

Скелетно-м'язове моделювання компенсаторної участі м'язів плечового поясу в забезпеченні стабільності плечового суглоба в умовах часткового ушкодження сухожилка надостьового м'яза, спричиненого кальцифікуючим тендинітом

Лазарев І.А.¹, Білявський В.О.¹✉, Юрійчук Л.М.², Богдан С.В.¹

Резюме. Наявність кальцинату в товщі сухожилків ротаторної манжети плеча (РМП) зазвичай призводить до порушення біомеханіки плечового суглоба, зокрема до порушення плечолопаткового ритму. Цікавим та малодослідженим залишається питання компенсаторної участі м'язів плечового поясу в забезпеченні стабільності плечового суглоба в умовах часткового ушкодження сухожилка надостьового м'яза, спричиненого кальцифікуючим тендинітом. **Мета дослідження.** Провести скелетно-м'язове моделювання з вивченням компенсаторної участі м'язів РМП у забезпеченні стабільності плечового суглоба при елементарному русі елевації верхньої кінцівки в умовах часткового ушкодження сухожилка надостьового м'яза, спричиненого наявністю кальцинату в його товщі. **Матеріали і методи.** Для аналізу використовувалося імітаційне комп'ютерне моделювання в програмному пакеті AnyBody Modeling System™ (AnyBody Technology A / S, Denmark) для Windows. Калькуляція проводилася на програмному компоненті Mannequin, обраному з колекції моделей AnyBody Managed Model Repository™. Розраховували параметри суглобових сил, що діють у напрямку 3 осей – X, Y, Z, де вісь X відповідала передньо-задньому напрямку сили (antero-posterior force), вісь Y – нижньо-верхньому напрямку (infero-superior force), вісь Z – компресійно-дистракційному напрямку сили (medio-lateral force), на плечовий суглоб. Об'єктом дослідження були активність м'язів (Activity) та сила м'язів (Fm) *m. deltoidus clavicular*, *m. deltoidus scapularis*, *m. infraspinatus*, *m. subscapularis*, *m. teres major*, *m. teres minor* при імітації зниження сили *m. supraspinatus*, на 50% спричиненого наявністю кальцинату в товщі його сухожилка. **Результати.** При складному русі верхньої кінцівки, пов'язаному з елевацією, в умовах наявності кальцинату в товщі сухожилка *m. supraspinatus*, зі зниженням показників його сили на 50% виникає компенсаторне збільшення сили м'язів плечового поясу – задньої порції *m. deltoidus scapularis*, *m. infraspinatus* та *m. subscapularis* – для забезпечення стабільності плечового суглоба. Враховуючи незначні зміни суглобових реакцій за 3 осями, при зниженні сили *m. supraspinatus*, спричиненому наявністю кальцинату в його товщі, компенсаторний механізм включення додаткової м'язової активності та м'язових зусиль інших м'язів плечового поясу забезпечує у цих умовах необхідну стабільність плечового суглоба. **Висновки.** Проведене дослідження підтверджує можливість успішного застосування програм консервативного лікування кальцинатів сухожилка *m. supraspinatus*, спрямованого на розвиток компенсаторних можливостей м'язів плечового поясу.

Ключові слова: кальцифікуючий тендиніт; ротаторна манжета плеча; плечовий пояс.

Вступ

Кальцифікуючий тендиніт сухожилків ротаторної манжети плеча (РМП) – захворювання, що

характеризується болем і обмеженням рухів у плечовому суглобі (ПС) через відкладення поодиноких або множинних депозитів гідроксиапатиту кальцію ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}$) у товщі сухожилків РМП або субакроміальній сумці [1]. Термін “кальцифікуючий тендиніт” вперше був вжитий Plenk у 1952 році. Типовим симптомом цієї нозології є біль, що виникає у ПС та

✉ Білявський В.О., dr.biliaivskiy@gmail.com

¹ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України”, м. Київ

²Івано-Франківська обласна клінічна лікарня, м. Івано-Франківськ

призводить до обмеження об'єму як активних, так і пасивних рухів у ПС [1].

Існує кілька теорій патогенезу виникнення кальцифікуючого тендиніту [2-4]. Перша гіпотеза базується на так званому зносі сухожилків РМП, тобто постійному перевантаженні та дегенерації. Мікротравматизація сухожилка може мати безсимптомний перебіг, але у відповідь на це в організмі відбувається стимулювання процесів загоєння, включаючи утворення депозитів кальцію у ділянці ушкодження [5]. Uhthoff & Loehr (1997) описують інший механізм, у якому захворювання має перебіг реактивного процесу, спричиненого гіпоксією сухожилка та має 3 стадії: прекальцинату, кальцинату та післякальцинату. Захворювання починається із метаплазії тканини сухожилка у його товщі. Наступна стадія кальцинату поділяється на 3 фази: формування, спокою та резорбції – й остання стадія післякальцинату характеризується утворенням нових кровоносних судин і ремоделюванням простору сухожилка з кальцинатом [6]. Симптоматичним вважається кальцинат, якщо пацієнта турбує біль, слабкість або порушення відведення у плечовому суглобі, що призводить до порушення об'єму рухів. До цього всього характеристика болю може бути різною залежно від стадії та фази захворювання, наприклад, у пацієнтів із підгострим, слабким болем, ймовірно, фаза формування кальцинату, навпаки, у пацієнтів із гострим больовим синдромом – фаза резорбції [6]. Симптоми посилюються, коли розмір кальцинату досягає 1,5 см у діаметрі, викликаючи постійний больовий синдром, ушкодження сухожилків РМП та вторинний адгезивний капсуліт [7, 8]. Середні розміри площі кальцинатів сухожилка надостьового м'яза коливаються в межах $1,49 \pm 0,48 \text{ см}^2$ [1], розміри зони фіксації сухожилка надостьового м'яза до великого горбка плечової кістки – $3,91 \pm 0,5 \text{ см}^2$. Таким чином, середні розміри площі кальцинатів сухожилка надостьового м'яза займають від 30 до 50% площі фіксації сухожилка надостьового м'яза.

Повідомляється про поширеність кальцифікуючого тендиніту від 2,7 до 10% у загальній популяції [5, 9, 10], з яких у 50% це захворювання має асимптомний перебіг [11]. Жінки хворіють удвічі частіше, ніж чоловіки, причому правий ПС ушкоджується частіше [12]. Сухожилок надостьового м'яза вражається у 80% випадків, підостьовий – у 20%, підлопатковий – у 5% і менше [12, 13].

Наявність кальцинату в товщі сухожилків РМП зазвичай призводить до порушення біомеханіки плечового суглоба і зокрема до порушення плечолопаткового ритму. Цікавим та малодослідженим лишається питання компенсаторної участі м'язів

плечового поясу в забезпеченні стабільності плечового суглоба в умовах часткового ушкодження сухожилка надостьового м'яза, спричиненого кальцифікуючим тендинітом. В англійській літературі ми знайшли лише кілька робіт, присвячених цьому питанню [6, 14].

Мета дослідження: провести скелетно-м'язове моделювання з вивченням компенсаторної участі м'язів плечового поясу в забезпеченні стабільності плечового суглоба при елементарному русі елевації верхньої кінцівки в умовах часткового зниження сили надостьового м'яза, спричиненого наявністю кальцинату в товщі його сухожилка.

Матеріали і методи

Для аналізу використовували імітаційне комп'ютерне моделювання в програмному пакеті AnyBody Modeling System™ (AnyBody Technology A / S, Denmark) для Windows. Калькуляція проводилася на програмному компоненті Mannequin, обраному з колекції моделей AnyBody Managed Model Repository™ (рис. 1).

Засобами програми виділено елемент моделі плечового суглоба з навколишніми групами м'язів (рис. 2).

Розраховували параметри суглобових сил, що діють у напрямку 3 осей – X, Y, Z, де вісь X відповідала передньо-задньому напрямку сили (antero-posterior force), вісь Y – нижньо-верхньому напрямку (infero-superior force), вісь Z – компресійно-дистракційному напрямку сили (medio-lateral force), на плечовий суглоб (рис. 2).

Задано параметри та умови дослідження: напрямок – Inverse Dynamics, розраховували максимальну м'язову активність та м'язове зусилля для кожного м'яза РМП при складному русі верхньої кінцівки, пов'язаному з елевацією верхньої кінцівки з нейтрального положення вздовж тулуба – 10° у положення відведення – 90° , із наступним згинанням передпліччя до 90° у ліктьовому суглобі. Час руху з початкового у кінцеве положення – 0,5 с. Наявність кальцинату в товщі сухожилка *m. supraspinatus* моделювали шляхом зниження у вхідних параметрах сили *m. supraspinatus* на 50%. Під час білатерального руху порівнювали силу та активність м'язів на боці симуляції ушкодження з інтактною стороною. Об'єктом дослідження були активність м'язів (Activity) та сила м'язів (Fm) *m. deltoidus clavicular*, *m. deltoidus scapularis*, *m. infraspinatus*, *m. subscapularis*, *m. teres major*, *m. teres minor* при імітації зниження сили *m. supraspinatus* на 50%, спричиненого наявністю кальцинату в товщі його сухожилка.

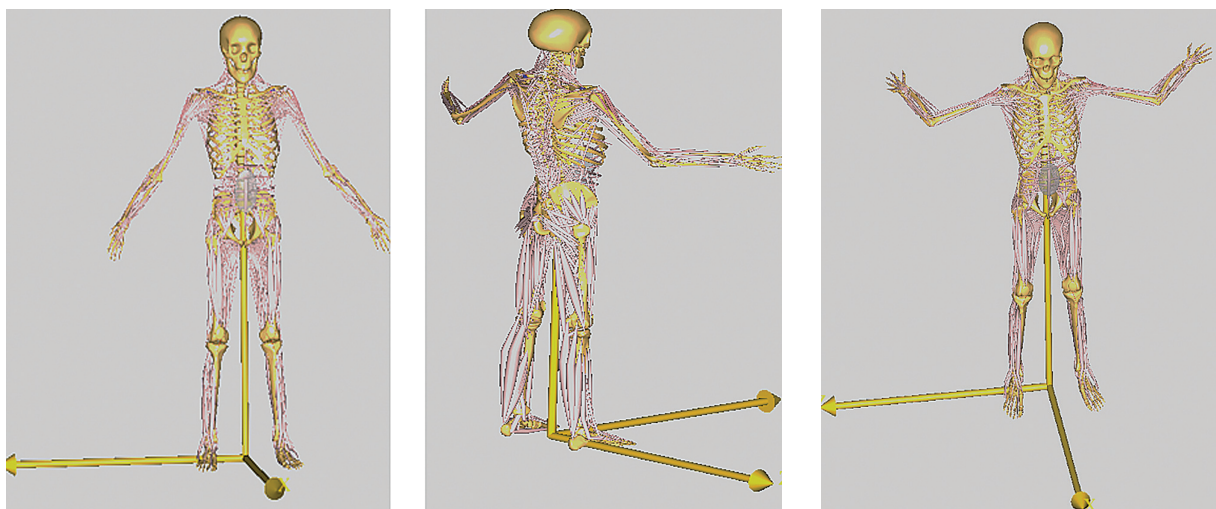


Рис. 1. Програмний компонент Mannequin із колекції моделей AnyBody Managed Model Repository™

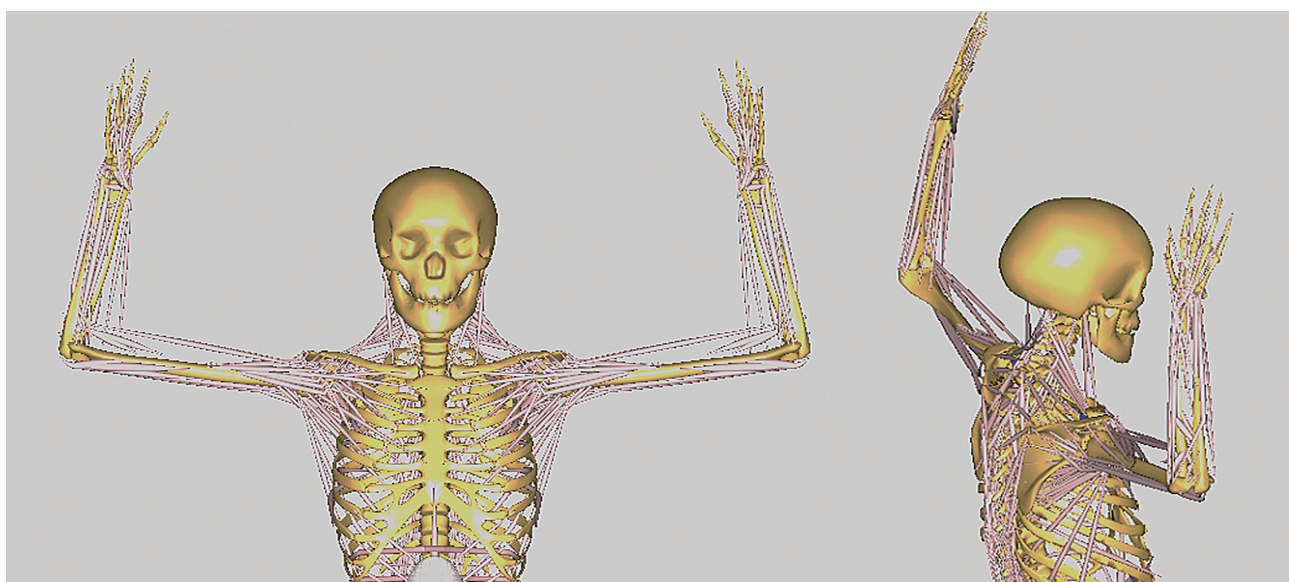


Рис. 2. М'язи плечового суглоба в моделі AnyBody

Результати

Порівняльний аналіз показників суглобових реакцій за осями при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50% представлено у табл. 1 та на графіках (рис. 3).

Таблиця 1

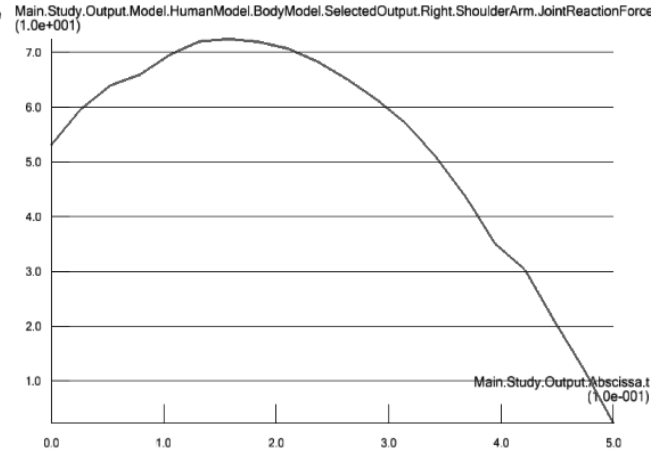
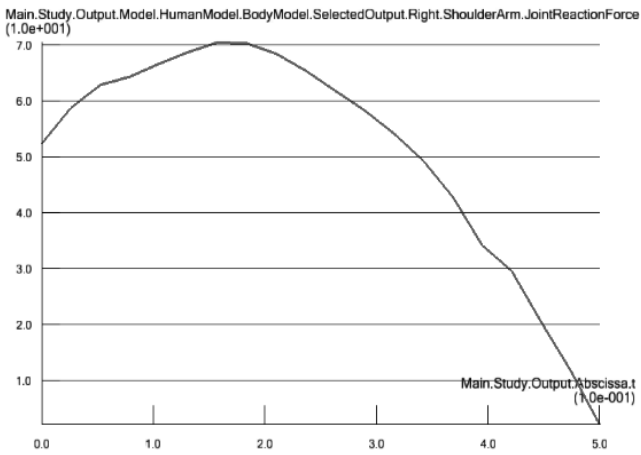
Порівняльний аналіз показників суглобових реакцій (JRF) за осями при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%

JRF	Norm	50% <i>m. supraspinatus</i>
GlenoHumeral AnteroPosteriorForce	7.15×10	7.0×10
GlenoHumeral DistractionForce	-2.9×10^2	-2.75×10^2
GlenoHumeral IneroSuperiorForce	1.2×10^2	1.25×10^2

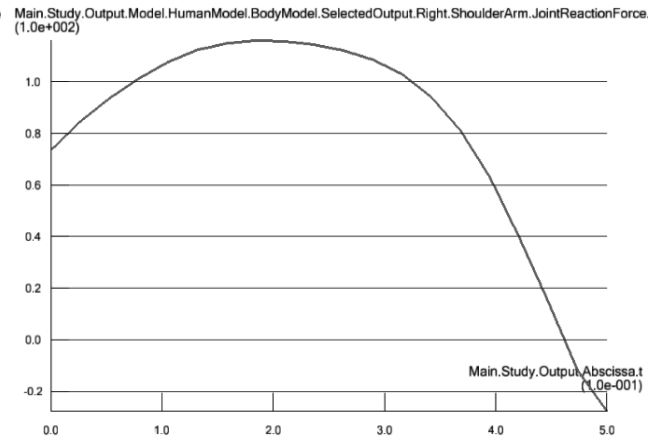
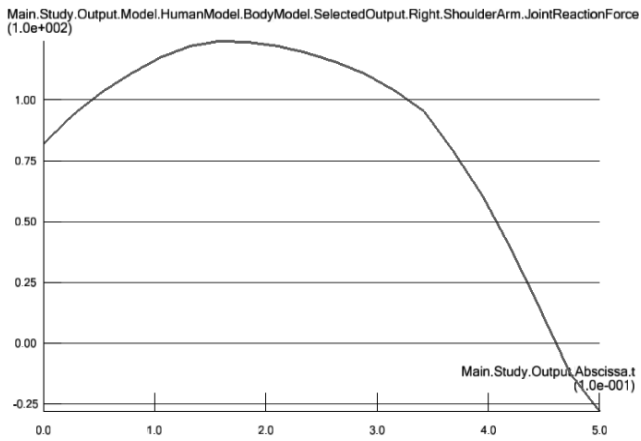
Сторона ураження

Інтактна сторона

GlenoHumeral AnteroPosteriorForce



GlenoHumeral InferoSuperiorForce



GlenoHumeral DistractionForce

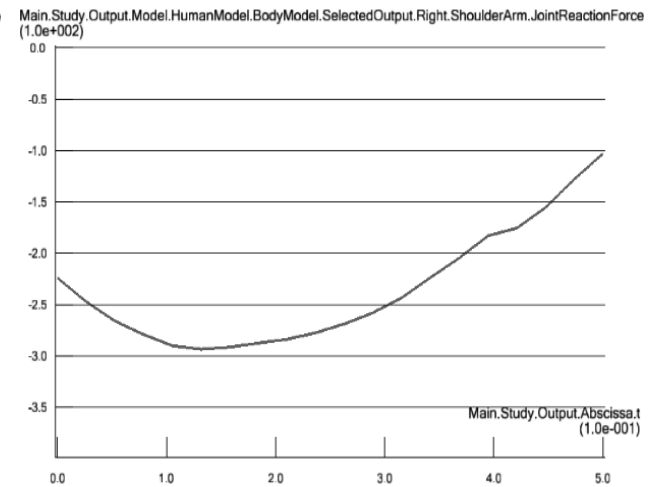
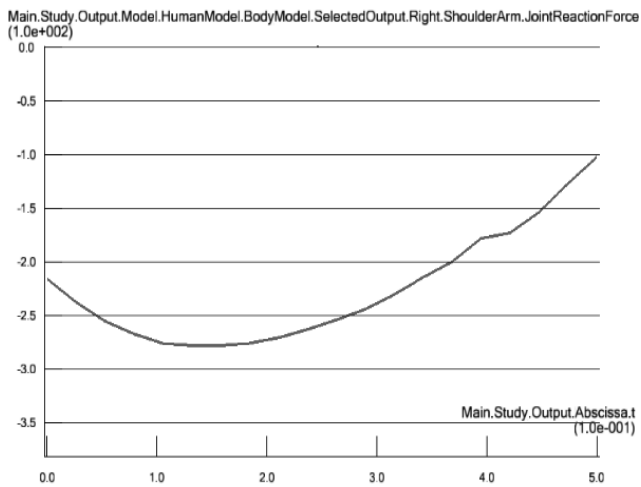


Рис. 3. Графіки показників суглобових реакцій (JRF) за осями при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%

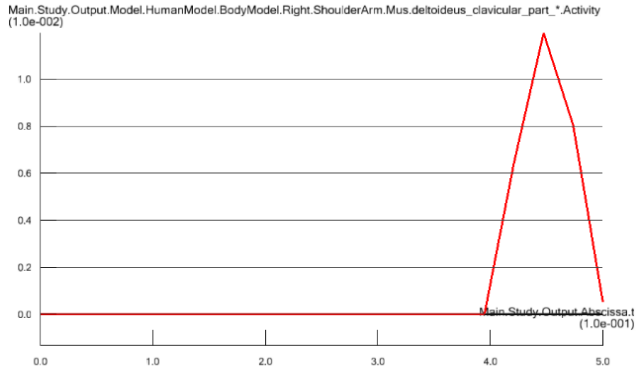
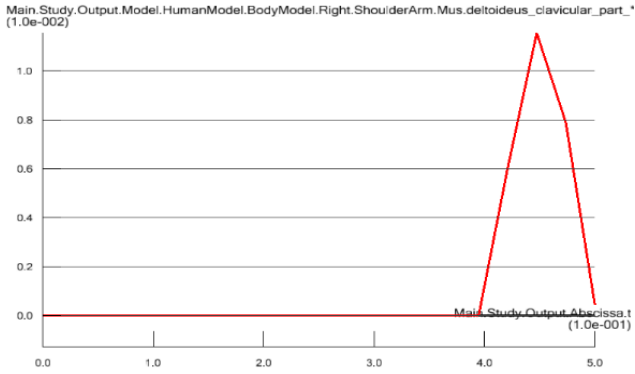
Як бачимо з табл. 1 та рис. 3, при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%, суглобові реакції AnteroPosteriorForce та DistractionForce на стороні ураження незначно зменшилися – на 2 та 5% відповідно, а InferoSuperiorForce збільшилися на 4% в порівнянні з інтактною стороною.

Графіки активності м'язів (Activity) та сили м'язів (Fm) плечового поясу при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50% представлені на рис. 4-7.

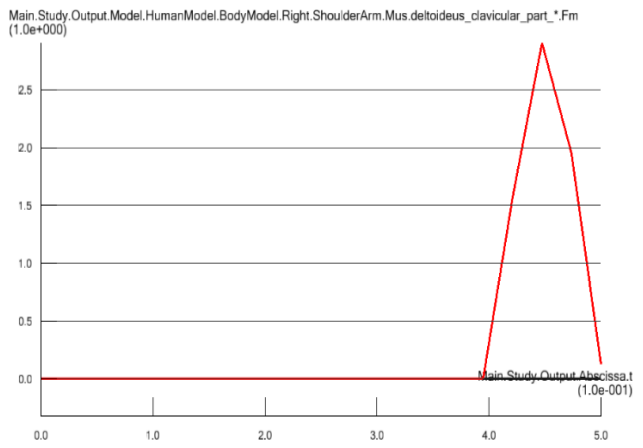
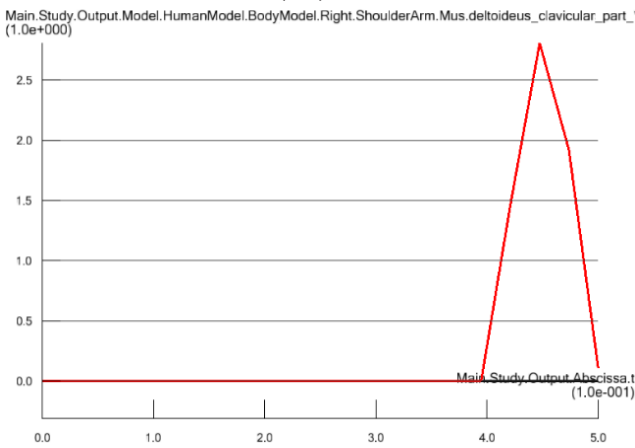
Сторона ураження

Інтактна сторона

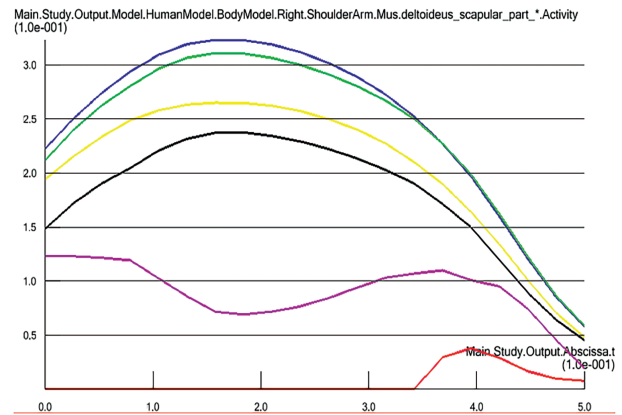
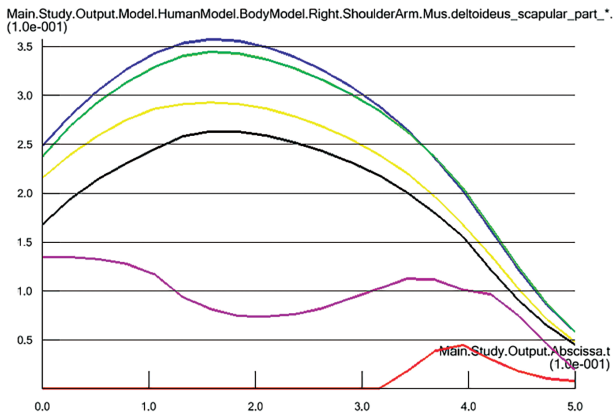
M. deltoideus clavicular (Activity)



M. deltoideus clavicular (Fm)



M. deltoideus scapularis (Activity)



M. deltoideus scapularis (Fm)

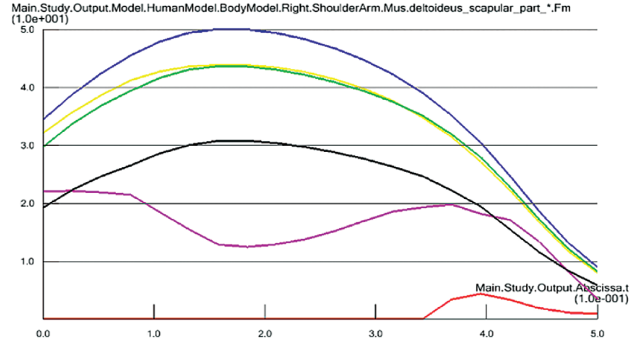
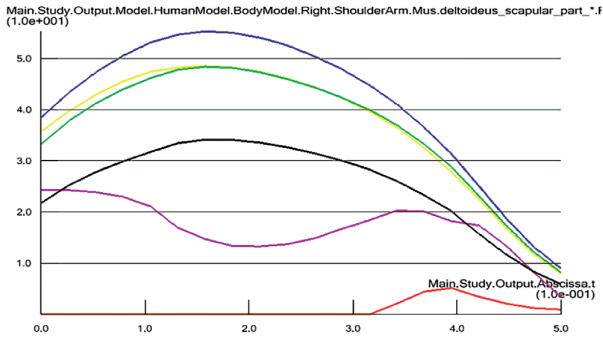
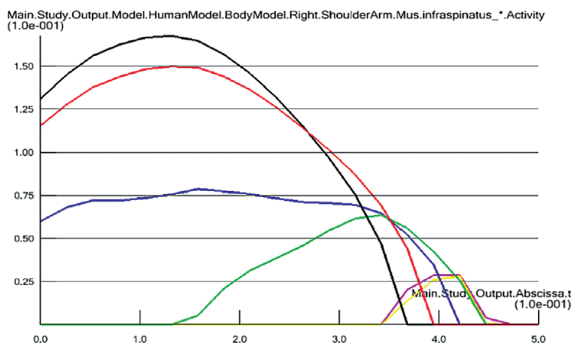


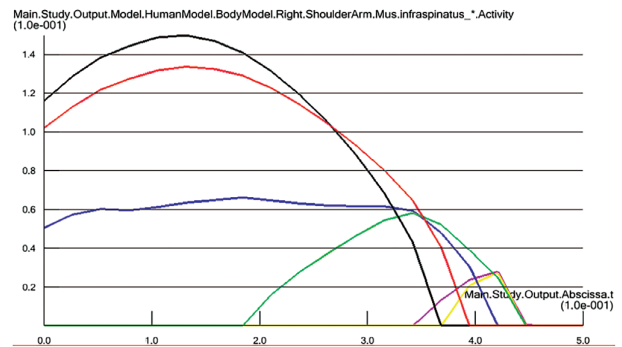
Рис. 4. Графіки показників м'язової активності (Activity) та м'язових сил (Fm) *m. deltoideus* при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%

Сторона ураження

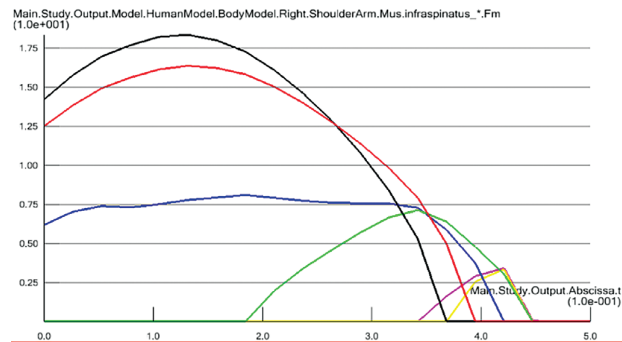
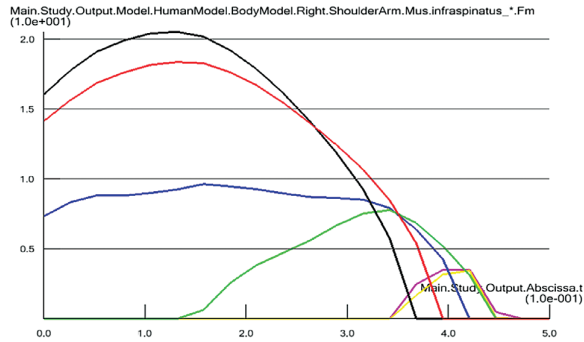
M. infraspinatus (Activity)



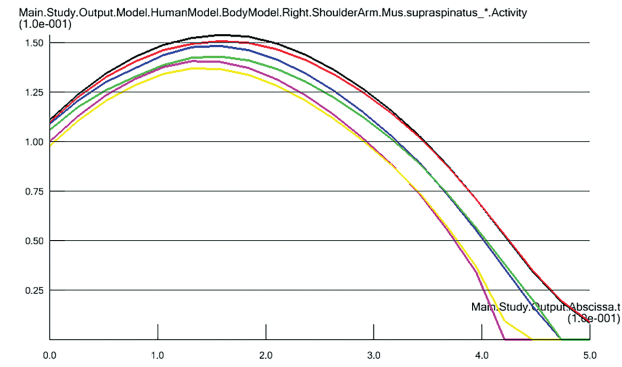
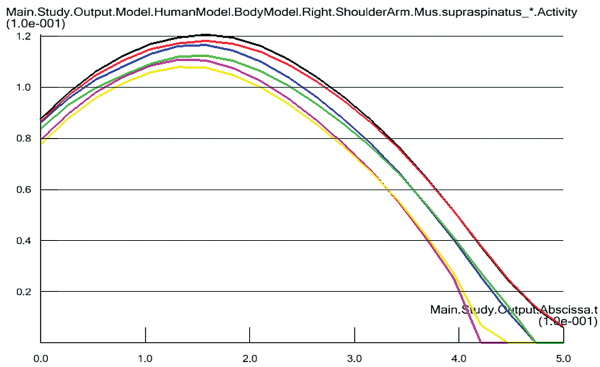
Інтактна сторона



M. infraspinatus (Fm)



M. supraspinatus (Activity)



M. supraspinatus (Fm)

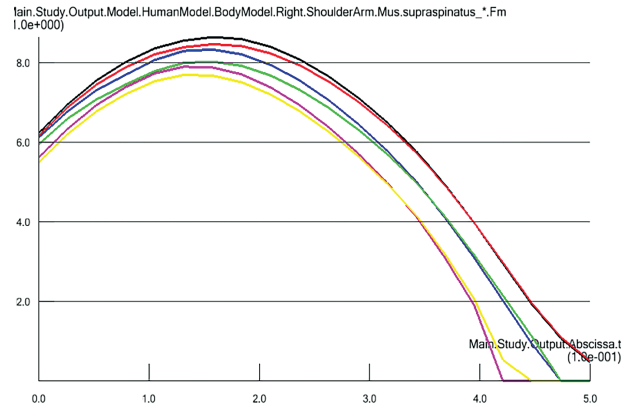
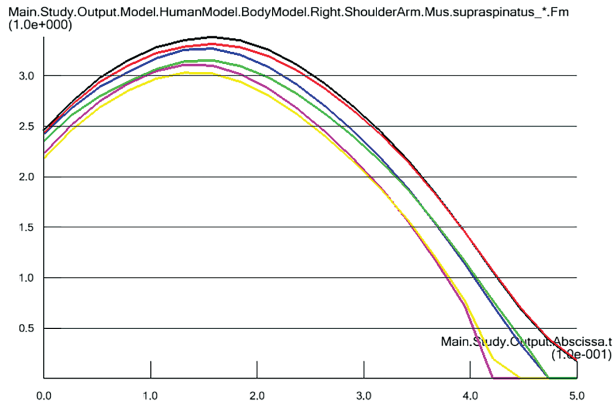
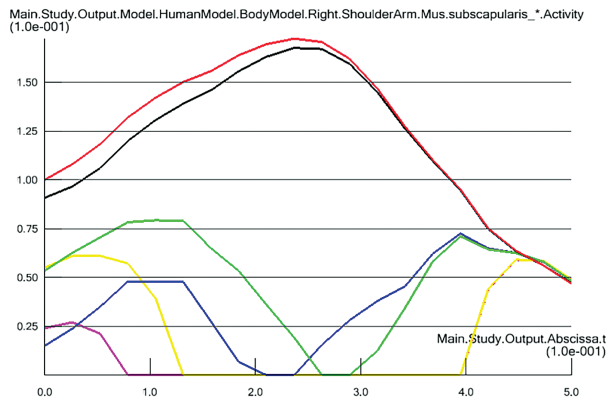


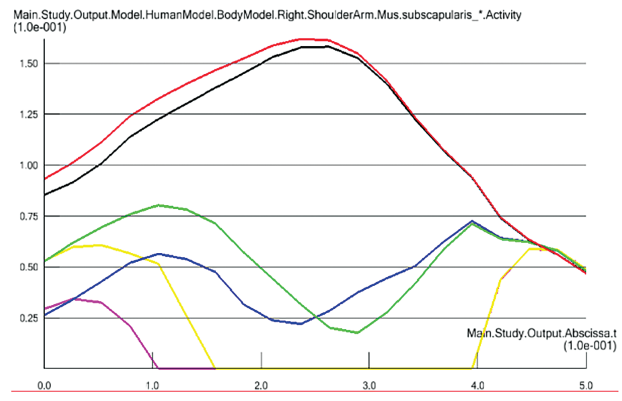
Рис. 5. Графіки показників м'язової активності (Activity) та м'язових сил (Fm) *m. infraspinatus* та *m. supraspinatus* (Fm) при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%

Сторона ураження

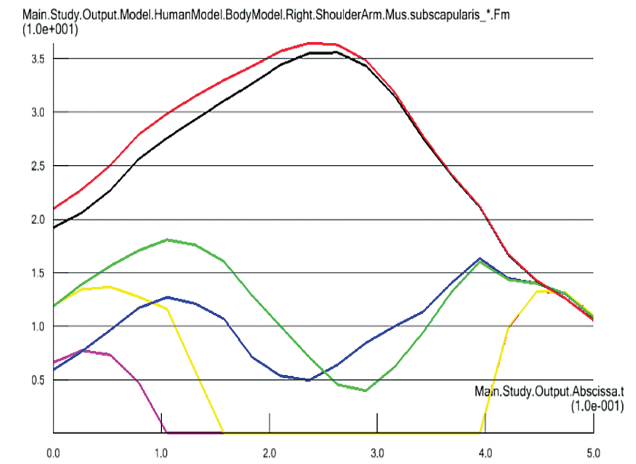
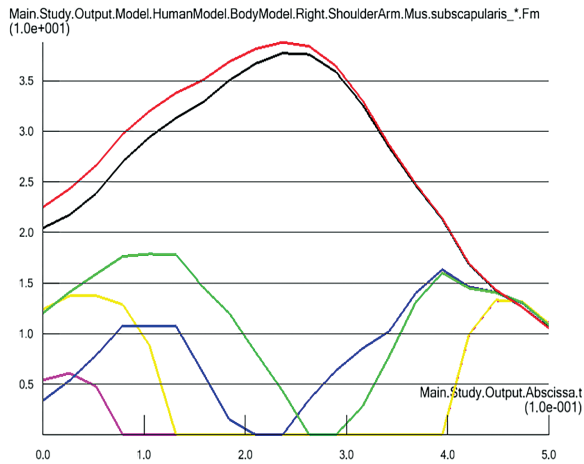
M. subscapularis (Activity)



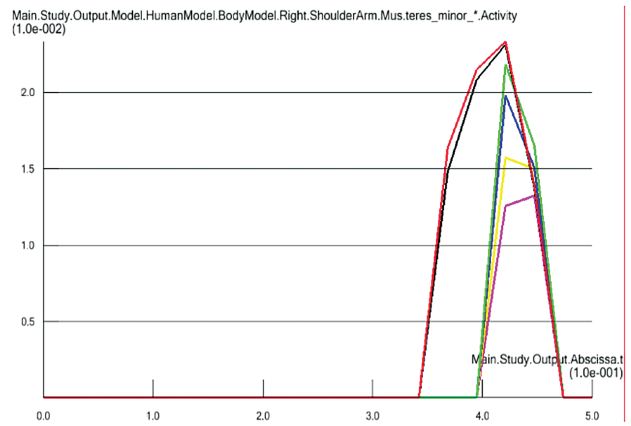
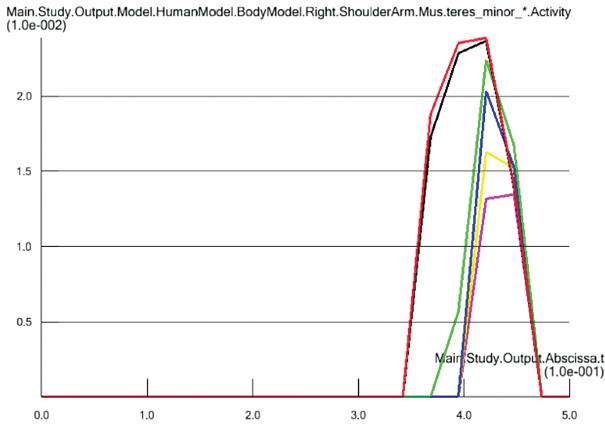
Інтактна сторона



M. subscapularis (Fm)



M. teres minor (Activity)



M. teres minor (Fm)

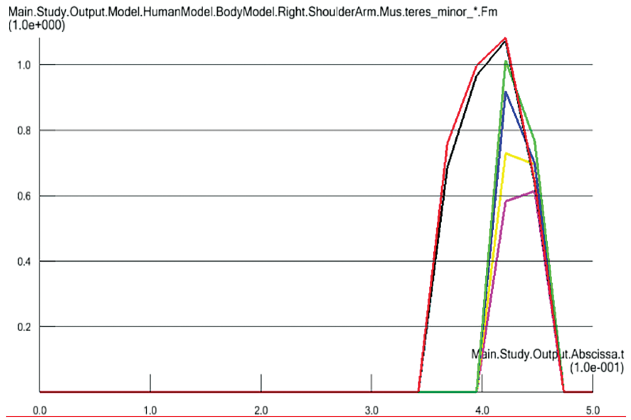
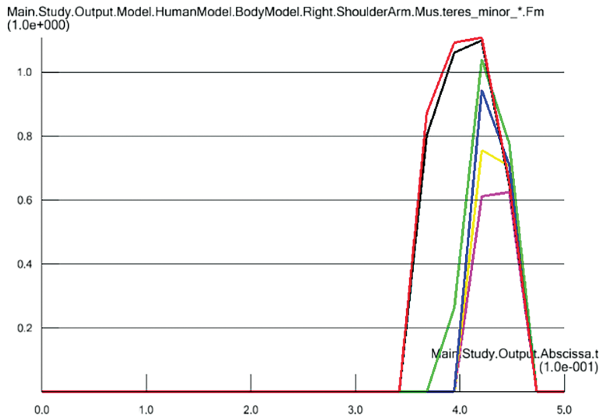
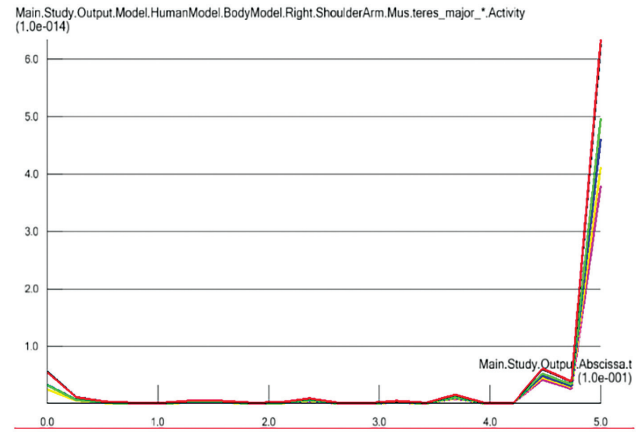
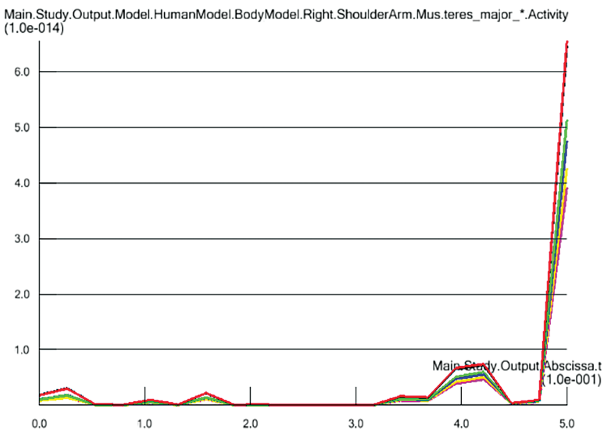


Рис. 6. Графіки показників м'язової активності (Activity) та м'язових сил (Fm) *m. subscapularis* та *m. teres minor* при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%

Сторона ураження

Інтактна сторона

M. teres major (Activity)



M. teres major (Fm)

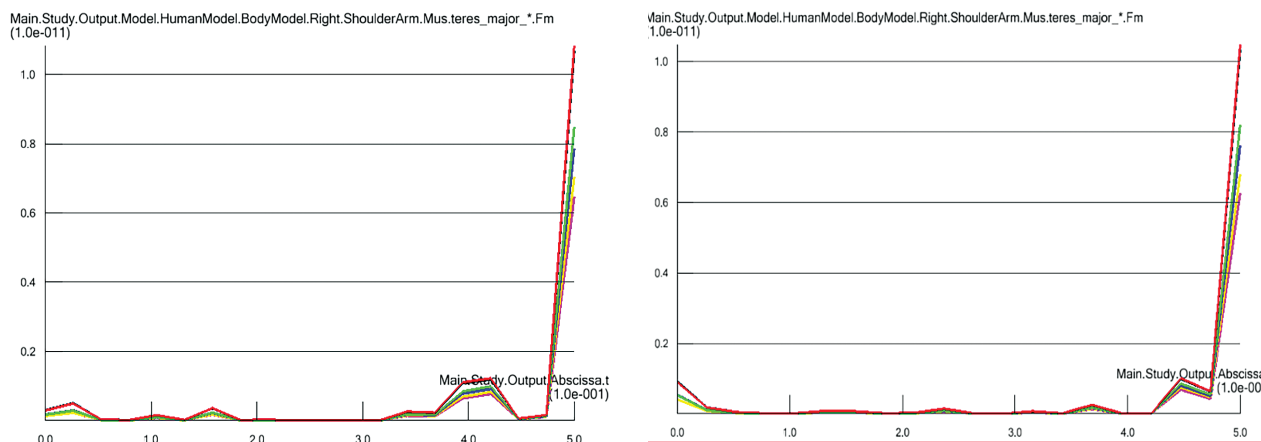


Рис. 7. Графіки показників м'язової активності (Activity) та м'язових сил (Fm) *m. teres major* при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50%

Порівняльний аналіз активності та сили м'язів плеча при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50% внаслідок наявності кальцинату в товщі його сухожилка представлено у табл. 2.

Наявність кальцинату в товщі сухожилка *m. supraspinatus* зі зниженням його сили на 50% супроводжується компенсаторним зростанням сили цілої групи м'язів плеча: *m. deltoidus scapularis* – на 10%, *m. infraspinatus* – на 17%, *m. subscapularis* – на 7% та *m. teres minor* – на 5% у порівнянні з інтактною стороною. При цьому ушкоджений *m. supraspinatus* демонструє зниження силових характеристик на 59%. Зміни силових характеристик *m. teres major* були незначними на фоні його мінімальної участі

у цьому русі. Активність м'язів інтактної сторони та сторони ураження була без видимих змін.

Таким чином, наявність кальцинату в сухожилку *m. supraspinatus* зі зниженням його сили на 50% супроводжується залученням додаткових компенсаторних зусиль та м'язової активності з боку *m. deltoidus scapularis*, *m. infraspinatus*, *m. subscapularis* та *m. teres minor*. За рахунок сумарної компенсаторної дії м'язів плеча для забезпечення вертикальної та горизонтальної стабільності гленохумерального суглоба виникає незначне зменшення показників сил реакції – AnteroPosteriorForce та DistractionForce на 2 та 5% відповідно, на стороні ураження. При цьому одночасно збільшуються по-

Таблиця 2

Порівняльний аналіз активності та сили (Н) м'язів плеча при зниженні сили *m. supraspinatus* на 50% внаслідок наявності кальцинату в його товщі

М'яз	Активність м'язів		Сила м'язів (Н)	
	Інтактна сторона	Сторона ураження	Інтактна сторона	Сторона ураження
<i>m. deltoidus clavicular</i>	0,012	0,012	2,7	2,7
<i>m. deltoidus scapularis</i>	0,32	0,32	50	55
<i>m. infraspinatus</i>	0,15	0,15	18	21
<i>m. subscapularis</i>	0,17	0,17	36	38,5
<i>m. supraspinatus</i>	0,16	0,16	8,5	3,45
<i>m. teres major</i>	$6,2 \cdot 10^{-14}$	$6,2 \cdot 10^{-14}$	$1,05 \cdot 10^{-10}$	$1,08 \cdot 10^{-10}$
<i>m. teres minor</i>	0,02	0,02	1,1	1,15

казники InferoSuperiorForce – на 5%, які є фактором забезпечення стабільності голівки плечової кістки у суглобовій западині лопатки. Ці зміни є незначними та не порушують стабільність ПС.

Обговорення

Вивчення компенсаторної участі м'язів для забезпечення стабільності суглобів в умовах різноманітної патології активно застосовується в клінічній та дослідницькій практиці. Але існує ряд обмежень, що не дозволяють проводити натурні дослідження *in vivo* з метою надання кваліфікованої оцінки процесів, які відбуваються в тілі людини, виміряти які здебільшого неможливо і неетично. Це спонукає до пошуку інших заходів та засобів визначення функції м'язово-скелетної системи людини. Розробка медично-інженерного програмного забезпечення AnyBody Modeling System™ (AnyBody Technology A / S, Denmark) дозволила створити відповідні м'язово-скелетні моделі для імітаційного моделювання опорно-рухового апарату з визначенням навантаження на м'язи, сухожилки, суглоби та потенційних похідних величин, призначених для ергономічного аналізу, прогнозування результатів реабілітаційного лікування та ін.

Кінематичний рух плеча є найскладнішим в тілі людини, оскільки він включає рух 3 кісток і 4 суглобів: ключиці, лопатки, плечової кістки, грудино-ключичного, акроміально-ключичного, плечового та лопатково-грудного суглобів. Плечовий суглоб зазвичай визначається як кулькоподібний суглоб між плечовою кісткою та лопаткою, який має 3 обертові рухи: згинання-розгинання (рух у сагітальній площині), відведення-приведення (рух у фронтальній площині) та медіально-латеральне обертання (рух у поперечній площині). Для забезпечення свободи рухів у ПС потрібен баланс між його мобільністю та стабільністю. Саме ротаторна манжета плеча (РМП) і є основним динамічним стабілізатором ПС, а м'язово-скелетне імітаційне моделювання та отримані у проведеному дослідженні дані дозволили значно розширити уявлення та знання про роботу РМП в умовах наявності кальцинату в товщі сухожилка *m. supraspinatus*. Найбільш цікавим було дослідження функції активних стабілізаторів ПС в умовах такої нозології, як кальцифікуючий тендиніт сухожилка *m. supraspinatus*. Отримані результати сприятимуть побудові відповідної тактики лікування цієї категорії хворих. У цьому дослідженні ми доводимо, що консервативне лікування має передувати хірургічному методу і має право на існування, незважаючи на те, що деякі дослідники повідомляють про важливість повного видалення кальцинату з сухожилка РМП,

бо існує зворотна залежність між кількістю депозитів, що залишилась, і функціональним результатом у майбутньому [15-18]. Побудова відповідних реабілітаційних програм лікування пацієнтів із наявністю кальцинату в товщі сухожилка *m. supraspinatus* спрямована на розвиток компенсаторних механізмів динамічної стабілізації ПС за рахунок тренувальних заходів із групою м'язів *m. deltoideus scapularis*, *m. infraspinatus* та *m. subscapularis* для забезпечення стабільності плечового суглоба.

Висновки

1. При складному русі верхньої кінцівки, пов'язаному з елевацією в умовах наявності кальцинату в товщі сухожилка *m. supraspinatus*, зі зниженням показників сили м'язів на 50% виникає компенсаторне збільшення сили м'язів плечового поясу – задньої порції *m. deltoideus scapularis*, *m. infraspinatus* та *m. subscapularis* для забезпечення стабільності плечового суглоба.

2. Враховуючи незначні зміни суглобових реакцій за 3 осями при зниженні сили *m. supraspinatus*, спричиненому наявністю кальцинату в його товщі, компенсаторний механізм включення додаткової м'язової активності та м'язових зусиль інших м'язів плечового поясу забезпечує у цих умовах необхідну стабільність плечового суглоба.

3. Проведене дослідження підтверджує можливість успішного застосування програм консервативного лікування кальцинатів сухожилка *m. supraspinatus*, спрямованого на розвиток компенсаторних можливостей м'язів плечового поясу.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів під час підготовки статті.

References

1. Plenk HP. Calcifying tendinitis of the shoulder. Radiology. 1952; 59:384–389.
2. Mohr W, Bilger S. Basic morphologic structures of calcified tendinopathy and their significance for pathogenesis. Z Rheumatol. 1990;49:346–355.
3. Jim YF, Hsu HC, Chang CY, Wu JJ, Chang T. Coexistence of calcific tendinitis and rotator cuff tear: an arthrographic study. Skeletal Radiol. 1993;22:183–185. DOI: 10.1007/BF00206150
4. Wolfgang GL. Surgical repair of tears of the rotator cuff of the shoulder: factors influencing the result. J Bone Joint Surg Am. 1974;56:14–26.
5. Bosworth BM. Calcium deposits in the shoulder and subacromial bursitis: a survey of 12,122 shoulders. J Am Med Assoc. 1941;116:2477–2482.
6. Uthoff, & Loehr. Calcific Tendinopathy of the Rotator Cuff:

- Pathogenesis, Diagnosis, and Management. The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1997; 5(4), 183–191. DOI: 10.5435/00124635-199707000-00001
7. Draghi F, Scudeller L, Guja A, Chandra D. Prevalence of subacromial-subdeltoid bursitis in shoulder pain: an ultrasonographic study. J Ultrasound. 2015;151-158. DOI: 10.1007/s40477-015-0167-0
8. Elshewy MT. Calcific tendinitis of the rotator cuff. World J Orthop. 2016;7(1):55. DOI: 10.5312/wjo.v7.i1.55
9. Clavert P, Sirveaux F. Société française d'arthroscopie: Les tendinopathies calcifiantes de l'épaule [Shoulder calcifying tendinitis]. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 2008;94(8):S336–S355. DOI: 10.1016/j.rco.2008.09.010
10. Mavrikakis ME, Drimis S, Kontoyannis DA, Rasidakis A, Mouloupoulou ES, Kontoyannis S. Calcific shoulder periartthritis (tendinitis) in adult onset diabetes mellitus: a controlled study. Ann Rheum Dis. 1989;48(3):211–214. DOI: 10.1136/ard.48.3.211
11. McKendry PJ, Uhthoff HK, Sarkar K, Hyslop PS. Calcifying tendonitis of the shoulder: prognostic value of clinical, histologic, and radiologic features in 57 surgically treated cases. J Rheumatol. 1982;9(1):75–90.
12. DePalma AF, Kruper JS. Long-term study of shoulder joints affected with and treated for calcific tendinitis. Clin Orthop. 1961;20:61–72
13. Bureau NJ. Calcific Tendinopathy of the Shoulder. 2013;1(212):80-84. DOI: 10.1055/s-0033-1333941
14. Becciolini M, Bonacchi G, Galletti S. Intramuscular migration of calcific tendinopathy in the rotator cuff: ultrasound appearance and a review of the literature. J Ultrasound. 2016;19(3):175-181. DOI: 10.1007/s40477-016-0202-9
15. Strafun O.S. Treatment of calcific tendinitis of rotator cuff muscles. Journal "Trauma" Vol 18, №1, 2017. DOI: 10.22141/1608-1706.1.18.2017.95586
16. Hurt G, Baker CL Jr. Calcific tendinitis of the shoulder. Orthop Clin North Am. 2003;34(4):567–575. DOI: 10.1016/s0030-5898(03)00089-0
17. Porcellini G, Paladini P, Campi F, Paganelli M. Arthroscopic treatment of calcifying tendinitis of the shoulder: clinical and ultrasonographic follow-up findings at two to five years. J Shoulder Elbow Surg. 2004;13(5): 503–508. DOI: 10.1016/S1058274604000904
18. Rizzello G, Franceschi F, Longo UG, et al. Arthroscopic management of calcific tendinopathy of the shoulder: do we need to remove all the deposit? Bull NYU Hosp Jt Dis. 2009;67:330–333.

Musculoskeletal Modeling of the Compensatory Role of the Shoulder Muscles in Ensuring the Stability of the Shoulder Joint in the Conditions of Partial Traumatic Tear of the Supraspinatus Muscle Caused by Calcific Tendinitis

Lazarev I.A.¹, Biliavskiy V.O.¹, Yuriichuk L.M.², Bobdan S.V.¹

¹SI "Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine", Kyiv

²Ivano-Frankivsk Regional Clinical Hospital, Ivano-Frankivsk

Summary. Relevance. The presence of calcium deposits in the rotator cuff tendons usually leads to a restriction of the biomechanics of the shoulder joint and, in particular, to a failure of the scapulohumeral rhythm. The question of the compensatory participation of the muscles of the shoulder girdle in ensuring the stability of the shoulder joint in conditions of partial-thickness damage to the tendon of the supraspinatus muscle caused by calcific tendinitis remains interesting and understudied. **Objective:** to carry out skeletal and muscular modeling with the study of the compensatory participation of the rotator cuff muscles in ensuring the stability of the shoulder joint during the elementary movement of elevation of the upper limb in conditions of partial-thickness damage to the supraspinatus tendon caused by the presence of calcification in it. **Materials and Methods.** For the analysis we used simulation modeling in the software package AnyBody Modeling System™ (AnyBody Technology A / S, Denmark) for Windows. The calculation was carried out using the software component Mannequin, selected from the AnyBody Managed Model Repository™ model collection. The parameters of joint forces acting in the direction of three axes – X, Y, Z – were calculated, where the X axis corresponded to the anterior-posterior force direction (antero-posterior force), the Y axis – to the inferior-superior force direction, the Z axis – compression-distraction force direction (medio-lateral force) on the shoulder joint. The object of the study was muscle activity (Activity) and muscle strength (Fm) of m. deltoidus clavicular, m. deltoidus scapularis, m. infrapinatus, m. subscapularis, m. teres major, and m. teres minor while simulating a decrease in the strength of m. supraspinatus by 50% caused by the presence of calcification in the thickness of its tendon. **Results.** With complex movement of the upper limb, associated with the elevation of the upper limb, in conditions of partial-thickness tear to the m. supraspinatus, with a decrease in its strength by 50%, there is a compensatory increase in the strength of the muscles of the shoulder joint – the posterior

portion of the *m. deltoideus scapularis*, *m. infraspinatus* and *m. subscapularis*, to ensure the stability of the shoulder joint. Taking into account minor changes in joint reactions along three axes, with a decrease in the strength of *m. supraspinatus* caused by the presence of calcification in its thickness, the compensatory mechanism of including additional muscle activity and muscle efforts of other muscles of the shoulder girdle provides the necessary stability of the shoulder joint in these conditions. **Conclusions.** The study confirms the possibility of successful application of programs of conservative treatment of calcifications of the *m. supraspinatus* tendon, aimed at developing the compensatory capabilities of the muscles of the shoulder girdle.

Key words: calcific tendinitis; rotator cuff; shoulder girdle.