

Хмизов С.О., Кикош Г.В., Карпінський М.Ю.

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені проф. М.І. Ситенка НАМН України», м. Харків, Україна

Роль плантарного апоневрозу у формуванні кавусного компонента при рецидивах вродженої еквіно-поло-варусної клишоногості

Резюме. Актуальність. Вроджена еквіно-поло-варусна клишоногість (ВЕПВК) є другою за частотою серед усіх уроджених аномалій кістково-м'язової системи в дітей й однією з найпоширеніших причин дитячої інвалідності в Україні. Частота ВЕПВК сягає 1–3 випадки на 1000 новонароджених (35–40 % від усіх деформацій стоп). За даними низки авторів, виконання плантарної фасціотомії дозволяє покращити форму та функцію опори та ходи в пацієнтів. **Мета:** визначити роль плантарного апоневрозу у формуванні кавусного компонента у випадках рецидиву ВЕПВК у дітей. **Матеріали та методи.** Проведено математичні дослідження з використанням графоаналітичного методу. **Результати.** Для зниження висоти зводу стопи при корекції її порожнистої деформації необхідно збільшити довжину апоневрозу на значну величину (до 25 % його початкової довжини). Для виконання такої задачі до апоневрозу необхідно прикласти значну розтягуючу силу, величина якої залежить від величини зниження висоти зводу стопи. Так, для зниження висоти зводу на 10 мм потрібно подовжити апоневроз на 12 мм, для чого до нього потрібно застосувати постійно діючу силу величиною 932 Н. Для зниження висоти зводу стопи на 20 мм величину розтягуючої сили, прикладеної до апоневрозу, необхідно збільшити до 1438 Н, що здійснити практично неможливо. Тому наявність скороченого апоневрозу є значною перешкодою для ефективного усунення порожнистої деформації стопи. **Висновки.** Корекція порожнистої деформації стопи потребує значного зменшення висоти її повздовжнього склепіння, що призводить до значного подовження апоневрозу — до 25 % від його початкової довжини. Для забезпечення збільшення довжини апоневрозу потрібна наявність постійно діючої розтягуючої сили значної величини, яка перевищує значення 1000 Н. Плантарний апоневроз відіграє безпосередню роль у підтримці повздовжнього склепіння стопи та є однією з причин стійкості кавусної деформації в пацієнтів із рецидивом ВЕПВК, що не піддається консервативному лікуванню. Для усунення кавусної деформації стопи за відсутності ефекту від консервативного лікування необхідне подовження апоневрозу шляхом хірургічного втручання (пересічення). Величину кута повздовжнього склепіння стопи в 110° можна обрати як критерій вибору рішення на користь збереження або відсічення апоневрозу.

Ключові слова: вроджена еквіно-поло-варусна клишоногість; плантарний апоневроз

Вступ

Вроджена еквіно-поло-варусна клишоногість (ВЕПВК) є другою за частотою серед усіх уроджених аномалій кістково-м'язової системи в дітей і дотепер є однією з найпоширеніших причин дитячої інвалідності в Україні. Частота ВЕПВК сягає 1–3 випадки на 1000 новонароджених (35–40 % від усіх деформацій стоп) [1–3].

На сьогодні запропоновано велику кількість консервативних і хірургічних методів лікування ВЕПВК, од-

нак наявність значного відсотка рецидивів деформації стоп у дітей, що сягає > 50 %, обумовлює необхідність подальшого вивчення цієї проблеми та удосконалення методів діагностики і патогенетично обґрунтованих способів лікування та профілактики рецидивів [4–9].

Слід відзначити, що одним із типових проявів рецидиву ВЕПВК у дітей є кавус стопи, що часто потребує хірургічного лікування [1, 10–12]. Серед причинних факторів формування кавуса стопи є скорочення м'якотканинних структур плантарної поверхні стопи

(капсульно-зв'язковий апарат суглобів стопи, скорочення плантарного апоневрозу). Плантарний апоневроз — провідна м'якотканинна структура, яка відіграє роль у підтримці склепіння стопи. Вона починається від п'яткового бугра у вигляді плоскої міцної сполучнотканинної пластинки та влітається в плантарну поверхню плеснефалангових суглобів стопи, проходячи в паралельному плантарній поверхні стопи напрямку, під сухожилками довгих згиначів пальців, розділяючи поверхневий та глибокий простори плантарної поверхні стопи. В умовах рецидиву ВЕПВК у дітей відмічається скорочення капсульно-зв'язкового апарату суглобів стопи та плантарного апоневрозу стопи, що не завжди вдається виправити, за рахунок накладання етапних коригуючих гіпсових пов'язок. Це пояснюється тим, що товщина плантарного апоневрозу із часом збільшується, а еластичність, навпаки, зменшується. За даними низки авторів, виконання плантарної фасціотомії дозволяє покращити форму та функцію опори та ходи в пацієнтів [13]. Однак низка авторів висловлює сумніви щодо доцільності та можливих негативних наслідків виконання плантарної фасціотомії для корекції кавусного компонента деформації стопи. Отже, актуальними є і дослідження ролі плантарного апоневрозу у формуванні кавусного компонента у випадках рецидиву ВЕПВК у дітей.

Мета: визначити роль плантарного апоневрозу у формуванні кавусного компонента у випадках рецидиву ВЕПВК у дітей.

Матеріали та методи

Для вирішення питання впливу апоневрозу на можливість усунення порожнистої деформації стопи в лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України» було проведено математичні дослідження з використанням графоаналітичного методу [14].

Результати та обговорення

У нормі апоневроз виконує позитивну функцію підтримки склепіння стопи та забезпечення її пружної деформації при опорі та ходьбі. Наочно це показано на схемі (рис. 1).

Як видно на схемі, повздожнє склепіння стопи становить собою арку, позначену на схемі дугою AB , кінці якої з'єднані апоневрозом (відрізок $[AB]$). Вага тіла P діє через гомілку на надп'яtkово-гомілковий суглоб і розподіляється на дві складові, які через кістки стопи впливають на опорну поверхню в точках контакту з нею п'яtkової кістки (точка A) та плеснових кісток (точка B). У точках контакту з опорною поверхнею кожна зі складових сили ваги розподіляється на вертикальну та горизонтальну складові. Вертикальні складові цих сил компенсуються силами реакції опори N_1 та N_2 . Горизонтальні складові F_1 та F_2 мають протилежні напрямки та спрямовані на розтягнення апоневрозу. Компенсація цих сил здійснюється за рахунок сил реакції апоневрозу F_1 та F_2 , обумовлених його пружними властивостями.

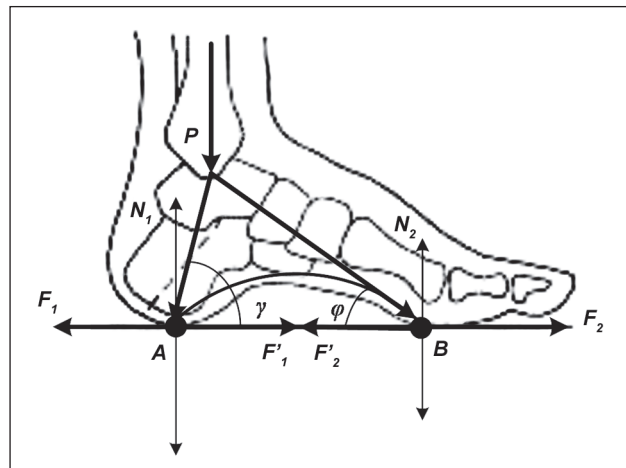


Рисунок 1. Схема роботи апоневрозу із забезпечення пружності склепіння стопи

Розрахуємо сумарну величину сили розтягнення, що діє на апоневроз при стоянні.

Згідно з даними [15, 16], у нормі на передній відділ стопи припадає 40 % ваги тіла, на задній — 60 %. Отже, величини горизонтальних складових F_1 та F_2 можна визначити так:

$$\begin{aligned} F_1 &= 6,0P \cdot \cos\gamma, \\ F_2 &= 4,0P \cdot \cos\varphi. \end{aligned} \quad (1)$$

Загальна величина сили розтягнення, що діє на апоневроз при стоянні, буде дорівнювати:

$$F = 6,0P \cdot \cos\gamma + 4,0P \cdot \cos\varphi \quad (2)$$

або

$$F = (6,0\cos\gamma + 4,0\cos\varphi)P. \quad (3)$$

Оскільки в нормі кут повздожнього склепіння стопи становить 130° , сумарно на кути γ та φ припадає:

$$\gamma + \varphi = 180^\circ - 130^\circ = 50^\circ. \quad (4)$$

Зробимо розрахунок величини сили розтягнення для різного розподілу сумарної величини між кутами γ та φ з урахуванням того факту, що кут γ завжди більше, ніж кут φ :

$$\gamma > \varphi. \quad (5)$$

Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Величина сили розтягнення, що діє на апоневроз при стоянні, залежно від кутів складових сили ваги на опорну поверхню

Величини кутів, град.		Величина сили розтягнення відносно ваги тіла
γ	φ	
40	10	0,85
35	15	0,88
30	20	0,90

Як показали проведені розрахунки, у нормі при стоянні величина сили розтягнення, що діє на апоневроз, знаходиться в межах від 85 до 90 % від величини сили ваги тіла:

$$0,85P < F < 0,9P. \quad (6)$$

При ходьбі та бігу величина сили розтягнення, що діє на апоневроз, може значно зростати.

Таким чином, апоневроз з'єднує кінці арки повздожнього склепіння стопи і забезпечує її пружні властивості.

Але за наявності вродженої порожнистої деформації стопи апоневроз значно скорочується, як показано на схемі (рис. 2).

Оскільки тканина практично не розтягується, апоневроз стає значною перешкодою на шляху усунення порожнистої деформації стопи, що негативно впливає на результати лікування.

Для визначення ступеня цього негативного впливу була побудована розрахункова схема, що наведена на рис. 3.

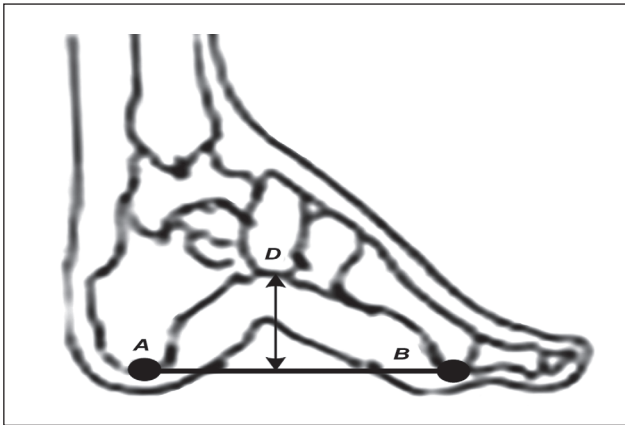


Рисунок 2. Схема стопи при її порожнистій деформації

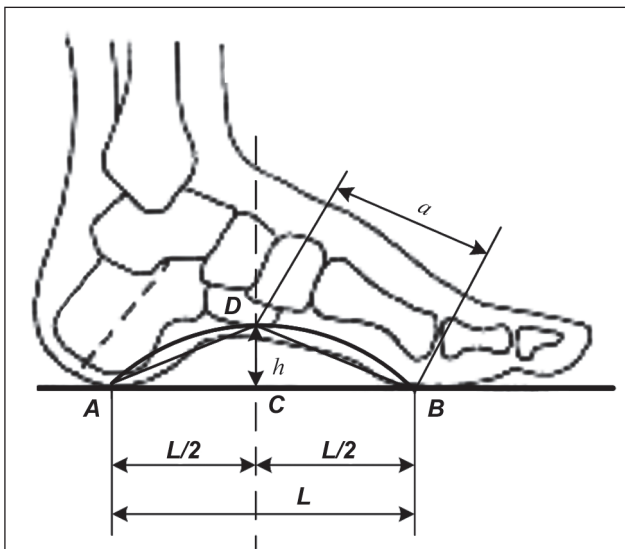


Рисунок 3. Розрахункова схема

Згідно з розрахунковою схемою, апоневроз представлений відрізком [AB]. Точка C ділить цей відрізок навпіл. Точка D — вершина склепіння стопи, відповідно відрізок [CD] — висота склепіння стопи. Для спрощення розрахунків апроксимуємо дугу ADB склепіння стопи двома прямими відрізками [AD] та [BD], що дозволить звести завдання визначення необхідного подовження апоневрозу для усунення порожнистої деформації стопи до рішення прямокутного трикутника. Для цього задаймося довжинами зазначених відрізків:

$$\begin{aligned} [AB] &= L, [AC] = [BC] = L/2, \\ [AD] &= [BD] = a, [CD] = h. \end{aligned}$$

Перш ніж почати розрахунки, зробимо припущення про те, що при усуненні порожнистої деформації стопи зменшується висота її склепіння h , але довжина склепіння ADB залишається незмінною. Тобто:

$$[AD] = [BD] = a = \text{const}. \quad (7)$$

Таким чином, можна стверджувати, що при зменшенні висоти склепіння стопи h повинна збільшуватись довжина апоневрозу L .

Розрахуємо величину необхідного подовження апоневрозу. Для цього виразимо його половинну довжину з трикутника BCB:

$$\left(\frac{L}{2}\right)^2 = a^2 - h^2. \quad (8)$$

З рівняння (2) не складно визначити повну довжину апоневрозу:

$$L^2 = 4(a^2 - h^2). \quad (9)$$

Або

$$L = 2\sqrt{a^2 - h^2}. \quad (10)$$

Для визначення числових значень необхідного подовження апоневрозу для усунення порожнистої деформації стопи задаймося початковими значеннями висоти та довжини склепіння стопи:

$$h = 30 \text{ мм}, a = 50 \text{ мм}.$$

Підставимо ці значення до рівняння (10) та отримемо початкове значення довжини апоневрозу за наявності порожнистої деформації стопи:

$$L = 2\sqrt{50^2 - 30^2}, \quad (11)$$

або $L = 40 \text{ мм}$.

Аналогічним чином отримуємо значення необхідної довжини апоневрозу при зменшенні висоти склепіння стопи h із кроком 2 мм. Величину необхідного подовження визначимо за формулою:

$$\Delta L = L_1 - L, \quad (12)$$

де L_1 — довжина апоневрозу після зменшення висоти склепіння стопи.

Результати розрахунків необхідної довжини апоневрозу та його подовження наведено в табл. 2.

Більш наглядно залежність величини необхідного подовження апоневрозу від величини зменшення ви-

Таблиця 2. Величини необхідного подовження апоневрозу для усунення порожнистої деформації стопи

Висота склепіння стопи h , мм	Довжина апоневрозу L , мм	Величина подовження апоневрозу ΔL , мм
30	40	0
28	41	3
26	43	5
24	44	8
22	45	10
20	46	12
18	47	13
16	47	15
14	48	16
12	49	17
10	49	18

соти склепіння стопи для усунення її порожнистої деформації наведена на графіку (рис. 4).

Як показано на графіку, для зменшення висоти склепіння стопи на 10 мм необхідно подовжити довжину апоневрозу на 12 мм, зменшення висоти склепіння на 20 мм потребує подовження апоневрозу на 18 мм або практично на 25 % від його початкової довжини.

Розрахуємо величину розтягуючої сили, що необхідно прикласти до апоневрозу для здійснення необхідного його подовження. Для цього розглянемо схему роботи апоневрозу на розтягнення (рис. 5).

Під впливом розтягуючої сили F апоневроз змінює свою довжину L на величину ΔL . У результаті розтягнення в матеріалі апоневрозу виникає внутрішнє напруження, що дорівнює величині сили F , розподіленій на площу S поперечного перетину апоневрозу [2]:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (13)$$

де F — сила, що розтягує апоневроз, S — площа поперечного перетину апоневрозу.

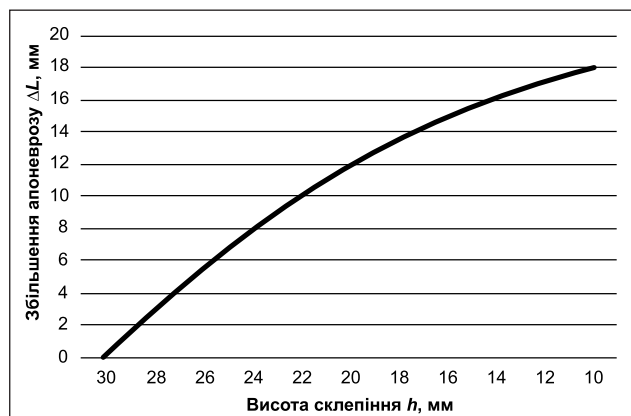


Рисунок 4. Графік залежності величини необхідного подовження апоневрозу від величини зменшення висоти склепіння стопи

Залежність між подовженням апоневрозу та величиною його внутрішнього напруження виражається за формулою [2]:

$$\sigma = E \frac{\Delta L}{L}, \quad (14)$$

де E — модуль пружності матеріалу апоневрозу, ΔL — величина подовження апоневрозу.

Підставивши значення величини внутрішнього напруження матеріалу апоневрозу з рівняння (13) до формули (14), отримуємо таке математичне рівняння:

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L}. \quad (15)$$

Виконавши невелике перетворення у формулі (15), отримаємо рівняння для визначення величини сили, яка необхідна для розтягнення апоневрозу на будь-яку величину:

$$F = ES \frac{\Delta L}{L}. \quad (16)$$

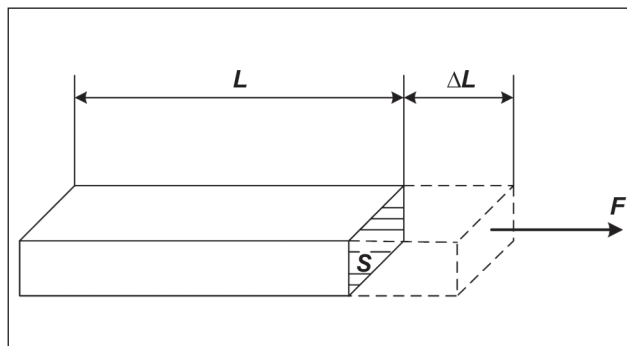


Рисунок 5. Схема роботи апоневрозу на розтягнення: F — сила, що розтягує апоневроз; S — площа поперечного перетину апоневрозу; L — початкова довжина апоневрозу; ΔL — подовження апоневрозу в результаті розтягнення

Таблиця 3. Величини сили, яку необхідно прикласти до апоневрозу для забезпечення зниження висоти склепіння стопи на величину, достатню для усунення її порожнистої деформації

Висота склепіння стопи h , мм	Величина подовження апоневрозу ΔL , мм	Величина розтягуючої сили F , Н
30	0	0
28	3	228
26	5	433
24	8	618
22	10	784
20	12	932
18	13	1064
16	15	1179
14	16	1280
12	17	1366
10	18	1438

Для розрахунку величини розтягуючої сили, яка необхідна для розтягнення апоневрозу для усунення порожнистої деформації стопи, установімо значення деяких параметрів у рівнянні (16):

$$E = 160 \text{ МПа [3], } S = 20 \text{ мм}^2.$$

Підставивши зазначені дані, а також дані про початкову довжину апоневрозу та його подовження, отримаємо значення величини сили, яку необхідно прикласти до апоневрозу для забезпечення зниження висоти склепіння стопи на величину, достатню для усунення її порожнистої деформації. Результати розрахунків наведено в табл. 3.

Наглядне уявлення про величину сили, яку необхідно прикласти до апоневрозу для забезпечення зниження висоти склепіння стопи на величину, достатню для усунення її порожнистої деформації, можна отримати за допомогою графіка, що наведений на рис. 6.

Як показали проведені дослідження, для зниження висоти склепіння стопи при корекції її порожнистої деформації необхідно збільшити довжину апоневрозу на значну величину (до 25 % від його початкової довжини). Для виконання такої задачі до апоневрозу необхідно прикласти значну розтягуючу силу, величина

якої залежить від величини зниження висоти склепіння стопи. Так, для зниження висоти склепіння на 10 мм потрібно подовжити апоневроз на 12 мм, для чого до нього потрібно застосувати постійно діючу силу величиною 932 Н. Для зниження висоти склепіння стопи на 20 мм величину розтягуючої сили, прикладеної до апоневрозу, необхідно збільшити до 1438 Н, що здійснити практично неможливо.

Нагадуємо, що дані значення справедливі тільки для апоневрозу, площа перетину якого становить 20 мм². Оскільки зв'язок між величиною розтягуючої сили і площею перетину апоневрозу має прямо пропорційну залежність (згідно з формулою (16)), то якщо апоневроз має більшу площу перетину, то величина сили, яка необхідна для його розтягнення на певну величину, буде збільшуватися прямо пропорційно величині коефіцієнта збільшення величини площі його перетину:

$$K = \frac{S_1}{S}, \quad (17)$$

де S_1 — збільшене значення площі перетину апоневрозу.

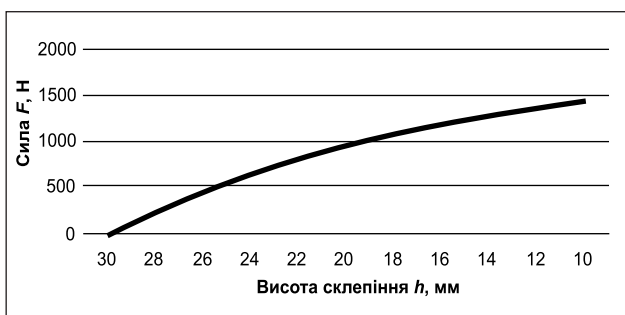
Результати розрахунку залежності величини розтягуючої сили від площі перетину апоневрозу наведені в табл. 4.

Наглядно порівняти залежність величини розтягуючої сили від площі поперечного перетину апоневрозу можна за допомогою графіка, що наведений на рис. 7.

Як бачимо на графіку, зі збільшенням площі перетину апоневрозу зростає й величина сили, яка необхідна для його розтягнення на певну величину.

Отже, забезпечити наявність постійно діючої розтягуючої сили на апоневроз, величина якої повинна перевищувати 1000 Н, неможливо. Тому наявність скороченого апоневрозу є значною перешкодою для ефективного усунення порожнистої деформації стопи.

Виникає питання, в яких випадках апоневроз можна залишити, а в яких треба його відсікати.

**Рисунок 6. Графік залежності величини сили, яку необхідно прикласти до апоневрозу, від величини зниження висоти склепіння стопи при корекції її порожнистої деформації**

Таблиця 4. Залежності величини розтягуючої сили від площі поперечного перетину апоневрозу

Величина подовження апоневрозу ΔL , мм	Площа поперечного перетину, мм ²			
	20	30	40	50
	Величина розтягуючої сили F , Н			
0	0	0	0	0
3	228	342	456	570
5	433	650	867	1083
8	618	927	1236	1545
10	784	1176	1568	1960
12	932	1398	1864	2330
13	1064	1595	2127	2659
15	1179	1769	2359	2948
16	1280	1920	2560	3200
17	1366	2049	2732	3415
18	1438	2158	2877	3596

Для вирішення цього питання як критерій оцінки обираємо кут повздожнього склепіння стопи, тому що кут є величиною, що не залежить від розмірів стопи, отже, і від статі та віку пацієнта. Розрахуємо величину, на яку необхідно розтягнути апоневроз для досягнення величини кута 130°, що відповідає нормальній будові стопи.

Оскільки, згідно з розрахунковою схемою (рис. 3), відрізки [AD] та [BD] позначають кісткові елементи стопи, їх довжина зберігається незмінною при корекції деформації. Отже, корекція порожнистої деформації здійснюється за рахунок збільшення величини кута ADB та збільшення довжини апоневрозу (відрізок [AB]). Скористуємося формулою визначення сторони трикутника за двома іншими сторонами та кутом між ними [4]:

$[AB] = \sqrt{[AD]^2 + [BD]^2 - 2[AD][BD] \cos ADB}, \quad (18)$

де $[AD] = \text{const}$, $[BD] = \text{const}$.

Оскільки всі пацієнти відрізняються один від одного розміром стоп, розрахуємо величину відносної повздожньої деформації апоневрозу, необхідну для корекції.

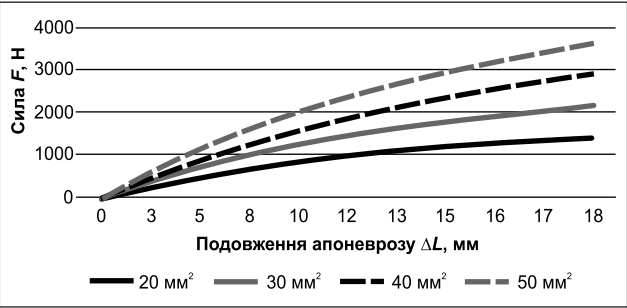


Рисунок 7. Графік залежності величини розтягуючої сили від площі поперечного перетину апоневрозу

Відносна повздожня деформація — це відношення абсолютного збільшення довжини зразка в результаті його пружної деформації до його первинного значення [2]:

$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (19)$

де Δl — абсолютне збільшення довжини зразка, l — первинна довжина зразка.

Результати розрахунку величини відносної повздожньої деформації апоневрозу, необхідної для корекції порожнистої деформації стопи, при різних величинах кута повздожнього склепіння стопи наведені в табл. 5.

Таблиця 5. Величина відносної повздожньої деформації апоневрозу, що необхідна для корекції порожнистої деформації стопи, при різних величинах кута повздожнього склепіння стопи

Кут, град.	Відносна повздожня деформація, ϵ
90	1,28
95	1,22
100	1,18
105	1,14
110	1,10
115	1,07
120	1,05
125	1,02
130	1,00

Згідно з даними В.А. Березовського [17], середня величина відносної повздожньої деформації зв’язок людини становить 1,13. Якщо прийняти цей показник за межовий критерій оцінки можливої са-

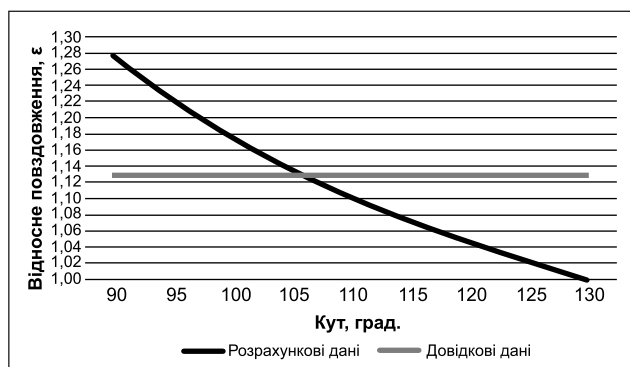


Рисунок 8. Графік залежності величини відносної повздовжньої деформації апоневрозу, необхідної для корекції порожнистої деформації стопи, від початкової величини кута повздовжнього склепіння стопи

мокорекції довжини апоневрозу, то можна побудувати цікавий графік (рис. 8). Як можна бачити на графіку, точка перехрестя розрахункових та довідкових даних спостерігається між значеннями кута повздовжнього склепіння стопи 105° та 110°. Якщо припустити, що величина відносної повздовжньої деформації апоневрозу, що необхідна для корекції порожнистої деформації стопи, виявляється меншою за експериментальні дані (світло-сіра лінія), то після виконання інших коригуючих маніпуляцій без відсічення апоневрозу з часом можлива корекція висоти склепіння стопи до значень норми. Якщо показники перевищують критичне значення, то корекція порожнистої деформації стопи без відсічення апоневрозу неможлива. Таким чином, величину кута повздовжнього склепіння стопи в 110° можна обрати як критерій вибору рішення на користь збереження або відсічення апоневрозу.

Висновки

1. Плантарний апоневроз відіграє безпосередню роль у підтримці поздовжнього склепіння стопи та є однією з причин стійкості кавусної деформації в пацієнтів із рецидивом ВЕПВК, що не піддається консервативному лікуванню. Для усунення кавусної деформації стопи за відсутності ефекту від консервативного лікування необхідне його подовження шляхом хірургічного втручання (пересічення).

2. Корекція порожнистої деформації стопи потребує значного зменшення висоти її повздовжнього склепіння, що призводить до значного подовження апоневрозу — до 25 % від його початкової довжини.

3. Для забезпечення збільшення довжини апоневрозу потрібна наявність постійно діючої розтягуючої сили значної величини, що перевищує значення 1000 Н.

4. Величину кута повздовжнього склепіння стопи в 110° можна обрати як критерій вибору рішення на користь збереження або відсічення апоневрозу.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Список літератури

1. Ponseti I.V., Smoley E.N. *The classic: congenital club foot: the results of treatment* (1963). Clin. Orthop. Relat. Res. 2009 May. 467(5). 1133-1145. Epub. 2009, Feb 14.
2. Pirani S. *A reliable and valid method of assessing the amount of deformity in the congenital clubfoot*. St. Louis, MO: Pediatric Orthopedic Society of North America, 2004.
3. Abdelgawad A.A., Lehman W.B., van Bosse H.J., Scher D.M., Sala D.A. *Treatment of idiopathic clubfoot using the Ponseti method: minimum 2-year follow-up*. J. Pediatr. Orthop. B. 2007 Mar. 16(2). 98-105.
4. Зацепин Т.С. *Врожденная косолапость и ее лечение в детском возрасте*. М.: Медицина, 1947. 292.
5. Штурм В.А. *Тенолигаментокансультотомия при лечении стойких форм врожденной косолапости у детей*. Вестник хирургии. 1951. № 2. 49-52.
6. Simons G.W. *Complete subtalar release in club feet. Part II — Comparison with less extensive procedures*. Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume. 1985. 67(7). 1056-1065.
7. Thompson G.H., Richardson A.B., Westin G.W. *Surgical management of resistant congenital talipes equinovarus deformities*. Journal of Bone and Joint Surgery. Amer. Vol. 1982. 64(5). 562-565.
8. Ponseti I.V., Smoley E.N. *Congenital clubfoot: The results of treatment*. J. Bone Joint Surg. Am. 1963. 45(2). 261-275.
9. Kuo K.N., Smith P.A. *Correcting residual deformity following clubfoot releases*. Clin. Orthop. Relat. Res. 2009. 467. 1326-1333.
10. Mohammad Hallaj-Moghaddam et al. *Ponseti Casting for Severe Club Foot Deformity: Are Clinical Outcomes Promising?* Advances in Orthopedics. Vol. 2015. Article ID 821690. 5 p.
11. Suhodolčan L. et al. *Treatment of the idiopathic and complex congenital talipes equinovarus with Ponseti method*. Slov. Med. Jour. [Internet]. 19 Oct 2015 [cited 25 Oct 2018]. 84(10).
12. Bocahut N. et al. *Medial to posterior release procedure after failure of functional treatment in clubfoot: a prospective study*. J. Child Orthop. 2016 Apr. 10(2). 109-117.
13. *Детская рентгенология: Учебное пособие*. Под ред. проф. И.А. Переслегина. М.: Медицина, 1976. 264 с.
14. Алимханова Р.С., Карпинский М.Ю., Суббота И.А. *Графоаналитическое моделирование тягового метода при патологии стоп у детей*. Медицина и ... 2003. 1. 61-64.
15. Вурва О.Е., Горидова Л.Д., Мителева З.М., Карпинский М.Ю. *Математическое обоснование функционального положения стопы при артродезе голеностопного сустава*. Ортопедия, травматология и протезирование. 1997. 3. 58.
16. Демчук Р.М., Фищенко В.О., Карпинська О.Д., Карпинський М.Ю. *Навантаження відділів стопи під час ходьби після ушкодження кісточок гомілки*. Biomedical and Biosocial Anthropology. 2012. 19. 214-216.
17. Березовский В.А., Колотилов Н.Н. *Биофизические характеристики тканей человека: справочник*. К.: Наукова думка, 1990. 224 с.

Отримано/Received 30.11.2020

Рецензовано/Revised 11.12.2020

Прийнято до друку/Accepted 20.12.2020 ■

Хмызов С.А., Кикош Г.В., Карпинский М.Ю.

ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко НАМН Украины», г. Харьков, Украина

Роль плантарного апоневроза в формировании кавусного компонента при рецидивах врожденной эквино-поло-варусной косолапости

Резюме. Актуальность. Врожденная эквино-поло-варусная косолапость (ВЭПВК) является второй по частоте среди всех врожденных аномалий костно-мышечной системы у детей и одной из самых распространенных причин детской инвалидности в Украине. Частота ВЭПВК достигает 1–3 случая на 1000 новорожденных (35–40 % от всех деформаций стоп). По данным ряда авторов, выполнение плантарной фасциотомии позволяет улучшить форму и функцию опоры и ходьбы у пациентов. **Цель:** определить роль плантарного апоневроза в формировании кавусного компонента в случаях рецидива ВЭПВК у детей. **Материалы и методы.** Проведены математические исследования с использованием графоаналитического метода. **Результаты.** Для снижения высоты свода стопы при коррекции ее полой деформации необходимо увеличить длину апоневроза на значительную величину (до 25 % его начальной длины). Для выполнения такой задачи к апоневрозу необходимо приложить значительную растягивающую силу, величина которой зависит от величины снижения высоты свода стопы. Так, для снижения высоты свода на 10 мм нужно удлинить апоневроз на 12 мм, для чего к нему нужно применить постоянно действующую силу величиной 932 Н. Для снижения высоты свода стопы на 20 мм величину растягивающей силы, прило-

женной к апоневрозу, необходимо увеличить до 1438 Н, что осуществить практически невозможно. Поэтому наличие сокращенного апоневроза является значительным препятствием для эффективного устранения полой деформации стопы. **Выводы.** Коррекция полой деформации стопы требует значительного уменьшения высоты ее продольного свода, что приводит к значительному удлинению апоневроза — до 25 % от его первоначальной длины. Для обеспечения увеличения длины апоневроза необходимо наличие постоянно действующей растягивающей силы значительной величины, превышающей значение 1000 Н. Плантарный апоневроз играет непосредственную роль в поддержке продольного свода стопы и является одной из причин устойчивости кавусной деформации у пациентов с рецидивом ВЭПВК, что не поддается консервативному лечению. Для устранения кавусной деформации стопы при отсутствии эффекта от консервативного лечения необходимо удлинение апоневроза путем хирургического вмешательства (пересечения). Величину угла продольного свода стопы в 110° можно выбрать в качестве критерия принятия решения в пользу сохранения или отсечения апоневроза.

Ключевые слова: врожденная эквино-поло-варусная косолапость; плантарный апоневроз

S.O. Khmyzov, G.V. Kykosh, M.Yu. Karpinsky

State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine

Role of plantar aponeurosis in the formation of cavus component in recurrent congenital equinocavovarus deformity

Abstract. Background. Congenital equinocavovarus deformity (CECVD) is the second most frequent among all congenital disorders of the musculoskeletal system in children, and one of the most common causes of childhood disability in Ukraine. The incidence of CECVD reaches 1–3 cases per 1,000 newborns (35–40 % of all foot deformities). According to some authors, plantar fasciotomy can improve the shape and function of support and walking in these patients. The purpose was to determine the role of plantar aponeurosis in the formation of the cavus component in cases of recurrent CECVD in children. **Material and methods.** Mathematical researches were carried out using the graph-analytical method. **Results.** To reduce the arch height when correcting pes cavus, it is necessary to increase significantly the length of the aponeurosis (up to 25 % of its initial length). To perform this task, a significant tensile force must be applied to the aponeurosis, the value of which depends on the magnitude of a decrease in the arch height. So, to reduce the arch height by 10 mm, it is necessary to lengthen the aponeurosis by 12 mm, for which a constant force of 932 N must be applied to it. To reduce the arch height by 20 mm, the magnitude

of the tensile force applied to the aponeurosis must be increased to 1,438 N, which is almost impossible. Therefore, the presence of a shortened aponeurosis is a significant obstacle for the effective correction of pes cavus. **Conclusions.** Correction of pes cavus requires a significant decrease in the height of its longitudinal arch, which leads to a significant lengthening of the aponeurosis, up to 25 % of its initial length. To ensure an increase in the length of the aponeurosis, the presence of a significant constant tensile force that exceeds 1000 N is necessary. Plantar aponeurosis plays a direct role in supporting the longitudinal arch of the foot, and is one of the causes for the persistence of pes cavus in patients with recurrent CECVD, which does not respond to conservative treatment. To correct cavus foot, in the failure of conservative treatment, it is necessary to lengthen it by surgical intervention (intersection). The value of the angle of the longitudinal arch of the foot of 110° can be chosen as a criterion for choosing a decision in favor of preserving or resection of the aponeurosis.

Keywords: congenital equinocavovarus deformity; plantar aponeurosis