



Andrzej Marcin Boszczyk,
Stanisław Pomianowski

Klinika Chirurgii Urazowej Narządu
Ruchu i Ortopedii CMKP
Kierownik Kliniki: prof. dr hab. n. med.
Stanisław Pomianowski

Address for correspondence/
Adres do korespondencji:
Andrzej Boszczyk
Klinika Chirurgii Urazowej Narządu
Ruchu i Ortopedii CMKP
ul. Konarskiego 13, 05-400 Otwock
Tel. 227794031 wew. 486
Fax 227885675
e-mail: boszczyk@gazeta.pl

Received: 12.12.2013
Accepted: 20.03.2014
Published: 30.06.2014

STATISTIC STATYSTYKA

Word count Liczba słów	1931/1840
Tables Tabele	0
Figures Ryciny	0
References Piśmiennictwo	26

Intrinsic foot muscles and longitudinal arch of the foot

Znaczenie mięśni krótkich stopy dla łuku podłużnego stopy

Review article/Artykuł poglądowy

© J ORTHOP TRAUMA SURG REL RES 2 (36) 2014

Summary

Short foot muscles are the least understood element of human foot. Their function has for long been regarded unimportant for foot mechanics. This paper summarises recent progress in understanding intrinsic muscles' role in foot function. Their role in quiet standing, in walking cycle as well as their possible relation to plantar fasciitis has been presented.

Key words: intrinsic foot muscles, foot long arch, flat foot

Streszczenie

Mięśnie krótkie stopy są najsłabiej zbadanym elementem ludzkiej stopy a ich funkcja długo była uznawana za nieistotną dla działania stopy. Praca przedstawia aktualne poglądy na temat znaczenia mięśni krótkich dla funkcjonowania stopy. Przeanalizowano działanie mięśni krótkich w stopie obciążonej statycznie, w stopie w chodzie oraz przedstawiono możliwy związek między osłabieniem mięśni krótkich a występowaniem entezopatii rozciągnięta podeszwy.

Słowa kluczowe: mięśnie krótkie stopy, łuk podłużny stopy, płaskostopie

INTRODUCTION

Intrinsic foot muscles are the least studied element of human foot [1]. The reason for this is technical difficulties of such studies [2] and traditional belief of their minor role for foot function and mechanics [3,4]. Never studies documented, however, important function of short foot muscles in quiet standing [5] and in walking cycle [6]. This review aims at summarizing current knowledge of intrinsic foot muscles influence on longitudinal arch of the foot mechanics.

METHOD

We performed systematic analysis of publications covering the field of short foot muscles. Publication available at Pubmed and published between 2003 and 2013 were studied. The search (terms: *short foot muscles* and *intrinsic foot muscles*) revealed 234 records which were analysed. Additionally Polish journals were scrutinized (Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja, Chirurgia Narządów Ruchu/Polish Orthopaedics and Traumatology, The Journal of Orthopaedics Trauma Surgery and Related Research) and no publications covering this field were revealed. After excluding duplicate records and publications outside the scope of this review we analysed 35 papers. Only the publications presenting intrinsic's influence on longitudinal arch of the foot are presented.

FOOT INTRINSICS MUSCLES ANATOMY AND CHALLENGES FOR RESEARCH

Intrinsic foot muscles consist of 28 muscles which have the origin and the insertion point at the foot. To the contrary long foot muscles insert at the foot but originate at the lower leg. Short foot muscles can be divided into dorsal, which function seems not to be important and plantar group divided into four layers [7]. The first, superficial layer consist of abductor hallucis, flexor digitorum brevis and abductor digiti minimi. Deeper the group consisting of quadratus palntae and lubricals is situated. In the third layer flexor hallucis brevis, adductor hallucis and flexor digiti minimi are located. The fourth, deepest layer encompasses small interosseous muscles. Numerous anatomical variants have been described [1]. Most often certain muscles are not present or a group of muscles fuses and the overall number of muscles is therefore reduced.

The considerable size of this group of muscles needs to be emphasised. It has been studied with an MRI by a group from University of Massachusetts [8]. The volume of the muscles was assessed. The global volume of short foot muscles was measured (113 cm³ on average). They have been shown to be bigger than flexor hallucis longus (74 cm³) and flexor digitorum longus (19 cm³). Short foot muscles are similar size as tibialis posterior muscle (104 cm³) and are only 25% smaller than lateral head of gastrocnemius (141 cm³) and tibialis anterior muscle (143 cm³) [8]. Short foot muscles exert considerable force, for example flexor hallucis brevis is con-

KONTEKST

Mięśnie krótkie stopy są najslabiej zbadanym elementem ludzkiej stopy [1]. Składają się na ten fakt trudności w ich badaniu [2] oraz tradycyjne przekonanie o małej istotności ich funkcji dla mechaniki stopy [3, 4]. Nowsze badania dokumentują jednak istotną funkcję mięśni krótkich zarówno w spokojnym stanie [5] jak również w czasie chodu [6]. Celem poniższego przeglądu jest usystematyzowanie wiedzy na temat znaczenia mięśni krótkich stopy dla mechaniki łuku podłużnego stopy.

METODA

Dokonałiśmy systematycznego przeglądu piśmiennictwa dotyczącego mięśni krótkich stopy. Analizie poddaliśmy publikacje z lat 2003-2013 dostępne w bazie Pubmed. Zidentyfikowaliśmy 234 publikacje (hasła: *short foot muscles* oraz *intrinsic foot muscles*), które poddaliśmy wstępnej analizie. Dokonałiśmy także analizy piśmiennictwa polskiego z tego okresu (Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja, Chirurgia Narządów Ruchu/Polish Orthopaedics and Traumatology, The Journal of Orthopaedics Trauma Surgery and Related Research) nie odnajdując publikacji dotyczących omawianego tematu. Po odrzuceniu powtarzających się rekordów oraz publikacji niezwiązanych z funkcją stopy dalszej analizie poddano 35 publikacji. Z tej grupy wybrano publikacje dotyczące znaczenia mięśni krótkich stopy dla łuku podłużnego stopy.

ANATOMIA MIĘŚNI KRÓTKICH I TRUDNOŚCI ICH BADANIA

Grupa mięśni krótkich stopy obejmuje 28 mięśni, których przyczepy początkowe i końcowe znajdują się w obrębie stopy. Odróżnia je to od mięśni długich stopy, których przyczepy końcowe znajdują się w obrębie stopy natomiast przyczepy bliższe lokalizują się w obrębie podudzia. Mięśnie krótkie dzielą się grupę mięśni grzbietowych, których funkcja wydaje się być mniej istotna, oraz grupę mięśni podeszwywowych ułożonych w czterech warstwach [7]. Warstwa pierwsza, powierzchniowa, zawiera mięsień odwodziciel palucha, zginacz krótki palców oraz odwodziciel palca piątego. Pod nimi leży warstwa zawierająca mięsień czworoboczny podeszwy oraz mięśnie glistowate. W warstwie trzeciej znajduje się zginacz krótki palucha, przywodziciel palucha oraz zginacz palca piątego. W warstwie najgłębszej leżą drobne mięśnie międzykostne. Opisano liczne odmienności anatomiczne dotyczące tej grupy mięśniowej [1]. Odmienności mogą dotyczyć braku pojedynczych mięśni lub też połączenia kilku brzuśców w jeden i zmniejszenia liczby mięśni.

Warto także zaznaczyć, że mięśnie krótkie stopy są bardziej masywne niż to się zazwyczaj uważa. Wykazali to badacze z University of Massachusetts w badaniu MRI [8]. Dokonano objętościowej oceny mięśni krótkich. Wykazano, że mięśnie krótkie zajmują łącznie znaczną objętość (średnio 113 cm³), są rozleglejsze niż mięsień zginacz długi palucha (74 cm³) czy zginacz długi palców

sidered to generate the force averaging 36% of body weight [9].

Measuring the strength of short foot muscles is, however, technically challenging. Measuring the strength of hallux and toes plantar flexion cannot distinguish between the forces of short and long flexors [2]. The methods applied are pressure measurements and hand held dynamometers. Placing the ankle in plantarflexion shortens long flexors thereby reducing their share in hallux and toes plantar flexion force [10]. Indirect measurements can be applied by estimating their volume in MRI [11] and ultrasound [12], by analysis of electrical activity with transcutaneous electrodes [13] and with mathematical models [14]. Clinical tests measuring global intrinsic function are also available [15].

INTRINSIC MUSCLES SUPPORT FOR THE LONG ARCH OF THE FOOT

According to the oldest models of foot mechanism, the longitudinal arch of the foot is supported by the conformation of bones and plantar foot ligaments. Early studies considered the long arch of the foot not to be actively supported in quiet standing [3,4]. In walking cycle, the role of the plantar fascia and windlass mechanism has been identified early [16]. The appreciation of the role of long foot muscles, among them posterior tibial muscle, followed the static models. This led researchers to the model of foot function encompassing: structure of the bones, plantar ligaments, plantar fascia and posterior tibial muscle [17,18]. This model does not include the function of short foot muscles and cannot be, therefore, complete.

Importance of short foot muscles' function for support of the long arch of the foot has been shown in an elegant experiment. Tibial nerve was anaesthetised and this way innervation of intrinsic muscles was blocked. After performing the block electrical activity of short muscles was reduced to 25% of the pre-block activity. Long foot arch was assessed by comparing the navicular drop, i.e. the distance from the navicular to the ground in neutral hindfoot position (in sitting) and in loaded foot (in standing). Increase in navicular drop corresponds to lowering of the long arch with hindfoot pronation.

(19 cm³). Mięśnie krótkie mają podobną objętość co mięsień piszczelowy tylny (104 cm³) i są jedynie około o 25% mniejsze od bocznej głowy mięśnia brzuchatego (141 cm³) oraz mięśnia piszczelowego przedniego (143 cm³) [8]. Mięśnie krótkie dysponują także istotną siłą. Przykładowo, ocenia się, że zginacz krótki palucha jest w stanie wygenerować siłę równą 36% masy ciała [9].

Mięśnie krótkie stopy są jednak trudnym celem badania siły. Nie opracowano dotychczas metody wybiórczego pomiaru ich siły. Pomiar siły zgięcia podszwowe go nie pozwala na oddzielenie sił generowanych przez mięśnie krótkie i długie stopy [2]. Podstawowe metody to ocena ciśnień pod opuszkami palców stopy oraz zastosowanie dynamometrów ręcznych. Ustawienie stawu skokowego w zgięciu podszwowym powoduje skrócenie mięśni długich zmniejszając ich udział w generowaniu siły zgięcia podszwowego palców [10]. Ocena sił generowanych przez mięśnie krótkie może być dokonywana także pośrednio na podstawie oceny ich objętości w badaniu MRI [11] lub USG [12], oceny ich aktywności elektrycznej przy pomocy wprowadzanych do mięśni elektrod [13] oraz przy pomocy modeli matematycznych [14]. Stosuje się także kliniczne testy oceniające globalną siłę mięśni krótkich stopy [15].

ROLA MIĘŚNI KRÓTKICH STOPY W PODTRZYMYWANIU ŁUKU PODŁUŻNEGO STOPY

Wg najstarszych modeli funkcjonowania stopy za podtrzymywanie łuku podłużnego stopy odpowiedzialny jest kształt powierzchni stawowych i więzadła strony podszwowej. Fakt ten znalazł odzwierciedlenie we wczesnych pracach wskazujących, że łuki stopy nie wymagają czynnej stabilizacji mięśniowej w warunkach statycznego obciążenia [3, 4]. Spośród struktur stabilizujących łuk podłużny w czasie chodu najwcześniej zidentyfikowano znaczenie rozciągnięcia podszwowego i mechanizmu kołowrotu („windlass”) [16]. Wcześniej zidentyfikowano także znaczenie mięśni długich dla podtrzymania łuku, zwłaszcza mięśnia piszczelowego tylnego. W ten sposób powstał model stopy uwzględniający znaczenie kongruencji kostnej, fakt stabilizacji więzadłowej, znaczenie rozciągnięcia podszwowego i mięśnia piszczelowego tylnego [17, 18]. Model ten zaniedbuje jednakże funkcję mięśni krótkich i jest z tego powodu niepełny.

Istotne znaczenie aktywności mięśni krótkich dla podtrzymania łuku wykazano w eleganckim doświadczeniu. Wykorzystano tutaj znieczulenie nerwu piszczelowego dla wyłączenia funkcji mięśni krótkich stopy. Po zastosowaniu znieczulenia osiągnęto redukcję aktywności mięśni krótkich w elektromiografii do 25% wartości wyjściowych. Oceniano opadanie kości łódkowatej (*navicular drop*), będący różnicą między wysokością kości łódkowatej nad podłożem w neutralnej pozycji stawu skokowo-piętowego (na siedząco) oraz w stopie obciążonej (na stojąco). Zwiększanie się wartości *navicular drop* odzwierciedla obniżanie łuku podłużnego w mechanizmie pronacji stawu podskokowego. W badaniu tym zaobser-

Experiment revealed increase of the navicular drop from 6 to 9 mm after the tibial block. This study confirms the role of short foot muscles in support of the arch in quiet standing [19]. It is important to emphasize, that the foot was studied in quiet standing with only the body weight – the activity classically thought to not require muscular support.

In the other study short foot muscles were not anaesthetised, but, with repeated isotonic exercises their fatigue was achieved. The fatigue of short foot muscles also led to lowering of the longitudinal arch of the foot in quiet standing. In this experiments subjects performed 75 repetitions of isotonic exercises. The muscles' fatigue was confirmed with electromyography of the abductor hallucis. The result confirms intrinsic's role in supporting the long arch of the foot and reveals their activity in quiet standing. Fatigue of short foot muscles leads to increased hindfoot pronation [5].

Similar results were observed by researchers studying runners before and after running a half-marathon [20]. The lowering of the navicular bone and change of the foot shape into more flat (as measured with Foot Posture Index) was observed in fatigued runners.

Yet another study assessed intrinsic muscles' activity in electromyography with needle electrodes implanted into abductor hallucis, flexor digitorum brevis and quadratus plantae. Electrical activity was studied in relaxed position, in double stance and in most challenging – single stance. Increase in electrical activity was observed while progressing to more challenging tasks (single stance). Increased movement of the centre of body weight was also observed in single stance. The abductor hallucis was observed to activate in response to medial and lateral shifts of the centre of body weight. Short foot muscles' activity was highest when the centre of the body weight shifted towards medial border of the foot [21].

In the next study the influence of the simulated activity of the abductor hallucis on the long arch of the foot was studied. The abductor hallucis was dissected and resected and surgical sutures were implanted into the origin and the insertion of the muscle. Tensioning of the sutures simulated muscle contraction. The study was performed with the foot under load. Simulated contraction of the abductor hallucis led to plantarflexion and supination of the first metatarsal and inversion of the calcaneus. Simulated contraction of the muscle led to elevation of the long foot arch. Researchers conclude that in pathogenesis of the acquired flatfoot apart from posterior tibial muscle also short foot muscles may play a role. This makes them potential target for treatment [22].

wowano zwiększenie opadania kości łódkowatej z około 6 mm przed znieczuleniem do około 9 mm po zniesieniu funkcji mięśni krótkich stopy. Badanie to potwierdza rolę mięśni krótkich stopy w podtrzymywaniu łuku podłużnego w spokojnym stanie [19]. Należy podkreślić, że badani wykonywali w tym badaniu jedynie stanie z obciążeniem ciężarem ciała – aktywności uważanej w klasycznych pracach za niewymagającą pracy mięśniowej.

W kolejnym badaniu nie dokonywano znieczulenia mięśni krótkich, natomiast poprzez powtarzane ćwiczenia izotoniczne prowadzono do ich zmęczenia. Wykazano, że zmęczenie mięśni krótkich stopy także prowadzi do obniżenia łuku podłużnego stopy w spokojnym stanie. W badaniu tym oceniano wpływ zmęczenia mięśni krótkich stopy na odległość kości łódkowatej od podłoża. Badani wykonywali 75 powtórzeń ćwiczeń izotonicznych, zmęczenie mięśni potwierdzano w badaniu elektromiograficznym odwodziciela palucha. Uzyskane wyniki potwierdzają znaczenie mięśni krótkich dla utrzymania łuku podłużnego oraz potwierdzają ich aktywność w spokojnym stanie. Zmęczenie mięśni krótkich stopy prowadzi do zwiększenia pronacji tyłostopia [5].

Podobne wyniki uzyskali badacze oceniający wysokość łuku podłużnego stopy u biegaczy przed i po starcie w półmaratonie [20]. Wykazali oni obniżenie wysokości kości łódkowatej oraz zmianę kształtu stopy (obrazowaną zmianą wartości Foot Posture Index) na bardziej płaski u zmęczonych biegaczy.

W innym badaniu oceniano aktywność mięśni krótkich przy pomocy igłowych elektrod EMG implantowanych do brzuśców odwodziciela palucha, zginacza krótkiego palców oraz mięśnia czworobocznego podszwy. Oceniano aktywność mięśni w rozluźnionej nieobciążanej stopie, w stanie obunóż, oraz w najbardziej wymagającym ćwiczeniu - staniu jednoonóż. Potwierdzono aktywność mięśni krótkich stopy w czasie spokojnego stania obunóż. Badacze wykazali także, że wraz ze wzrostem trudności zadania (przejście do stania jednoonóż) rosła aktywność elektryczna badanych mięśni. W staniu jednoonóż obserwowano większą amplitudę środka ciężkości niż przy staniu obunóż. Aktywność przywodziciela palucha zaobserwowano w odpowiedzi na przemieszczenia środka ciężkości do przysródka i do boku. Największą aktywność mięśni krótkich zaobserwowano przy przemieszczaniu środka ciężkości do przysródkowej krawędzi stopy [21].

W kolejnym badaniu przeprowadzono na zwłokach ocenę efektów symulowanego napięcia mięśnia odwodziciela palucha na zachowanie łuku podłużnego stopy. Wypreparowano i wycięto mięsień odwodziciela palucha a następnie w miejscu jego przyczepu bliższego i dalszego wprowadzono nici chirurgiczne. Zwiększanie napięcia nici symulowało napięcie mięśnia. Badanie wykonano w modelu stopy obciążonej. Wykazano, że symulowane napięcie mięśnia powodowało zgięcie podeszwy i supinację I kości śródstopia, inwersję kości piętowej oraz obrót do wewnątrz kości piszczelowej. Symulowane napięcie mięśnia powodowało podwyższenie łuku po-

The importance of short foot muscles for the longitudinal arch of the foot has been shown also in finite elements analysis. The stresses in elements of the arch were estimated. After simulated lesion of plantar fascia increased stresses in the plantar ligaments were observed. The researches have shown reduction of these stresses after simulated contraction of short foot muscles. This observation confirms influence of the short foot muscles on longitudinal arch of the foot. Their action protects against overuse of plantar foot ligaments (i.e. spring ligament) and plantar fascia [23].

INTRINSICS MUSCLES SUPPORT FOR THE LONG ARCH OF THE FOOT IN WALKING

In the functional study the relation between the height of the longitudinal arch of the foot and walking speed was assessed. The plantar aponeurosis was confirmed to be primary arch stabilizer, especially in the weight-acceptance phase. However, the researchers observed that in the phase immediately following the toe-off phase, when the forefoot is unloaded and the opposite foot contacts the ground, the arch height continues to increase and the speed of this increase is higher at higher walking speeds. Given that the tension in plantar aponeurosis falls to zero at toe-off, aponeurosis itself couldn't be the source of this increase. The researchers conclude that the longitudinal arch of the foot at the late stance is supported not only by plantar aponeurosis, but by the short and long foot muscles as well. The source of the observed elevation of the arch after the toe-off are short and long foot muscles [6].

The other study assessed the activity of abductor hallucis in the "short foot" (when the subjects tried to shorten the foot without plantarflexing the toes) and "toe curl" (when he subject maximally plantarflexed the toes) exercises. Both exercises are used as a method of training the short foot muscles. It has been shown, that the "short foot" exercise led to significantly greater activation of the abductor hallucis and to significant elevation of the longitudinal arch [13].

dłużnego stopy. Badacze zwracają uwagę na fakt, że w patogenezie nabytego płaskostopia może mieć znaczenie nie tylko niewydolność mięśnia piszczelowego tylnego ale również niewydolność mięśni krótkich, co czyni je potencjalnym celem terapii [22].

Znaczenie mięśni krótkich stopy w utrzymaniu łuku podłużnego stopy wykazano także w modelowaniu matematycznym metodą elementów skończonych. Analizowano tutaj naprężenia elementów łuku podłużnego. Po symulowanym uszkodzeniu rozciągnięta podeszwowego następowało znaczne zwiększenie naprężeń więzadeł podeszwowej powierzchni stopy. Badacze wykazali, że zwiększenie napięcia mięśni krótkich stopy skutkowało zmniejszeniem tych naprężeń. Obserwacja ta potwierdza znaczenie mięśni krótkich stopy dla podtrzymania łuku podłużnego stopy jak również dla ochrony przed przeciążeniem więzadeł podeszwowej powierzchni stopy (np. więzadła piętowo-łódkowego podeszwowego – *spring ligament*) i rozciągnięta podeszwowego [23].

ROLA MIĘŚNI KRÓTKICH STOPY W PODTRZYMYWANIU ŁUKU W CHODZIE

W kolejnym badaniu czynnościowym oceniano wysokość łuku podłużnego w zależności od szybkości chodu. Potwierdzono, że głównym stabilizatorem łuku podłużnego stopy jest rozciągnięta podeszwa a jego funkcja jest szczególnie zaznaczona we wczesnej fazie kontaktu stopy z podłożem. Badacze zaobserwowali także, że w fazie następującej po fazie odbicia, kiedy przodostopie jest odciążane a przeciwna stopa kontaktuje się z podłożem, wysokość łuku podłużnego szybko zwiększa się a szybkość tego podwyższania łuku jest wyższa przy wyższych szybkościach chodu. Biorąc pod uwagę, że napięcie w rozciągniętej podeszwie spada do zera w momencie oderwania kończyny od ziemi samo rozciągnięto nie może być źródłem obserwowanego podwyższania łuku podłużnego. Badacze wnioskują, że łuk podłużny w końcowej części fazy obciążania nie jest podpierany jedynie przez rozciągnięto ale i przez mięśnie krótkie i długie stopy. •ródłem następującego po oderwaniu stopy od podłoża dalszego podwyższania łuku jest aktywność mięśni krótkich i długich stopy [6].

W kolejnym badaniu oceniano aktywność mięśnia odwodźciciela palucha przy wykonywaniu ćwiczenia „krótkiej stopy” w którym badany starał się skrócić stopę bez zginania podeszwowego palców oraz ćwiczenia „podkulenia palców” w którym badany miał za zadanie uzyskać maksymalne zgięcie podeszwowe palców stopy. Oba te ćwiczenia są stosowane przy wzmacnianiu mięśni krótkich stopy. Wykazano, że ćwiczenie krótkiej stopy w porównaniu do ćwiczenia podkulenia palców prowadziło do istotnie silniejszej aktywacji odwodźciciela palucha oraz istotnego podwyższenia łuku podłużnego stopy [13].

SHORT FOOT MUSCLES AND PLANTAR FASCIITIS

The longitudinal arch of the foot is supported by active and passive stabilizers, as it was described before. Active stabilizers include posterior tibial muscle and intrinsic foot muscles. Plantar aponeurosis is among passive stabilizers. Due to a synergistic function in supporting longitudinal arch the link between weakening of short foot muscles and plantar aponeurosis pathology was postulated [24].

In the MRI study the volume of intrinsic foot muscles was compared between the two feet in patients with unilateral plantar fasciitis. The intrinsic foot muscles' volume was measured for the whole foot and in division into posterior part (posteriorly to the scan in the middle of the intrinsic length), anterior part (anteriorly to the middle scan) of the foot. While no difference was observed for the whole foot comparison, significant difference was observed in the anterior part of the foot [8]. In the plantar fasciitis foot the volume of the anterior part of the intrinsic muscles was about 5% smaller compared to unaffected side. The atrophy of separate muscles was not studied. In the anterior part of the foot, however, both heads of flexor hallucis brevis, two parts of adductor hallucis and plantar interossei are located. Observed atrophy is therefore confined to these muscles.

A causative relationship between the atrophy of intrinsic foot muscles and pathology of plantar fascia has not been proven. It is not certain if the changes observed in the muscles are the cause or the result of fascia pathology. The proponents of the causative theory state that after dysfunction of the intrinsic muscles arises, the longitudinal arch gets lower. This rises the tension in plantar fascia causing overuse injury. This theory is supported by observation of reduced toes plantar flexion strength in plantar fasciitis patients [25]. Opponents of this theory suggest that muscle atrophy is a secondary phenomenon caused by neuropathy. In this theory primary changes in plantar fascia cause neuropathy of muscular branches of tibial nerve causing in turn atrophy of the intrinsic muscles [26].

MIĘŚNIE KRÓTKIE STOPY A ENTEZOPATIA ROZCIĘGNA PODESZWOWEGO

Jak wspomniano powyżej, łuk podłużny stopy jest w stopie obciążanej stabilizowany przez struktury bierne i czynne. Struktury czynne to mięśnie krótkie stopy oraz mięsień piszczelowy tylny. Do struktur biernych należy rozciągno podeszwowe. Ze względu na synergistyczne działanie w podtrzymywaniu łuku podłużnego stopy postuluje się związek między osłabieniem siły mięśni krótkich stopy a patologią rozciągna podeszwowego [24].

Na pytanie o związek między patologią rozciągna a patologią mięśni krótkich starano się odpowiedzieć oceniając objętość mięśni krótkich u pacjentów z jednostronną entezopatią rozciągna podeszwowego w obrazie MRI. Dokonywano porównania ze zdrową kończyną tego samego pacjenta. Oceniano objętość mięśni tylnej części stopy (znajdujących się do tyłu od skanu wyznaczającego połowę długości mięśni krótkich stopy), przedniej części stopy (do przodu od skanu w połowie) oraz całej stopy. W daniu MRI nie obserwowano różnic w całkowitej objętości podeszwowych mięśni stopy [8]. Zaobserwowano natomiast istotną statystycznie różnicę w objętości mięśni w przedniej części stopy z mniejszą o około 5% objętością mięśni w stopach z entezopatią rozciągna podeszwowego. Badacze nie oceniali stopnia zaniku poszczególnych mięśni. Spośród mięśni krótkich stopy w przodostopiu znajdują się natomiast: mięsień zginacz krótki palucha złożony z dwóch głów, podobnie złożony z dwóch części przywodziciel palucha oraz podeszwowe mięśnie międzykostne. Obserwowany zanik dotyczył więc mięśni należących do tej grupy.

Związek przyczynowo-skutkowy między zanikiem mięśni krótkich stopy a występowaniem patologii rozciągna podeszwowego nie jest potwierdzony. Nie mamy pewności czy obserwowane w mięśniach zmiany są przyczyną czy wynikiem patologii rozciągna. Zwolennicy przyczynowej roli zaniku mięśni krótkich wywodzą, że w wyniku ich osłabienia dochodzi do większego obniżania wysokości łuku podczas chodu co z kolei zwiększa siłę przenoszone przez rozciągno podeszwowe. Teorię tą potwierdza obserwacja osłabienia siły zgięcia podeszwowego palców stopy u pacjentów z entezopatią rozciągna podeszwowego [25]. Przeciwnicy tej teorii sugerują zanik na podłożu neuropatycznym. Uważają oni, że zanik mięśni krótkich jest wtórny do zmian neuropatycznych gałęzi nerwu piszczelowego będących wynikiem procesu chorobowego pierwotnie toczącego się w przyczepie rozciągna podeszwowego [26].

CONCLUSIONS

The review of the papers on short foot muscles function has been presented. Important role of these muscles has been shown. The possible relationship between intrinsic weakness and plantar fascia pathology has been presented.

To summarise:

1. Contrary to popular belief intrinsic foot muscles are undoubtedly active in supporting the longitudinal arch of the foot in quiet standing and in walking.
2. The foot mechanic models considering only tibialis posterior muscle to be a source of arch support are incomplete.

WNIOSKI

Przedstawiono przegląd doniesień na temat roli mięśni krótkich stopy. Wykazano istotną rolę tych mięśni dla funkcji stopy. Przedstawiono możliwy związek między osłabieniem mięśni krótkich a entezopatią rozciągnięta podeszwy.

Podsumowując należy stwierdzić, że:

1. mięśnie krótkie stopy bez wątpienia biorą udział w podtrzymywaniu łuku podłużnego stopy w spokojnym stanie oraz w chodzie.
2. modele łuku podłużnego stopy upatrujące czynnej stabilizacji łuku jedynie w napięciu ścięgna mięśnia piszczelowego tylnego są niepełne.

References/Piśmiennictwo:

1. Tosovic D, Ghebremedhin E, Glen C, i wsp.: The architecture and contraction time of intrinsic foot muscles. *J Electromyogr Kinesiol* 2012;22:930–8.
2. Soysa A, Hiller C, Refshauge K, Burns J: Importance and challenges of measuring intrinsic foot muscle strength. *J Foot Ankle Res* 2012;25:29.
3. Basmijan J, Stecko G: The Role of Muscles in Arch Support of the Foot An Electromyographic Study. *J Bone Joint Surg Am* 1963;45A:1184–1190.
4. Mann R, Inman VT: Phasic activity of intrinsic muscles of the foot. *J Bone Joint Surg Am* 1964;46A:469–81.
5. Headlee DL, Leonard JL, Hart JM, i wsp.: Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *J Electromyogr Kinesiol* 2008;18:420–5.
6. Caravaggi P, Pataky T, Günther M, i wsp.: Dynamics of longitudinal arch support in relation to walking speed: contribution of the plantar aponeurosis. *J Anat* 2010;217:254–61.
7. Kura H, Luo ZP, Kitaoka HB, An KN: Quantitative analysis of the intrinsic muscles of the foot. *Anat Rec* 1997;249:143–51.
8. Chang R, Kent-Braun J a, Hamill J: Use of MRI for volume estimation of tibialis posterior and plantar intrinsic foot muscles in healthy and chronic plantar fasciitis limbs. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2012;27:500–5.
9. Jacob H: Forces acting in the forefoot during normal gait—an estimate. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2001;16:783–92.
10. Spink MJ, Fotoohabadi MR, Menz HB: Foot and ankle strength assessment using hand-held dynamometry: reliability and age-related differences. *Gerontology* 2010;56:525–32.
11. Severinsen K, Obel A, Jakobsen J, Andersen H: Atrophy of foot muscles in diabetic patients can be detected with ultrasonography. *Diabetes Care* 2007;30:3053–7.
12. Mickle KJ, Nester CJ, Crofts G, Steele JR: Reliability of ultrasound to measure morphology of the toe flexor muscles. *J Foot Ankle Res* 2013;6:12.
13. Jung D-Y, Kim M-H, Koh E-K, i wsp.: A comparison in the muscle activity of the abductor hallucis and the medial longitudinal arch angle during toe curl and short foot exercises. *Phys Ther Sport* 2011;12:30–5.
14. Goldmann J-P, Brüggemann G-P: The potential of human toe flexor muscles to produce force. *J Anat* 2012;221:187–94.
15. Bahram J: Evaluation and Retraining of the Intrinsic Foot Muscles for Pain Syndromes Related to Abnormal Control of Pronation. *Orthop Div Rev* 2006;24–30.
16. Hicks JH: The mechanics of the foot. II. The plantar aponeurosis and the arch. *J Anat* 1954;88:25–30.
17. Thordarson DB, Schmotzer H, Chon J, i wsp.: Dynamic support of the human longitudinal arch. A biomechanical evaluation. *Clin Orthop Relat Res* 1995;316:165–72.
18. Domzalski M, Kwapisz A, Król A, i wsp.: The role of plantar calcaneonavicular ligament complex in the development of the adult flat foot—anatomical study. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol* 2007;72:265–8.
19. Fiolkowski P, Brunt D, Bishop M, i wsp.: Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: an electromyography study. *J foot ankle Surg* 2003;42:327–33.
20. Cowley E, Marsden J: The effects of prolonged running on foot posture: a repeated measures study of half marathon runners using the foot posture index and navicular height. *J Foot Ankle Res* 2013;6:20.
21. Kelly L, Kuitunen S, Racinais S, i wsp.: Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2012;27:46–51.
22. Wong YS: Influence of the abductor hallucis muscle on the medial arch of the foot: a kinematic and anatomical cadaver study. *Foot ankle Int* 2007;28:617–20.
23. Wu L: Nonlinear finite element analysis for musculoskeletal biomechanics of medial and lateral plantar longitudinal arch of Virtual Chinese Human after plantar ligamentous structure failures. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2007;22:221–9.
24. Wearing SC, Smeathers JE, Urry SR, i wsp.: The pathomechanics of plantar fasciitis. *Sports Med* 2006;36:585–611.
25. Allen RH, Gross MT: Toe flexors strength and passive extension range of motion of the first metatarsophalangeal joint in individuals with plantar fasciitis. *J Orthop Sports Phys Ther* 2003;33:468–78.
26. Chundru U, Liebeskind A, Seidelmann F, i wsp.: Plantar fasciitis and calcaneal spur formation are associated with abductor digiti minimi atrophy on MRI of the foot. *Skeletal Radiol* 2008;37:505–10.