

# ВПЛИВ ЗМІН САГІТАЛЬНИХ ВИКРИВЛЕНЬ ПОПЕРЕКОВОГО ВІДДІЛУ ХРЕБТА НА СИЛУ М'ЯЗІВ СПИНИ І ПЕРЕДНЬОЇ СТІНКИ ЖИВОТА

*Колесніченко В.А., Тяжелов О.А., Карпінська О.Д., Гольбаум М.Б.*

*ДУ "Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка  
НАМН України", м. Харків*

**Ключові слова.** *Постуральний баланс, гіперлордоз, кіфоз поперекового відділу хребта, сила м'язів, моделювання.*

Для стабільності постурального балансу ключову роль відіграє сагітальний профіль хребта, у тому числі форма поперекового лордозу. Відхилення від нормальної кривизни можуть суттєво змінювати біомеханічні умови функціонування м'язів, що може призводити до зміни стабільності структурних елементів хребта, зміни рухових патернів, недостатньому або, навпаки, надмірному напруженні м'язів тулуба [1]. Кіфотичні зміни поперекового відділу хребта призводять до вкорочення задньої м'язової ланки та зміщення таза в задній нахил, що порушує нормальну координацію між м'язами спини й черевного преса, спостерігається зниження стабілізаційної функції та розвиток больового синдрому. При гіперлордозі посилюється компресійне навантаження на задні структурні елементи хребта, формується передній нахил тазу, м'язи передньої черевної стінки подовжуються, м'язи спини, навпаки, скорочуються, що також призводить до дестабілізації м'язового балансу.

**Мета роботи.** Оцінити зміну сили м'язів поперекового відділу хребта у різних варіантах сагітального профілю.

**Матеріали і методи.** В основу моделювання покладено модель Lumbar\_C\_210.osim [2], яка дає можливість оцінити вісім основних груп нижніх м'язів спини. Порівнювали три модельні станів: погма, kyphosis, hyperlordosis. Досліджували зміни сили м'язів на інтервалі руху від згинання ( $\sim 70^\circ$ ) до розгинання ( $-26^\circ$ ). У середовищі OpenSim отримували залежності активної сили м'яза від кута згинання/розгинання та аналізували в пакеті R. Відношення сили «м'язи спини  $\leftrightarrow$  м'язи живота» обчислювали як суму двобічних сил м'язів спини до м'язів живота. Для базової оцінки розглядали розгиначі тулуба й передньобічної черевної стінки.

## Результати.

**Група *M. erector spinae*** (м'язи-випрямлячі хребта) в моделі представлена двома підгрупами – *mm. iliocostalis lumborum* (клубово-реберний м'яз попереку) і *mm. longissimus* (найдовший м'яз). Сила *m. iliocostalis lumborum* в нормі сягає максимуму (288,0 Н) при згинанні 14,7°, тобто відповідає діапазону оптимальної довжини м'яза. Середня сила становить (232,0±46,4) Н при діапазоні значень 154,0 Н. Інтегральний показник сили AUC·rad дорівнює 389,0 Н·рад. Сагітальні зміни поперекового відділу хребта призводять до зменшення сили (рис. 1, а): при кіфозі до (36,2±25,5) Н, гіперлордозі – до (102,0±61,7) Н. Максимум сили при кіфозі (83,5 Н) припадає на максимальний кут розгинання у 26°, тоді як при лордозі, навпаки – максимум (202 Н) спостерігається при максимумі згинання (70°). Інтегральний показник сили (AUC rad) при кіфозі становить 60,4 Н·рад, що відповідає 15,5% нормальної сили, при гіперлордозі зменшення сили менші ~ 44% норми.

Сила *mm. longissimus* (рис. 1, б) демонструє значне зниження сили м'яза при змінах викривлення поперекового відділу хребта. В нормі спостерігаємо плавну зміну сили з максимумом 226 Н при куті згинання ~ 30°. В нормі інтегральна сила м'яза становить 357 Н·рад, що більше ніж при інших станах. При кіфозі м'яз здатний розвивати силу 96,4 Н·рад з піком сили 82,8 Н при максимальному згинанні (70°). Зниження інтегральної сили становить 73,0 %. При гіперлордозі інтегральна сила м'яза менше норми, і становить 251 Н·рад, зниження на ~ 30 %.

***M. quadratus lumborum*** (квадратний м'яз попереку) (рис. 1, в). В нормі м'яз розвиває максимальну силу (179,0±6,46) Н, з піком 185,0 Н при куті згинання біля 47°. Зберігає відносно постійну силу на всьому діапазоні руху. Інтегральна сила м'яза становить 300 Н·рад. При кіфотичному поперековому відділі хребта відмічено зниження середнього значення сили до (119±18,1) Н, сила м'яза зростає від згинання до розгинання з максимумом у 26°. Інтегральний показник сила м'яза AUC\_rad становить 199 Н·рад, зниження на 33,7 %. При гіперлордозі відмічено помірно до ≈ 17,7 % зниження інтегральної сили до 247 Н·рад.

***M. psoas major*** (великий поперековий м'яз) (рис. 1, г). За аналізом сили, визначено, що при гіперлордозі дані близькі до норми. Усереднена сила в нормі становить (670,0±1,47) Н з діапазоном 5,67 Н. При лордозі усереднена сила (671,0±0,68) Н з діапазоном всього 1,86 Н, тобто майже постійна сила на всьому діапазоні руху. Інтегральна сила в нормі 1123 Н·рад, при гіперлордозі – 1124 Н·рад, що на 0,13 % більше

за норму. При кіфозі спостерігаються значні зміни у генерації сили м. psoas major. Сила м'яза зростає від згинання до розгинання з піком (662 Н) при куті розгинання 26°. Інтегральна сила становить 1064 Н·рад, що становить 94,7 % від норми.

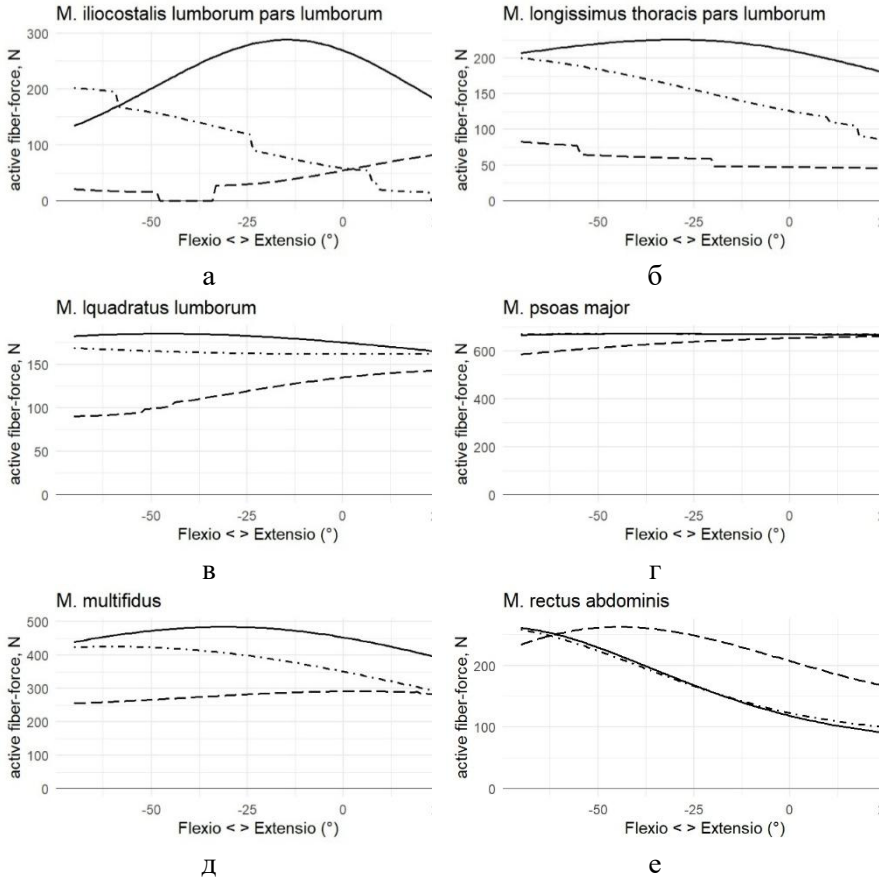


Рис. 1. Зміна активної сили м'язів при різних формах лордозу

А) *M. iliocostalis lumborum pars lumborum*.

Б) *M. longissimus thoracis pars lumborum*

в) *M. quadratus lumborum*

г) *M. psoas major*

д) *M. multifidus*

е) *M. rectus abdominis*

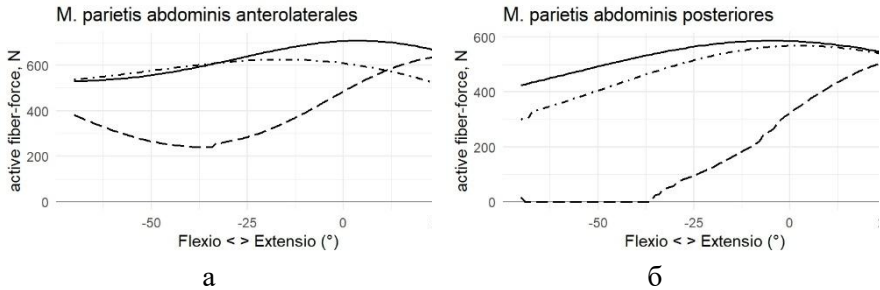
**M. multifidus** (багатороздільний м'яз) (рис. 1, д). В нормі м'яз розвиває силу, яка в середньому становить  $(457,0 \pm 26,2)$  Н, що більше, ніж при гіперлордозі  $(380,0 \pm 43,5)$  Н, і кіфозі  $(279,0 \pm 11,9)$ . Діапазон зміни сили, тобто різниця між піком сили і мінімумом в нормі становить 93,3 Н, з піком в куті згинання  $31,2^\circ$ . Інтегральна сила дорівнює 767,0 Н·рад. При кіфозі середня сила м'яза суттєво знижена  $(279,0 \pm 11,9)$  з діапазоном змін 36,2 Н. Пік сили (291 Н) припадає на кут  $3,7^\circ$ . Інтегральний показник сили становить 467,0, що становить 60,9 % норми. При гіперлордозі середня сила м'яза становить  $(380,0 \pm 43,5)$  Н, з високим рівнем зміни ( $\Delta \approx 137$  Н), пік сили (425 Н) припадає на кут згинання  $60,3^\circ$ . Інтегральний показник сили становить 638,0 Н·рад, що на 16,9 % менше за норму.

**M. rectus abdominis** (прямий м'яз живота) (рис. 1, е). Сили, які розвиває м'яз в нормі і при гіперлордозі показники близькі. Середня сили в нормі становить  $(168,0 \pm 56,3)$  Н з піком 261 Н при максимумі згинання, при гіперлордозі усереднена сила становить  $(169,0 \pm 51,7)$  Н з піком 258 Н при тих же  $70^\circ$  згинання (табл. 1). Інтегральна сила в нормі і при гіперлордозі становить 282 Н·рад. При кіфозі спостерігаємо перевищення за норму рівень сили м'язу. Усереднена сила становить  $(229,0 \pm 31,2)$  Н з піком у 263 Н при куті згинання  $\sim 45^\circ$ . Інтегральна сила 385 Н·рад перевищує норму на 36,6 %. Відмічаються помірні глобальні (26,8 %) та дуже сильні локальні (34,9 %) відмінності кривої сили при кіфозі від норми.

**M. obliques abdominis** (косий м'яз живота). Сила, яку розвиває передне-бічна порція *m. obliques abdominis* в нормі максимальна (рис. 2, а) усереднене значення становить  $(632,0 \pm 64,2)$  Н, при діапазоні змін 178 Н. Пік сили (709,0 Н) припадає на кут розгинання  $3,7^\circ$  (практично вертикальне положення). Інтегральне значення сили АУС становить 1060 Н·рад. Для кіфозу спостерігається U-подібна зміна сили, усереднене значення становить  $(389,0 \pm 134,0)$  Н при діапазоні зміни  $\Delta \approx 402$  Н. Максимум (641 Н) при куті  $26^\circ$  розгинання. Інтегральна сили дорівнює 649 Н·рад, що становить  $\sim 61$  % норми (зниження на 38,7 %). При гіперлордозі сила передне-бічної порції при русі від повного згинання до кута  $25^\circ$  близька до норми, при подальшому розгинання сила м'язів зменшується. Усереднена сила становить  $(587,0 \pm 31,9)$  Н при діапазоні 115 Н. Пік сили 626 Н припадає на кут згинання  $\sim 15^\circ$ . Інтегральне значення сили становить 985 Н, що на 7 % менше за норму.

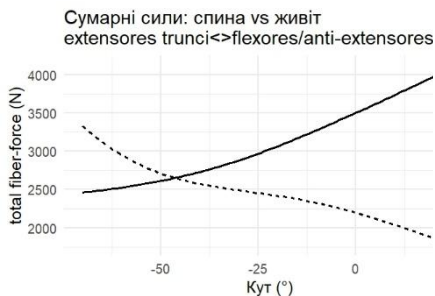
Для задне-бічної порції *m. obliques abdominis* (рис. 2, б) в нормі більше, ніж при інших станах поперекового відділу хребта. Усереднена

сила становить (539,0±48,6) Н, пік у 587 Н припадає на кут згинання 5,03°. Інтегральна сила становить 907 Н·рад. При кіфозі спостерігаємо значне зменшення як середнього рівня сили (175,0±182,0) Н, так і інтегрального показника – 292 Н·рад, всього 32,3% норми. Максимум сили 515 Н припадає на максимум розгинання – 26°. При гіперлордозі усереднений рівень сили дорівнює (489,02±82,1) Н, інтегральний показник – 820 Н·рад всього на 9,3 % нижче норми.

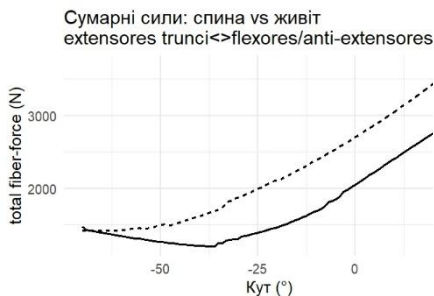


*Рис. 2. M. obliques abdominis зміна активної сили м'язів (інтегральна оцінка) при різних формах лордозу. а) передне-бічні м'язи; б) задне-бічні м'язи*

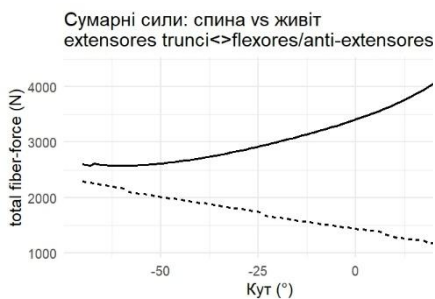
Проведено аналіз відношення суми сил м'язів спини до м'язів живота при різних формах поперекового відділу хребта (рис. 3). В нормі при сагітальних рухах від згинання до розгинання спостерігається зниження м'язів спини, і відповідне збільшення сили м'язів черевної порожнини. За даними статистичного аналізу інтегральна сила м'язів спини становить 4076,3 Н·рад, живота - 5230,8 Н·рад, коефіцієнт відношення АUC дорівнює 0,799, що говорить про домінування передніх м'язів. Максимум кривої сил м'язів спини припадає на максимум згинання, живота – розгинання, оптимум сили при падає на кут ~40° згинання. При кіфозі відмічено U-подібна зміна сили м'язів як спини, так і живота (рис. 3, б) з явним перевищенням сил спини. Це підтверджує результат аналізу відношення інтегральної показників, де сила м'язів спини становить 3701,6 Н·рад, живота – 2807,1 Н·рад при коефіцієнті відношення 1,280. При цьому зменшення сили м'язів спини знижується на 9,2 %, живота – на 46,3 %. Пікове значення сили обох груп м'язів припадає на максимум розгинання, оптимум відношення не досягається.



а



б



в

*Рис. 3. Оцінка відношення сумарної сили м'язів спини (extensores trunci) до суми сил м'язів живота.*

*А) норма:*

*б) кіфоз:*

*в) гіперлордоз:*

При гіперлордозі спостерігаємо близьку до норми динаміку (рис. 3, в), але криві сум не пересікаються, тобто не відбувається «перехоплення» активації м'язів. Оптимум також не досягається. Спостерігається доволі значне (на 30,6 %) зниження інтегральної сили м'язів спини ( $AUC = 2826.9 \text{ Н} \cdot \text{рад}$ ), хоча зниження сили м'язів живота майже не відбувається (зниження на 0,3 %). Коефіцієнт відношення сил становить 0,542, що свідчить про домінування м'язів живота. Пік сили м'язів спини припадає на максимальний кут згинання, живота – розгинання.

**Висновки.** Зміна сагітальних параметрів поперекового відділу хребта призводить до зміни балансу сил м'язів тулуба. При кіфозі і гіперлордозі спостерігається зниження інтегральної сили та середньої активності майже всіх м'язових груп, особливо задньої групи. Найбільше зниження інтегральної сили м'язів відбувається при кіфотичній деформації. При порівнянні з нормальною конфігурацією лордозу, інтегральна сила ( $AUC$ ) зменшувалась від 33% до 73%. Це супроводжувалося високими глобальними та локальними відмінностями від нормальних показників. Гіперлордоз спричиняє менш

виражені зміни, однак також порушує м'язовий баланс. Середні зміни AUC становили від 10 до -30%, що свідчить про помірну, але клінічно значущу перебудову активації м'язів. При патологічних вигинах хребта знижується участь м'язів живота у стабілізації тулуба, що потенційно підвищує навантаження на глибокі м'язи спини, особливо *m. multifidus*, *m. quadratus lumborum* та *m. erector spinae*.

Сагітальні зміни кривизни поперекового відділу хребта призводять до втрати сили груп м'язів. При кіфозі переважно знижують силу м'язи живота, при гіперлордозі – спини. В результаті порушується баланс сил, м'язи втрачають здатність нормального функціонування.

### *Література*

1. Продан О.І., Берінов К.В., Стауде В.А., Карпінський М.Ю., Карпінська О.Д. Біомеханічні аспекти патогенезу попереково-тазового болю у вагітних жінок. Ортопедия, травматология и протезирование. 2009. - № 4. - С.68-72. DOI: 10.15674/0030-59872009468-72
2. Christophy M, Faruk Senan NA, Lotz JC, O'Reilly OM. A musculoskeletal model for the lumbar spine. Biomech Model Mechanobiol. 2012 Jan;11(1-2):19-34. doi: 10.1007/s10237-011-0290-6. Epub 2011 Feb 12. PMID: 21318374.