

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ДЕФІЦИТ КИСТІ ПРИ АКРОФОРМІ ХВОРОБИ ОЛЬЄ

Лазарев І.А., Гуж Ю.М., Молнар І.О., Скибан М.В.
ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України", м. Київ

Резюме. *Порушення хондрогенезу при хворобі Ольє призводить до появи патологічних хрящових осередків, які при локалізації в кістках кистей та стоп (цей варіант клінічного перебігу називається акроформною) обумовлюють їх деформацію і, відповідно, порушення функції.*
Мета. *Шляхом математичних розрахунків провести визначення показників функціонального дефіциту кисті при акроформі дисхондроплазії залежно від ступеня потовщення патологічно змінених тканин.*
Результати. *Дослідження базується на даних визначення аналітичним математичним методом відсоткового співвідношення зменшення сили флексії кисті при стандартній дії сил на згинальний апарат пальців, уражених акроформною дисхондроплазії, залежно від ступеня потовщення патологічно змінених тканин.*
Висновки. *Виявлено залежність збільшення сили, що необхідна для стискування пальців у кулак, від збільшення діаметру кістки та м'яких тканин пальців. Через виникнення значного функціонального дефіциту кисті при її стисканні у кулак у пацієнтів з акроформною дисхондроплазії при хворобі Ольє існує необхідність проведення оперативних втручань на етапі появи деформації уражених кісток кистей, не чекаючи їх прогресування.*

Ключові слова: *акроформа, хвороба Ольє, дисхондроплазія, математичний розрахунок, функціональний дефіцит.*

Вступ

Хвороба Ольє належить до групи захворювань, в основі яких лежать порушення хондрогенезу, основними проявами якої є множинні ураження довгих кісток осередками патологічної хрящової тканини, що супроводжуються вкороченнями, осьовими деформаціями та патологічними переломами (рис. 1) [3].

Акроформа хвороби Ольє – варіант перебігу захворювання із переважним ураженням кісток кисті та стоп. Враховуючи важливість збереження функції саме кистей для повноцінного фізичного та соціального життя пацієнтів, наше дослідження буде присвячено вивченню функціональних змін у кистях при дисхондроплазії.

Показник розповсюженості дисхондроплазії становить – 1/100 000 населення. Оцінка поширеності



Рис. 1. Деформації кисті при акроформі хвороби Ольє

акроформи хвороби Ольє, за даними різних авторів, складає від 22,73 до 29,5% [1].

На даний час розроблений алгоритм лікування захворювання Ольє при ураженні довгих кісток, що включає в себе видалення патологічних осередків, усунення наявних деформацій та вкорочень [5]. Проте особливої уваги заслуговує окремий варіант клінічного перебігу захворювання у дітей – акроформа дисхонроплазії (АД), що пояснюється атиповим перебігом захворювання, швидкою появою та прогресуванням деформацій уражених кісток виключно кистей та стоп, високою частотою малигнізації [2, 4]. Чіткі рекомендації щодо лікування саме АД, на жаль, у літературі відсутні.

Акроформа хвороби Ольє через частоту, тяжкість клінічного перебігу, не завжди легку та вчасну діагностику, складність лікування, значну частоту різноманітних ускладнень залишається темною плямою, тому актуальність подальшого теоретичного і практичного аспектів дослідження даної патології не викликає сумнівів.

Усе вищевикладене свідчить про необхідність подальшого вивчення показників зниження функції кисті при акроформі Ольє та пошуків наукового обґрунтування питань тактики оперативного лікування.

Мета роботи – шляхом математичних розрахунків провести визначення показників функціонального дефіциту кисті при АД залежно від ступеня потовщення патологічно змінених тканин.

Матеріали і методи

Дослідження базується на даних визначення аналітичним математичним методом відсоткового співвідношення зменшення сили флексії кисті при стандартній дії сил на згинальний апарат пальців, уражених АД, залежно від ступеня їх потовщення.

Для чисельних розрахунків використовували схему згинального апарата пальця кисті (рис. 2),

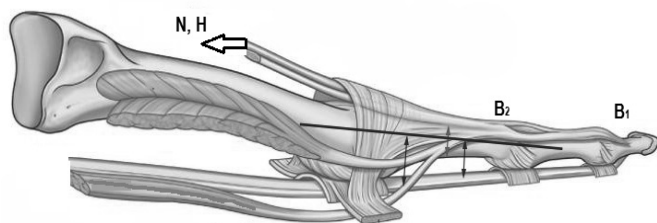


Рис. 2. Загальна розрахункова схема згинального апарата пальця

B_1 – точка кріплення сухожилка глибокого згинача пальця.

B_2 – точка кріплення сухожилка поверхнього згинача пальця.

N – сила, що прикладена до сухожилка згинача пальця

Для розрахунків були прийняті наступні спрощення:

- між сухожилками та всіма контактуючими елементами тертя відсутнє;
- міжфалангові та п'ясно-фалангові суглоби пальця виконують роль роликів підшипника.

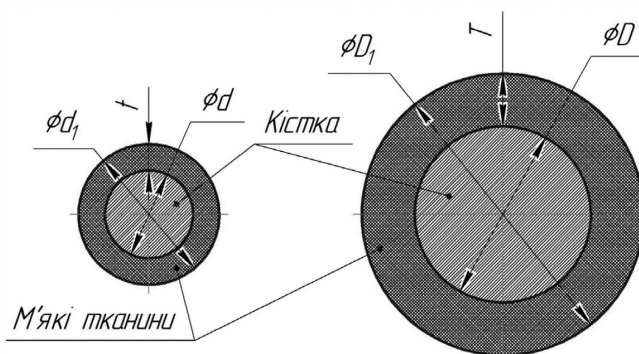


Рис. 3. Поперечний переріз пальця в нормі та при хворобі Ольє

Для рішення даної задачі виділено основні фактори, які можуть впливати на згинальну функцію пальців кисті. Так, на силу ладонної флексії впливає сила пружності шару м'яких тканин [6], який при хворобі Ольє значно більший, ніж у нормі. Не менш значимим фактором є і збільшення маси та діаметру кісток фаланг пальців (рис. 3).

На першому етапі розрахунків визначено силу пружності тканин при згинанні пальців за формулою $F = k \times x$ (1) (рис. 4), де

F – сила пружності;

x – величина змінання м'яких тканин;

k – коефіцієнт жорсткості м'яких тканин.

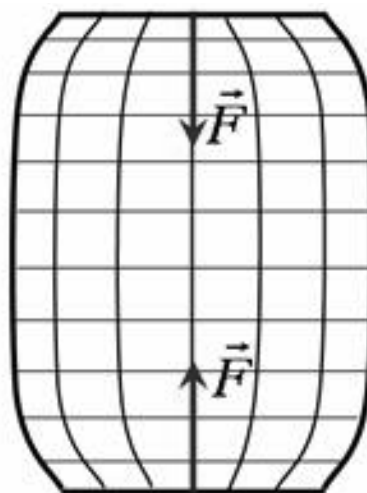


Рис. 4. Дія сили пружності тканин при згинанні пальців

На наступному етапі вираховували коефіцієнт жорсткості м'яких тканин за формулою [7] $k = E \frac{S}{l}$ (2), де:

E – модуль Юнга м'яких тканин;
 S – площа поперечного перерізу м'яких тканин;
 l – довжина пальця.

У нашому випадку площу поперечного перерізу S визначали за формулою

$$S = \frac{(d_1^2 - d^2)\pi}{4} \quad (3),$$

де: d – діаметр кістки фаланги пальця (норма), d_1 – загальний діаметр пальця (норма).

Для коректності порівняльного аналізу введено наступні припущення: модуль Юнга E для м'яких тканин у нормі та патології та довжини пальців (l) – однакові, змінання м'яких тканин відбувається на однакову величину x .

Для розрахунків застосовано:

d і t – задаються як вхідні дані, t – товщина шару м'яких тканин (норма).

d_1 – розраховується за формулою $d_1 = d + 2t$.

D – діаметр кістки патологічно зміненої фаланги пальця, D_1 – загальний діаметр патологічно зміненої фаланги пальця, T – товщина шару патологічно змінених м'яких тканин.

Ці параметри визначали за формулами:

$$D = b \cdot d, \quad (4)$$

$$T = a \cdot t \quad (5) \text{ та}$$

$$D_1 = D + 2T \quad (6),$$

де a і b – коефіцієнти збільшення товщини м'яких тканин та діаметру кістки (%) відповідно.

Наступним кроком було визначення сили K , яка не-

обхідна для утримання фаланг пальця у випрямленому стані, для чого зроблено припущення, що середня густина тканин фаланги пальця (ρ) для нормального та патологічного стану однакова.

Для визначення сили (K) створено розрахункову схему (рис. 5),

де l – довжина пальця;

m – розподілена маса пальця;

m_1 – загальна маса пальця, яка визначається за формулою:

$$m_1 = m \cdot l, \quad (7) \text{ або } m_1 = \rho \cdot V \quad (8),$$

де V – об'єм пальця, що визначається за формулою

$$V = \frac{\pi d_1^2 l}{4} \quad (9);$$

d_1 – загальний діаметр пальця (норма).

За аналогічним сценарієм зроблено розрахунки і для фаланг пальця з патологічно зміненими тканинами при хворобі Ольє (рис. 6).

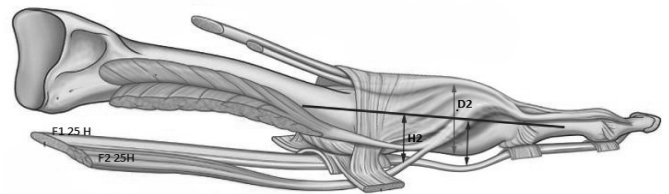


Рис. 6. Схема, за якою виконується розрахунок для фаланг пальця із патологічно зміненими тканинами при хворобі Ольє

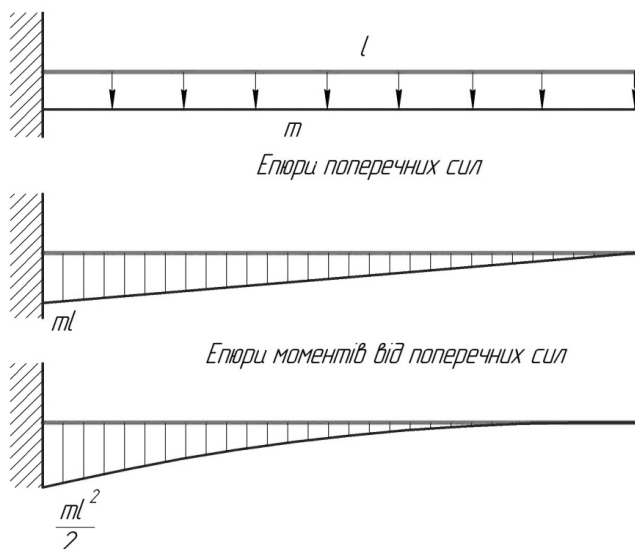
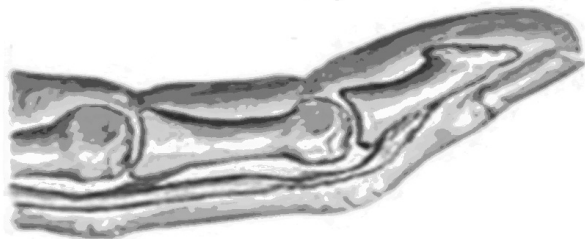


Рис. 5. Розрахункова схема

Результати та їх обговорення

Поперше, визначали, у скільки разів збільшується значення сили, яка необхідна для змінання м'яких тканин, а також, для прикладу, показали зміни цих значень для конкретних випадків.

Отже: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{k_1 x}{k_2 x}$. Після скорочення x та підстав-

лення значення k у формулу, отримуємо $\frac{F_1}{F_2} = \frac{E \frac{S_1}{l}}{E \frac{S_2}{l}}$.

За умовою прийнятих припущень E та l є однаковими, тому на величину сил, які необхідні для змінання м'яких тканин, впливає тільки їх поперечний переріз.

$$\text{Тому } \frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{(d_1^2 - d^2)\pi}{4}}{\frac{(D_1^2 - D^2)\pi}{4}}$$

Після підставлення в формулу значень $d_1 = d + 2t$, $D_1 = D + 2T$, отримуємо

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{(d + 2t)^2 - d^2}{(D + 2T)^2 - D^2} = \frac{d^2 + 4dt + 4t^2 - d^2}{D^2 + 4DT + 4T^2 - D^2} = \frac{dt + t^2}{DT + T^2}$$

Після підставлення у формулу значень D і T: $D = b \cdot d$, $T = a \cdot t$,

де a і b – коефіцієнти збільшення товщини м'яких тканин та діаметру кістки відповідно, отримуємо

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{dt + t^2}{bd + at + a^2t^2} = \frac{d + t}{a(bd + at)}$$

звідки $F_2 = F_1 \frac{a(bd + at)}{d + t}$.

Це означає, що при збільшенні діаметру фаланг пальця при хворобі Ольє витрачається в $c = \frac{a(bd + at)}{d + t}$

$c = \frac{a(bd + at)}{d + t}$ раз сили більше на змінання м'яких

тканин, ніж для фаланг пальця при нормальному стані тканин.

На прикладах розглянуто розрахунки з визначенням, наскільки збільшиться сила F_2 , що необхідна для змінання патологічно змінених м'яких тканин фаланги пальця при згинанні в умовах збільшення його товщини у діапазоні 10-100%. Результати розрахунків цих значень внесено до таблиці 1 та графіка (рис. 7).

Константою даного прикладу є вхідні дані для моделювання нормального стану тканин фаланги пальця: діаметр кістки – 5 мм та товщина м'яких тканин – 3 мм, а також коефіцієнти a і b, які варіюють у діапазоні 10-100%.

$$K_1 = \frac{m_1 l}{d}$$

При патологічно змінених тканинах сила K_2 задовольняє рівнянню

$$K_2 = \frac{M_1 l}{D}$$

де m_1 – маса фаланг пальця в нормі, M_1 – маса фаланг пальця при хворобі Ольє. З формули визначаємо

$$m_1 = \rho V_1 = \rho \frac{d^2}{4} \pi l, \quad M_1 = \rho V_2 = \rho \frac{D^2}{4} \pi l.$$

Далі так, як і у попередній задачі, визначали, у скільки разів збільшується сила K при патологічному стані щодо нормального стану тканин фаланг пальця. Отже,

$$3: \frac{K_1}{K_2} = \frac{\frac{m_1 l}{d}}{\frac{M_1 l}{D}} = \frac{m_1 D}{M_1 d} = \frac{\rho \frac{d^2}{4} \pi l D}{\rho \frac{D^2}{4} \pi l d} = \frac{d}{D}$$

отримуємо $K_2 = K_1 \frac{D}{d}$, а враховуючи, що $D = b \cdot d$, то $K_2 = b K_1$.

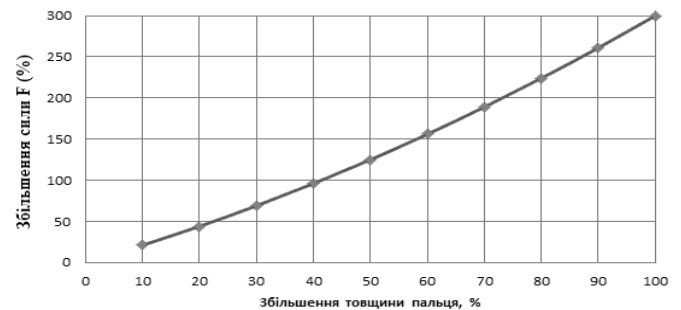


Рис. 7. Графік залежності збільшення сили F (%) від товщини фаланг пальця

Тобто у скільки разів збільшується діаметр кістки, у стільки разів збільшується сила, яка необхідна для

Таблиця 1

Залежність показника сили F_2 від товщини тканин пальця

Діаметр кістки d, мм	Товщина м'яких тканин t, мм	Коефіцієнт a, %	Коефіцієнт b, %	c	Збільшення сили згинання F, %
5	3	10	10	1,21	21,00
		20	20	1,44	44,00
		30	30	1,69	69,00
		40	40	1,96	96,00
		50	50	2,25	125,00
		60	60	2,56	156,00
		70	70	2,89	189,00
		80	80	3,24	224,00
		90	90	3,61	261,00
		100	100	4,00	300,00
	50	80	2,53	153,13	
	60	90	2,86	186,00	
	70	100	3,21	220,88	
	80	110	3,58	257,75	
	90	120	3,97	296,63	
	100	130	4,38	337,50	
	110	140	4,80	380,38	
	120	150	5,25	425,25	
	130	160	5,72	472,13	

утримування розігнутого пальця при нормальному стані тканин. На основі отриманих результатів розрахунків можна стверджувати, що якщо сила натягу сухожилку $N = 50$ Н (рис. 1), а для нормального стану фаланг пальця сила зминання м'яких тканин – F_1 , то для сили W , яка необхідна для згинання пальців у кулак (після вирахування сил, що потрібні для зминання м'яких тканин і утримування пальця у випрямленому стані), лишається сила $W_1 = N - F_1 - K_1$.

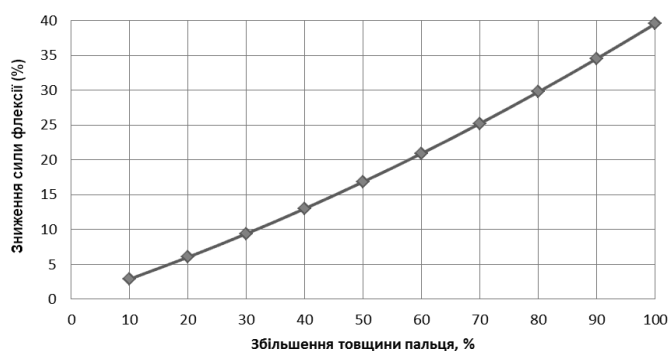


Рис. 8. Графік залежності зниження сили згинання пальця (%) від ступеня збільшення товщини (%) його патологічно змінених тканин

Зробимо припущення, що нам відомі сили $N = 50$ Н, $F_1 = 5$ Н, $K_1 = 2$ Н для нормального стану тканин фаланг пальця, тоді сила, яка необхідна для згинання пальців у кулак, буде $W = 50 - 5 - 2 = 43$ Н. Нижче наведено це значення для різного ступеня стовщення тканин пальця (таблиця 2).

На рис. 8 наведено графік залежності зниження сили згинання пальця при хворобі Ольє від збільшення товщини його тканин.

Висновки

Виявлено залежність збільшення сили, що необхідна для стискування пальців у кулак, від збільшення діаметру кістки та м'яких тканин пальців. Так, при збільшенні товщини тканин фаланг пальців зі збільшенням діаметру пальця у 2 рази, сила, що необхідна для стиснення пальців у кулак, збільшується у 4 рази.

Через виникнення значного функціонального дефіциту кисті при її стисканні у кулак у пацієнтів з акроформною дисхондроплазією при хворобі Ольє існує необхідність проведення оперативних втручань на етапі появи деформацій уражених кісток кистей, не чекаючи їх прогресування.

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

Таблиця 2

Зниження сили згинання пальця (%) залежно від зміни товщини його патологічно змінених тканин при АД

N, Н	F ₁ , Н	K ₁ , Н	F ₂ , Н	K ₂ , Н	d, мм	t, мм	a, %	b, %	c	y, %	W ₁ , Н	W ₂ , Н	Зменшення сили згинання пальця, %
50	5	2	6,05	2,20	5	3	10	10	1,21	21,00	43	41,75	2,91
			7,20	2,40			20	20	1,44	44,00	43	40,40	6,05
			8,45	2,60			30	30	1,69	69,00	43	38,95	9,42
			9,80	2,80			40	40	1,96	96,00	43	37,40	13,02
			11,25	3,00			50	50	2,25	125,00	43	35,75	16,86
			12,80	3,20			60	60	2,56	156,00	43	34,00	20,93
			14,45	3,40			70	70	2,89	189,00	43	32,15	25,23
			16,20	3,60			80	80	3,24	224,00	43	30,20	29,77
			18,05	3,80			90	90	3,61	261,00	43	28,15	34,53
			20,00	4,00			100	100	4,00	300,00	43	26,00	39,53
			12,66	3,60			50	80	2,53	153,13	43	33,74	21,53
			14,30	3,80			60	90	2,86	186,00	43	31,90	25,81
			16,04	4,00			70	100	3,21	220,88	43	29,96	30,33
			17,89	4,20			80	110	3,58	257,75	43	27,91	35,09
			19,83	4,40			90	120	3,97	296,63	43	25,77	40,07
			21,88	4,60			100	130	4,38	337,50	43	23,53	45,29
			24,02	4,80			110	140	4,80	380,38	43	21,18	50,74
			26,26	5,00			120	150	5,25	425,25	43	18,74	56,42
			28,61	5,20			130	160	5,72	472,13	43	16,19	62,34
			13,59	4,00			50	100	171,88	43	32,41	24,64	171,88

Література

1. Шолохова Н.А. Доброкачественные опухоли и опухолеподобные заболевания костей внутри- и околоуставной локализации у детей (диагностика и лечение) / Н.А. Шолохова, В.А. Морзун, Л.А. Семенова // Детская онкология. – 2007. – № 3-4. – С. 68–75.
2. Horiyan S. A mutant PTH/PTHrP type I receptor in enchondromatosis / S. Horiyan, N. Gokgoz, R. Poon, R.C. Gensure, C. Yu, W.G. Cole, R.S. Bell, H. Juppner, I.L. Andrulis, J.S. Wunder, B.A. Alman // Nat. Genet. – 2002. – V. 30. – P. 306–310.
3. Silve C. Ollier disease / C. Silve, H. Juppner // Orphanet J. Rare Dis. – 2006. – V. 1. – P. 37.
4. Flemming D.J. Enchondroma and chondrosarcoma / D.J. Flemming, M.D. Murphey // Semin. Musculoskelet. Radiol. – 2000. – V. 4. – P. 59–71.
5. Лучко Р.В. Деформации и укорочения конечностей при дисхондроплазии : дис. ... канд. мед. наук / Р.В. Лучко. – Киев : УкрНИИТО, 1996. – 200 с.
6. Лазарев І.А. Розподіл зусиль у різних ділянках згинального апарату пальців кисті при стандартному навантаженні / І.А. Лазарев, І.М. Курінний, М.Л. Ярова, М.В. Скибан // Травма. – 2014. – Т. 14, № 6. – С.73–82.
7. Гринягин І.В. Компьютерная диагностика двигательной активности пальцев руки человека на основе биомеханического моделирования : дис. ... канд. мед. наук: 03.01.09 / И.В. Гринягин. – М., 2011. – 170 с.

FUNCTIONAL DEFICIENCY IN ACROFORM OF OLLIER DISEASE

Lazarev I.A., Huk Yu.M., Molnar I.O., Skyban M.V.

Summary. Violation of chondrogenesis in Ollier disease leads to the appearance of pathological cartilaginous foci, which, when localized in the bones of the hands and feet (this variant of the clinical course is called acroform), cause their deformation and, accordingly, a violation of function. **Objective:** to use mathematical calculations to determine the indices of functional deficiency of the hand in the acroform of dyschondroplasia, depending on the degree of thickening of pathologically deformed tissues. **Results.** The study is based on the data of the determination by the analytical mathematical method of the percentage ratio of the reduction in the strength of flexion of the hand under the standard forces on the flexor apparatus of fingers affected by acroform of dyschondroplasia, depending on the degree of thickening of pathologically deformed tissues. **Conclusions.** The dependence of the increase in the force, which is necessary to squeeze the fingers in the fist, from the increase in the diameter of the bone and soft tissues of the fingers was revealed. Due to a significant functional deficiency of the hand when it is squeezed into a fist, the patients with acroform of dyschondroplasia in Ollier disease require surgical interventions at initial stages of deformation of the affected bones of the hands without having to wait the progression of the disease.

Key words: acroform, Ollier disease, dyschondroplasia, mathematical calculation, functional deficiency.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ДЕФИЦИТ КИСТИ ПРИ АКРОФОРМЕ БОЛЕЗНИ ОЛЬЕ

Лазарев И.А., Гук Ю.Н., Молнар И.А., Скибан М.В.

Резюме. Нарушение хондрогенеза при болезни Олье приводит к появлению патологических хрящевых очагов, которые при локализации в костях кистей и стоп (этот вариант клинического течения называется акроформой) обуславливают их деформацию и, соответственно, нарушение функции. **Цель.** Путем математических расчетов провести определение показателей функционального дефицита кисти при акроформе дисхондроплазии в зависимости от степени утолщения патологически измененных тканей. **Результаты.** Исследование базируется на данных определения аналитическим математическим методом процентного соотношения уменьшения силы флексии кисти при стандартном действии сил на сгибаемый аппарат пальцев, пораженных акроформой дисхондроплазии, в зависимости от степени утолщения патологически измененных тканей. **Выводы.** Выявлена зависимость увеличения силы, необходимой для сжатия пальцев в кулак, от увеличения диаметра кости и мягких тканей пальцев. В связи с возникновением значительного функционального дефицита кисти при ее сжимании в кулак у пациентов с акроформой дисхондроплазии при болезни Олье существует необходимость проведения оперативных вмешательств на этапе появления деформаций пораженных костей кистей, не ожидая их прогрессирования.

Ключевые слова: акроформа, болезнь Олье, дисхондроплазия, математический расчет, функциональный дефицит.