралельний роботизований пристрій із датчиками руху, який забезпечує багатовимірний аналіз стояння. У дослідженні J. Podda та співавт. показано, що кореляція основних показників COP, отриманих при використанні hupova®, із результатами стандартного EquiTest є високою ( $r \approx 0,5—0,7$ ) [40]. Крім того, індекси балансу, отримані за допомогою обох пристроїв, хоча і мають різні назви, були порівняними при відкритих і закритих очах [40]. На думку авторів, hupova® може бути корисним доповненням до традиційної оцінки балансу в осіб із РС, оскільки одночасно надає додаткові параметри та добре сприймається пацієнтами [40]. Ще один приклад — 3-DOF-роботизований маніпулятор для реабілітації балансу в осіб із РС [17]. Цей пристрій імітує рухи гомілковостопного суглоба за трьома ступенями свободи й водночас вимірює розподіл тиску стоп і центру маси тіла. Хоча дослідження з фокусом на клінічну ефективність цієї системи поки обмежені, технічні результати підтверджують її здатність визначити потребу тренування балансування через оцінку м'язово-постуральних реакцій (APAs/CPAs) [17]. Застосування таких роботизованих рішень і комп'ютеризованих платформ відкриває нові перспективи оцінки рівноваги (зокрема, уніфікації тестів та розрахунку комплексних індексів), але потребує стандартизації та валідації у великих когортних дослідженнях.

#### *Інноваційні метрики:*

##### *ентропія та складність постуральних сигналів*

Традиційні параметри коливань COP (швидкість, амплітуда, площа тощо) добре описують кількісні відмінності при РС, але не висвітлюють нюанси складної нейродинаміки балансу. Тому дедалі більше уваги приділяють нелінійним показникам постурального контролю. Зокрема, ентропія (Sample Entropy, Multiscale Entropy) оцінює непередбачуваність або регулярність траєкторії COP і пов'язана з адаптаційним резервом системи. У дослідженні M.A. Vusa та співавт. показано, що індекс складності постуральних флуктуацій (Multiscale Entropy CI) вірогідно нижчий у жінок із РС порівняно з контролем як у фронто-задньому, так і в бічному напрямку ( $p < 0,002$ ) [6]. Знижені показники ентропії корелювали з втратою тактильної чутливості, що свідчить про внесок порушень соматосенсорного фідбеку в дисбаланс [6].

Велике дослідження, проведене R. Sun і спів-авт., скористалося випадковою вибіркою із 20 показників та продемонструвало, що найхарактернішою ознакою для диференціювання пацієнтів із РС із низьким ризиком падінь та здорових осіб була ентропія постуральної траєкторії [47]. У цьому дослідженні інші групи (помірний і високий ризик) найкраще класифікувалися за амплітудою бічних ковзань [47]. L.E. Cofré Lizama та співавт. показали, що ентропія коливань грудного й поперекового відділів при стоянні зі щільно заплющеними очима і на нерівній поверхні забезпечує вірогідне диференціювання хворих на РС ( $EDSS \leq 2.0$ ) та здорових осіб ( $AUC \approx 0,75-0,80$ ) [12]. Автори дійшли висновку, що нелінійна метрика (особливо AP-ентропія на твердому майданчику при закритих очах) найефективніше виявляє тонкі розлади балансу й може стати чутливим інструментом для моніторингу раннього прогресування РС [12, 47]. Визначення оптимальних нелінійних показників залишається дискусійним. Існує понад 100 показників постуральних коливань, тому відсутність консенсусу щодо їхнього вибору ускладнює узагальнення результатів [13]. Також необхідна більша стандартизація методів обчислення ентропії для клінічного застосування.

#### *Обмеження методу і суперечливі дані*

Незважаючи на перспективність, постурографія має низку суттєвих обмежень. По-перше, немає єдиних протоколів проведення випробувань. Дослідження РС відрізняються за вибором умов (статичне стояння з відкритими/закритими очима, стояння на м'якому майданчику, застосування подвійних завдань тощо) і тривалістю запису (часто 20—60 с). Це ускладнює порівняння результатів різних груп і формування загальних норм. В оглядах зазначено, що бракує узгоджених нормативів та прогностичних критеріїв для параметрів COP [13, 42]. По-друге, велика кількість показників становить проблему. Наприклад, низка авторів виявили, що область постуральних коливань, середня швидкість чи RMS-катетенс є сильними предикторами порушення балансу [13, 47], інші віддають перевагу іншим метрикам. Відсутність стандартизованого (уніфікованого) вихідного показника спричиняє суперечності: те, що в одних групах є високопредиктивним, в інших може бути менш інформативним через методичні відмінності. По-третє, у багатьох дослідженнях невеликі вибірки, часто

з хворими на РС з 0—3 балами за EDSS. Це обмежує статистичну силу й узагальнення висновків. Відомі дослідження, зокрема дані щодо ускладнених форм (наприклад, вториннопрогресивного РС), часто ґрунтуються на вибірці з 20—60 хворих [2, 33]. Спостереження дають суперечливі результати. Наприклад, деякі з них не виявили суттєвих відмінностей за постуральною стабільністю між пацієнтами з переважно пірамідними та сенсорними порушеннями [28], тоді як інші вказують на протилежне. Крім того, прогностична цінність постурографії залишається невизначеною. Досі немає чітких доказів, що певні параметри можуть надійно прогнозувати прогресування інвалідності чи ризик падінь при тривалому спостереженні. Поодинокі роботи вказують на те, що наявність хоча б одного аномального показника при нормальних результатах обстеження може сигналізувати про погіршення рівноваги в подальшому [33], але це слід підтвердити в більших дослідженнях. Таким чином, не вирішені такі питання: чи достатньо постурографії для прогнозування клінічного перебігу РС і яке місце вона може посісти в стандартному алгоритмі оцінки пацієнтів.

#### **Висновки**

Баланс і постуральний контроль — це основний компонент моніторингу функціонального стану хворих на РС. Постурографічні методи надають цінну кількісну інформацію та виявляють порушення рівноваги на ранніх субклінічних етапах захворювання, до появи видимих симптомів.

Статична постурографія демонструє високу чутливість навіть у пацієнтів із мінімальною дисфункцією, а динамічні випробування та роботизовані платформи можуть ще більше підвищити діагностичну ємність.

Інноваційні методи дослідження уточнюють оцінку балансу, але потребують апробації та стандартизації.

Існує низка нерозв'язаних проблем: відсутність уніфікованих протоколів і нормальних діапазонів для параметрів COP, суперечливі результати окремих досліджень, обмежені вибірки та невстановлена прогностична цінність. Подальші дослідження мають бути спрямовані на стандартизацію методик постурографії, проведення тривалих когортних спостережень й інтеграцію результатів із клінічними та нейровізуалізаційними даними.

*Конфлікту інтересів немає.*

## Література

- Гордашевський ОВ. Вплив тренувань рівноваги на рівень фізичної активності пацієнтів із розсіяним склерозом. *Physical Culture and Sport: Scientific Perspective*. 2025;1(1):457-464. doi: 10.31891/pcs.2025.1(1).111.
- Alpini D, Di Bernardino F, Mattei V, Caputo D, Schalek P, Cesarani A. Characteristics of Multiple Sclerosis Patient Stance Control Disorders, Measured by Means of Posturography and Related to Brainstem Lesions. *Audiology Research*. 2012;2(1):e9. doi: 10.4081/audiore.2012.e9.
- Ayvaz E, Doğan M, Ayvat F, Kılıncı ÖO, Sütçü G, Kılıncı M, Yıldırım SA. Usefulness of the Berg Balance Scale for prediction of fall risk in multiple sclerosis. *Neurol Sci*. 2024 Jun;45(6):2801-2805. doi: 10.1007/s10072-024-07318-w.
- Błaszczak JW, Cieślińska-Świder J, Orawiec R. New methods of posturographic data analysis may improve the diagnostic value of static posturography in multiple sclerosis. *Heliyon*. 2021 Feb 11;7(2):e06190. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06190.
- Brichetto G, Piccardo E, Pedullà L, Battaglia MA, Tacchino A. Tailored balance exercises on people with multiple sclerosis: A pilot randomized, controlled study. *Mult Scler*. 2015 Jul;21(8):1055-63. doi: 10.1177/1352458514557985.
- Busa MA, Jones SL, Hamill J, van Emmerik RE. Multiscale entropy identifies differences in complexity in postural control in women with multiple sclerosis. *Gait Posture*. 2016 Mar;45:7-11. doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.12.007.
- Cameron MH, Lord S. Postural control in multiple sclerosis: implications for fall prevention. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2010;10:407-12. doi: 10.1007/s11910-010-0128-0.
- Castelli L, Stocchi L, Patrignani M, Sellitto G, Giuliani M, Prosperini L. We-Measure: toward a low-cost portable posturography for patients with multiple sclerosis using the commercial Wii balance board. *J Neurol Sci*. 2015 Dec 15;359(1-2):440-4. doi: 10.1016/j.jns.2015.10.016.
- Cattaneo D, Jonsdottir J, Regola A, Carabalona R. Stabilometric assessment of context dependent balance recovery in persons with multiple sclerosis: a randomized controlled study. *J Neuroeng Rehabil*. 2014 Jun 10;11:100. doi: 10.1186/1743-0003-11-100.
- Cattaneo D, Jonsdottir J. Sensory impairments in quiet standing in subjects with multiple sclerosis. *Mult Scler*. 2009 Jan;15(1):59-67. doi: 10.1177/1352458508096874.
- Chaudhry H, Findley T, Quigley KS, et al. Measures of postural stability. *J Rehabil Res Dev*. 2004 Sep;41(5):713-20. PMID: 15558401.
- Cofré Lizama LE, He X, Kalincik T, Galea MP, Panisset MG. Sample Entropy Improves Assessment of Postural Control in Early-Stage Multiple Sclerosis. *Sensors (Basel)*. 2024 Jan 29;24(3):872. doi: 10.3390/s24030872.
- Comber L, Sosnoff JJ, Galvin R, Coote S. Postural control deficits in people with Multiple Sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*. 2018 Mar;61:445-452. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.02.018.
- Cortés-Pérez I, Osuna-Pérez MC, Montoro-Cárdenas D, et al. Virtual reality-based therapy improves balance and reduces fear of falling in patients with multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Neuroeng Rehabil*. 2023 Apr 11;20(1):42. doi: 10.1186/s12984-023-01174-z.
- Costello F. Vision Disturbances in Multiple Sclerosis. *Semin Neurol*. 2016 Apr;36(2):185-95. doi: 10.1055/s-0036-1579692.
- Daley ML, Swank RL. Changes in postural control and vision induced by multiple sclerosis. *Agressologie*. 1983;24:327-9. PMID: 6638322.
- Ersoy T, Hocaoglu E. A 3-DoF robotic platform for the rehabilitation and assessment of reaction time and balance skills of MS patients. *PLoS One*. 2023 Feb 24;18(2):e0280505. doi: 10.1371/journal.pone.0280505.
- Finlayson ML, Peterson EW, Cho CC. Risk factors for falling among people aged 45 to 90 years with multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006 Sep;87(9):1274-9; quiz 1287. doi: 10.1016/j.apmr.2006.06.002.
- GBD 2016 Multiple Sclerosis Collaborators. Global, regional, and national burden of multiple sclerosis 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol*. 2019 Mar;18(3):269-285. doi: 10.1016/S1474-4422(18)30443-5.
- Giovannoni G. Multiple sclerosis related fatigue. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2006 Jan;77(1):2-3. doi: 10.1136/jnnp.2005.074948.
- Goldenberg MM. Multiple sclerosis review. *Peer Rev J Formul Manag*. 2012 Mar;37(3):175-84. PMID: 22605909.
- Grassi L, Rossi S, Studer V, et al. Quantification of postural stability in minimally disabled multiple sclerosis patients by means of dynamic posturography: an observational study. *J Neuroeng Rehabil*. 2017 Jan 10;14(1):4. doi: 10.1186/s12984-016-0216-8.
- Gunn HJ, Newell P, Haas B, Marsden JF, Freeman JA. Identification of risk factors for falls in multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis. *Phys Ther*. 2013 Apr;93(4):504-13. doi: 10.2522/ptj.20120231.
- Harbo HF, Gold R, Tintoré M. Sex and gender issues in multiple sclerosis. *Ther Adv Neurol Disord*. 2013 Jul;6(4):237-48. doi: 10.1177/1756285613488434.
- Inojosa H, Schriefer D, Klödtz A, et al. Balance testing in multiple sclerosis — improving neurological assessment with static posturography? *Front Neurol*. 2020 Feb 26;11:135. doi: 10.3389/fneur.2020.00135.
- Kahl O, Wierzbicka E, Dębińska M, Mraz M, Mraz M. Compensatory image of the stability of people with multiple sclerosis and atrial vertigo based on posturography examination. *Sci Rep*. 2021 Mar 29;11(1):7027. doi: 10.1038/s41598-021-85983-z.
- Kalron A, Achiron A. Postural control, falls and fear of falling in people with multiple sclerosis without mobility aids. *J Neurol Sci*. 2013 Dec 15;335(1-2):186-90. doi: 10.1016/j.jns.2013.09.029.
- Kalron A, Givon U, Frid L, Dolev M, Achiron A. (2016). Static posturography and falls according to pyramidal, sensory and cerebellar functional systems in people with multiple sclerosis. *PLoS One*. 2016 Oct 14;11(10):e0164467. doi: 10.1371/journal.pone.0164467.
- Keune PM, Young WR, Paraskevopoulos IT, et al. Measuring standing balance in multiple sclerosis: further progress towards an automatic and reliable method in clinical practice. *J Neurol Sci*. 2017 Aug 15;379:157-162. doi: 10.1016/j.jns.2017.06.007.
- Lopez LP, Palmero NV, Ruano LG, et al. The implementation of a reflex locomotion program according to Vojta produces short-term automatic postural control changes in patients with multiple sclerosis. *J Bodyw Mov Ther*. 2021 Apr;26:401-405. doi: 10.1016/j.jbmt.2021.01.001.
- Martin CL, Phillips BA, Kilpatrick TJ, Butzkueven H, Tubridy N, McDonald E, et al. Gait and balance impairment in early multiple sclerosis in the absence of clinical disability. *Mult Scler*. 2006;12:620-8. doi: 10.1177/1352458506070658.
- Matsuda PN, Shumway-Cook A, Ciol MA, Bombardier CH, Kartin DA. Understanding falls in multiple sclerosis: association of mobility status, concerns about falling, and accumulated impairments. *Phys Ther*. 2012;92:407-15. doi: 10.2522/ptj.20100380.
- Melillo F, Di Sapio A, Martire S, Malentacchi M, Matta M, Bertolotto A. Computerized posturography is more sensitive than clinical Romberg Test in detecting postural control impairment in minimally impaired Multiple Sclerosis patients. *Mult Scler Relat Disord*. 2017 May;14:51-55. doi: 10.1016/j.msard.2017.03.008.
- Moen SM, Celius EG, Nordsletten L, Holmøy T. Fractures and falls in patients with newly diagnosed clinically isolated syndrome and multiple sclerosis. *Acta Neurol Scand Suppl*. 2011;191:79-82. doi: 10.1111/j.1600-0404.2011.01548.x.
- Nashner LM, Shupert CL, Horak FB, Black FO. Organization of posture controls: an analysis of sensory and mechanical constraints. *Prog Brain Res*. 1989;80:411-8; discussion 395-7. doi: 10.1016/s0079-6123(08)62237-2.
- Nilsagård Y, Gunn H, Freeman J, et al. Falls in people with MS—an individual data meta-analysis from studies from Australia, Sweden, United Kingdom and the United States. *Mult Scler*. 2015 Jan;21(1):92-100. doi: 10.1177/1352458514538884.
- Obrero-Gaitán E, Molina F, Montilla-Ibañez MD, Del-Pino-Casado R, Rodríguez-Almagro D, Lomas-Vega R. Misperception of Visual Vertical in Peripheral Vestibular Disorders. A Systematic Review With Meta-Analysis. *Laryngoscope*. 2021 May;131(5):1110-1121. doi: 10.1002/lary.29124.
- Pagnini F, Bosma CM, Phillips D, Langer E. Symptom changes in multiple sclerosis following psychological interventions: a systematic review. *BMC Neurol*. 2014 Nov 30;14:222. doi: 10.1186/s12883-014-0222-z.
- Pike J, Jones E, Rajagopalan K, Piercy J, Anderson P. Social and economic burden of walking and mobility problems in multiple sclerosis. *BMC Neurol*. 2012 Sep 18;12:94. doi: 10.1186/1471-2377-12-94.
- Podda J, Marchesi G, Squeri V, et al. Standard versus innovative robotic balance assessment for people with multiple sclerosis: a correlational study. *Eur J Med Res*. 2023 Jul 26;28(1):254. doi: 10.1186/s40001-023-01223-2.

41. Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ, Paul JP. What is balance? *Clin Rehabil.* 2000;14:402-6. doi: 10.1191/0269215500cr3420a.
42. Prosperini L, Castelli L. Spotlight on postural control in patients with multiple sclerosis. *Degener Neurol Neuromuscul Dis.* 2018;8:25-34. doi: 10.2147/DNND.S135755.
43. Prosperini L, Fortuna D, Gianni C, Leonardi L, Pozzilli C. The diagnostic accuracy of static posturography in predicting accidental falls in people with multiple sclerosis. *Neurorehabil Neural Repair.* 2013 Jan;27(1):45-52. doi: 10.1177/1545968312445638.
44. Reguera-García MM, de Souza-Teixeira F, Fernández JA de P. Test-retest reliability of static postural control in people with multiple sclerosis. *J Phys Ther Sci.* 2017 Aug;29(8):1399-1404. doi: 10.1589/jpts.29.1399.
45. Severini G, Straudi S, Pavarelli C, et al. Use of Nintendo Wii Balance Board for posturographic analysis of Multiple Sclerosis patients with minimal balance impairment. *J Neuroeng Rehabil.* 2017 Mar 11;14(1):19. doi: 10.1186/s12984-017-0230-5.
46. Sosnoff JJ, Socie MJ, Boes MK, et al. Mobility, balance and falls in persons with multiple sclerosis. *PLoS One.* 2011;6(11):e28021. doi: 10.1371/journal.pone.0028021.
47. Sun R, Walden K, Siahrostami A, Sosnoff JJ. Fall risk prediction in multiple sclerosis using postural sway measures: a machine learning approach. *Sci Rep.* 2019 Nov 6;9(1):16154. doi: 10.1038/s41598-019-52697-2.
48. Visser JE, Carpenter MG, van der Kooij H, Bloem BR. The clinical utility of posturography. *Clin Neurophysiol.* 2008 Nov;119(11):2424-36. doi: 10.1016/j.clinph.2008.07.220.
49. Wajda DA, Motl RW, Sosnoff JJ. Three-month test-retest reliability of center of pressure motion during standing balance in individuals with multiple sclerosis. *Int J MS Care.* 2016 Mar-Apr;18(2):59-62. doi: 10.7224/1537-2073.2015-014.
50. Walton C, et al. Rising prevalence of multiple sclerosis worldwide: Insights from the Atlas of MS. *Mult Scler.* 2020 Dec;26(14):1816-1821. doi: 10.1177/1352458520970841.

O.A. ILINA

Bogomolets National Medical University, Kyiv

## Effectiveness of posturography in the detection and monitoring of coordination disorders in multiple sclerosis (review)

Multiple sclerosis (MS) is a chronic demyelinating disease of the central nervous system, characterized by a wide range of clinical manifestations, including impairments in motor coordination, balance, and gait. Balance and coordination are among the most vulnerable functions in MS, and deterioration of postural control significantly reduces patients' mobility, increases the risk of falls, and worsens quality of life. Detecting subtle coordination disorders at early stages of MS remains a pressing challenge, as standard clinical scales (such as EDSS, SARA) may fail to capture mild dysfunctions. Posturography is an objective instrumental method for assessing postural balance and is increasingly regarded as a potentially sensitive marker of early impairment. This literature review summarizes current findings on the use of static and dynamic posturography in the diagnosis and monitoring of MS. It highlights that postural control disturbances can occur even at the earliest stages of MS, in patients with minimal neurological disability, and often lead to falls and reduced quality of life. Static posturography, by recording shifts in the center of pressure during quiet standing, demonstrates high sensitivity to subclinical balance disorders even in patients with normal findings on the traditional Romberg test. At the same time, several methodological limitations are noted: the absence of standardized protocols and normative values, the large number of available indicators (over 100 reported parameters) without unified recommendations, and inconsistent results across studies. It is noted that dynamic tests may more effectively reveal hidden balance deficits, while robotic platforms enable assessment using novel metrics. Innovative nonlinear indicators demonstrate additional sensitivity to early postural control changes. However, aligning these approaches with conventional methodologies, determining their prognostic value, and achieving standardization remain unresolved issues requiring further investigation. The review emphasizes the potential of posturographic monitoring in MS while underscoring the need for unified methodological standards to enable objective interpretation of results.

**Keywords:** multiple sclerosis, postural balance, coordination disorders, posturography, stabilometry, equilibrium, ataxia, falls.

### ДЛЯ ЦИТУВАННЯ

Ильина ОА. Эффективность постурографии для выявления та моніторингу порушень координації при розсіяному склерозі (огляд літератури). Український неврологічний журнал. 2025;3-4:5-10. doi: 10.30978/UNJ2025-3-4-5.

Ilina OA. (Effectiveness of posturography in the detection and monitoring of coordination disorders in multiple sclerosis (review)). *Ukrainian Neurological Journal.* 2025;3-4:5-10. <http://doi.org/10.30978/UNJ2025-3-4-5>. Ukrainian.