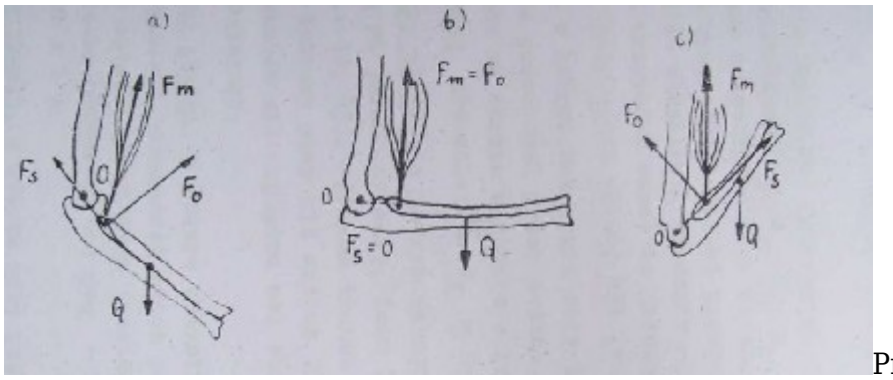
Stopa w ciele człowieka pełni funkcję podporową. Opiera się na niej w postawie stojącej cały ciężar ciała. Funkcja ta wpłynęła więc na specyficzne wykształcenie kośćca stopy oraz aparatu stawowo-więzadłowego i układu mięśniowego. Całościowo stopa stanowi mocną i sprężystą podstawę ciała. Ustawiona jest w stosunku do podudzia pod kątem zbliżonym do prostego.

Chcąc omówić stopę na przykładzie dźwigni, należy przypomnieć podstawowe informacje o tej tematyce. Dźwigniami z punktu widzenia mechaniki są kości połączone ruchomo w stawach. Działają na zasadzie maszyn prostych i służą do przekazywania działania siły na odległość.

Staw stanowi punkt podparcia dźwigni. Ramię siły to najkrótsza odległość od osi obrotu do kierunku działania siły. Do kości przyłożonych jest wiele sił. Siły te można podzielić na dwie grupy, z których każda stara się obrócić dźwignię w przeciwnym kierunku. Działanie każdej z tych sił można sprowadzić do wypadkowej, np. jedna z tych sił może być siła mięśni, a druga siła jej przeciwną w postaci siły ciężkości. Jeżeli działania siły mięśni i siły oporu są sobie równe, to żadna z tych grup nie zyskuje przewagi i część ciała jako dźwignia pozostaje w równowadze. Taka równowaga części ciała jako systemu dźwigni ma miejsce w nieruchomych położeniach ciała. Siły mięśni i siły ciężkości wzajemnie się wówczas równoważą. Dla równowagi kości jako dźwigni wymagane jest, aby moment siły mięśni był równy momentowi siły oporu. Dla zapoczątkowania ruchu jakiejś części ciała niezbędne więc jest, aby moment jednej z sił był większy, gdyż wtedy dźwignia poruszy się w stronę jego działania.



Przykłady zmiany składowych wektora w zależności od kąta stawowego.

Kości są sztywnymi członami poruszającymi się przez siły mięśniowe oraz inne siły, które przeważnie stawiają opór podczas ruchu członów, dlatego nazywamy je siłami oporu. Są to siły ciężkości części ciała i przedmiotów unoszonych przez mięśnie. Siły mięśni i siły ciężkości są siłami czynnymi. Ich przeciwieństwem są siły bierne — reakcje wynikające z więzadeł. Reakcje zależą bezpośrednio od sił czynnych.

Przykładowo: siły reakcji w stawach wywoływane są przez siły mięśni oraz siły oporu i ciężkości. Siły reakcji podłoża podczas stania zależą od sił ciężkości. Tak więc system kostno-stawowy i działające na niego siły czynne i bierne będziemy traktować jako system dźwigni.

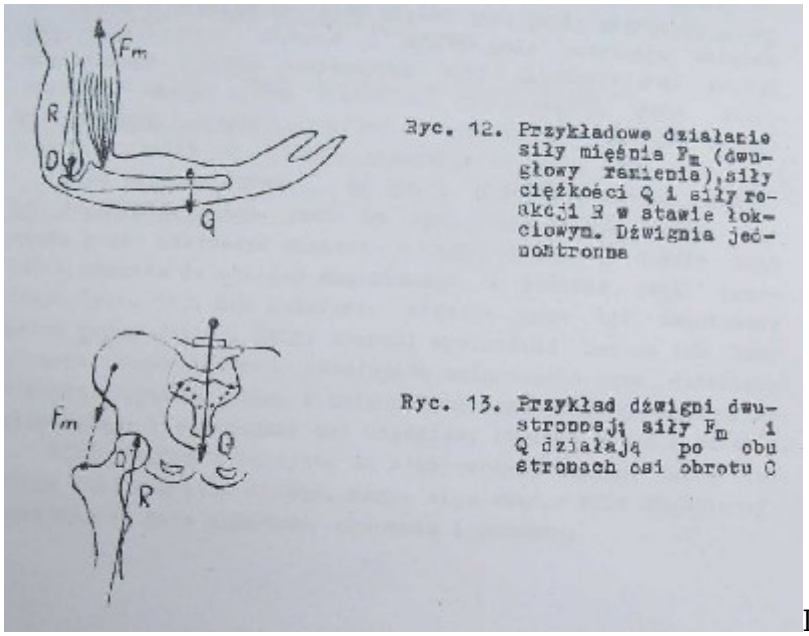
Rodzaje dźwigni

- **dźwignia jednostronna**

  Punkty przyłożenia działających sił mięśni i oporu leżą po tej samej stronie punktu oporu w stawie; siły działają w przeciwnym kierunku. Siła reakcji w stawie jest więc różnicą obu sił.

- **dźwignia dwustronna**

  Punkty przyłożenia działających sił mięśni i oporu leżą po obu stronach punktu obrotu w stawie; siły działają w tym samym kierunku. Oś stawu położona jest między punktami przyłożenia tych sił, które działają przeciw sobie. Siła reakcji więzadeł w stawie jest sumą obu sił.

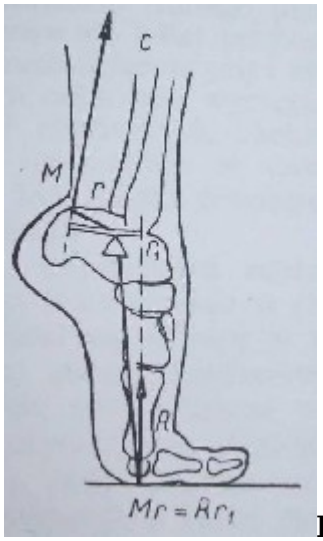


Ryc. 12. Przykładowe działanie siły mięśnia F_m (dwugłowy ramienia), siły ciężkości Q i siły reakcji R w stawie łokciowym. Dźwignia jednostronna

Ryc. 13. Przykład dźwigni dwustronnej; siły F_m i Q działają po obu stronach osi obrotu O

Działalność takich części szkieletu jako dźwigni dwustronnych występuje często w położeniach statycznych, np. podczas stania.

Na stopę działa siła mięśnia trójgłowego łydki (M) i siła reakcji oporu (R). Oś obrotu stopy, staw skokowo-goleniowy, jest położona między punktami przyłożenia sił.



Dźwignia dwustronna (pierwszego rodzaju)

Analizując siły działające na dźwignie kostne należy uwzględnić rachunek wektorowy, ponieważ ważne jest, czy na staw działa zginacz, czy prostownik, o czym decyduje zarówno kierunek, jak i zwrot rozwijanej przez mięsień siły. Mówiąc o sile ciężkości musimy wiedzieć, iż jest ona przykładem wektora nieswobodnego, tzn. że aby go określić trzeba podać jego cztery cechy:

- kierunek (prosta, na której leży),
- długość (in. moduł wektora),
- zwrot,
- punkt przyłożenia (początek wektora — w tym przypadku jest nim środek ciężkości).

Wektor reprezentujący siłę zwykle oznaczamy dużą literą, będącą symbolem danej siły; dla mięśni jest to Fm, dla siły reakcji R, dla siły ciężkości Q. Punktem przyłożenia siły mięśni jest punkt przyczepu mięśnia, umiejscowiony w środku pola przyczepu ścięgna mięśniowego. Punktem przyłożenia siły ciężkości jest środek ciężkości danego ciała. Działające na dane ciało siły reakcji (więzół) rysujemy przykładając zakończenia strzałki w punkcie działania tej siły.



Staw skokowy górny

Stopa łączy się z podudziem za pośrednictwem stawu skokowego górnego. Jest to staw złożony, główka stawowa utworzona jest przez kość skokową, ma kształt bloczka. Jest to staw jednoosiowy bloczkowy. Panewkę stawu tworzy kość piszczelowa i strzałkowa. Najbardziej znaczącymi ruchami w tym stawie są ruchy zginania podeszwowego i grzbietowego, odbywające się wokół osi czołowej, przyjmując postawę zasadniczą górnych części kończyny. Zakres ruchów wynosi odpowiednio wyprost ok. 20 stopni, zgięcie ok. 30 stopni.

Jeżeli człowiek wchodzi na płaszczyznę wznoszącą się pod kątem większym niż 20–30 stopni, to musi wchodzić na nią na palcach. Z drugiej strony, w czasie chodu, z chwilą gdy goleń stopy zakrocznej pochyli się do przodu o 20 stopni, stopa nie może pozostać na ziemi — pięta powinna się już oderwać od podłoża. Również wykonanie głębokiego przysiadu bez oderwania pięt od podstawy staje się niemożliwe.

Zginanie grzbietowe powodują mięśnie

- piszczelowy przedni
- długi prostownik palców
- długi prostownik palucha
- strzałkowy trzeci

Skurcz koncentryczny tej grupy mięśni następuje w dowolnych ruchach stopą w kierunku przedniej powierzchni podudzia. Zmiana przyczepu ustalonego i ruchomego zachodzi m.in. na początku kroku nogi podporowej. Skurczem ekscentrycznym mięśnie te działają np. podczas wstawania z pozycji kucznej. W obu przypadkach skurcz hamuje zachodzący ruch zginania podeszwowego. Wymienione działania odbywają się na zasadzie dźwigni jednostronnych siłowych. Zginacze są czterokrotnie silniejsze od prostowników, gdyż muszą działać przeciwko sile grawitacji.

Zginanie podeszwowe wykonują mięśnie

- brzuchaty łydki
- płaszczkowaty
- zginacz palucha długi
- strzałkowy długi
- piszczelowy tylny
- zginacz palców długi
- strzałkowy krótki, podeszwowy

Aby w dowolnym ruchu stopy kończyny zwisającej swobodnie mięśnie te rzeczywiście brały udział, ruch ten musi się odbywać z przyspieszeniem większym od ziemskiego, a w każdym razie musi być najszybszy. W pewnym stopniu i z określoną prędkością bowiem stopa opada sama, wyłącznie dzięki sile ciężkości. Dlatego dla skurczu koncentrycznego poleca się wykonywać ruchy w pozycji leżenia przodem, z podudziami załamanymi pod kątem prostym — mięśnie działają wtedy przeciwko sile ciężkości.

Trzy z wymienionych mięśni: m. brzuchaty łydki, m. płaszczkowaty i m. podeszwowy działają w tym wypadku na zasadzie dźwigni dwustronnej, w przybliżeniu równoramiennej (mięśnie te tworzą zespół zwany triceps surae i łączą się przez ścięgno Achillesa). Pozostałe mięśnie działają na zasadzie dźwigni jednostronnej siłowej.

Częściej zespół działa po zmianie przyczepu ustalonego i ruchomego, np. podczas „wspięcia na palce” w fazie odbicia w chodzie czy biegu. W obu przypadkach podudzie ulega uniesieniu i oddaleniu od podłoża.

Punkt ciężkości przemieszcza się wtedy na stawy śródstopno-paliczkowe, ale duża siła reakcji podłoża (ciężar ciała i bezwładność) usiłują zgiąć stopę grzbietowo i mięśnie te muszą się jej przeciwstawić. Działa ono wtedy na zasadzie tych samych dźwigni pod względem kierunku, ale warunki pracy są siłowe.

Mięśnie te wykazują działanie paradoksalne przy opuszczaniu się na piętę oraz w fazie lądowania nogi wolnej w biegu, gdzie są czynnikami hamującymi i amortyzującymi.

Skurcze izometryczne — działanie statyczne — występuje podczas utrzymywania „wspięcia na palcach”.

Zginanie grzbietowe stopy (in. prostowanie) oraz zginanie podeszwowe stopy odbywa się dookoła osi poprzecznej, przechodzącej przez środek krzywizny bloczka kości skokowej. Oś ta przechodzi przez obie kostki — boczną i przyśrodkową.

Staw skokowy dolny, inaczej staw skokowo-piętowo-łódkowy

W skład tego stawu wchodzą połączenia między powierzchniami stawowymi przednimi kości piętowej i skokowej oraz między głową kości skokowej i kością łódkowatą. Panewkę stawu tworzy kość łódkowata i piętowa oraz rozpięte między nimi więzadło piętowo-łódkowe podeszwowe. Torebka stawowa przyczepia się do brzegów chrząstki, wzmacniają ją silne więzadła skokowo-piętowe boczne i przyśrodkowe. Duże znaczenie dla wzmocnienia tego stawu mają tutaj również więzadła stawu skokowo-goleniowego: trójgraniaste i piętowo-strzałkowe.

Staw poprzeczny stępu

Składa się ze stawu skokowo-łódkowego i piętowo-sześciennego.

Staw piętowo-sześcienny ma siodełkowate powierzchnie stawowe. Torebka stawowa otacza jamę stawu, przeważnie nie komunikując się z innymi stawami. Torebkę wzmacniają więzadła leżące na stronie podeszwowej i grzbietowej stopy. Staw poprzeczny stępu wzmacnia silne więzadło rozdwojone. Nieregularny kształt powierzchni stawowych kości, różnokierunkowość przebiegu szczelin stawowych oraz ograniczająca rola licznych więzadeł powodują skomplikowany układ wypadkowych osi różnych komponentów ruchu.

Dlatego stawy te zostaną omówione łącznie, co jest również związane z ich sprzężonymi ruchami.

Oś stawu skokowego dolnego biegnie skośnie od zewnętrznej strony guza piętowego przez głowę kości skokowej do przyśrodkowego brzegu stopy. Ruchy odbywające się w tych stawach to:

- odwracanie i nawracanie,
- odwodzenie i przywodzenie,
- zginanie i prostowanie — przy czym są one sprzężone w dwie kombinacje ruchów.

Nawracaniu towarzyszy odwiedzenie i prostowanie stopy, zaś odwracaniu — przywodzenie i zgięcie stopy. Wokół osi pionowej wykonuje się odwodzenie i przywodzenie, a wokół osi strzałkowej odwracanie i nawracanie stopy.

Ruchy odwodzenia i przywodzenia szczególnie dotyczą tylnych, poziomych części omawianych powierzchni stawowych; wynoszą one około 30 stopni. Ruchy obrotowe mają

również zakres około 30 stopni, a zachodzą specjalnie w przednich powierzchniach stawowych ustawionych pionowo.

Ruch przywodzenia sprzężony z odwracaniem wywołują mięśnie:

- brzuchaty łydki,
- płaszczkowaty (obydwa mięśnie działają tylko na staw skokowy dolny),
- piszczelowy tylny,
- piszczelowy przedni (z przewagą działania w stawie poprzecznym stępu),
- zginacz palucha długi,
- zginacz palców długi.

Przy współudziale:

- prostownika palucha długiego (działa tylko w stawie poprzecznym stępu),
- mięśnia podeszwowego (działa tylko na staw skokowy dolny).

Skurcz koncentryczny tej grupy występuje przy ruchach dowolnych stopą, a po odwróceniu przyczepu ruchomego i ustalonego — w kończynie, na której stronę następuje przechył boczny ciała. Ruch odwodzenia sprzężony jest z pronacją; wywołują go mięśnie:

- strzałkowy długi,
- strzałkowy krótki,
- prostownik palców długi,
- strzałkowy trzeci,
- oraz: piszczelowy przedni i prostownik palucha długi.

Skurcz koncentryczny obserwuje się w czasie np. odbicia nogi napędowej w jeździe na łyżwach. Skurcz ekscentryczny występuje przy przechyłach ciała w stronę przeciwną do rozpatrywanej kończyny, np. na statku.

Dalszą część stopy stanowią stawy płaskie, półścisłe, o szczelinach ułożonych czołowo i strzałkowo. Otoczone są licznymi więzadłami, łączącymi kości między sobą, umożliwiając tylko drobne ich przesunięcia i zabezpieczając przed spłaszczeniem łuków wysklepienia stopy. W stopie występuje więc połączenie odcinków o znacznej ruchomości z częścią o niewielkich możliwościach ruchowych, głównie amortyzacyjną.

Główna funkcja stopy ujawnia się jednak w fazie podporu, dlatego nacisk położony jest na zapewnienie sztywnego miejsca przyczepu mięśniom działającym w tej fazie. Inna część ruchów krocznych stopy odbywa się w dystalnym piętrze stawowym, tj. w stawach śródstopno-paliczkowych. Mechanikę tych stawów należy rozpatrywać łącznie.

Stawy śródstopno-paliczkowe

Anatomicznie dwuosiowe, są silnie spolaryzowane do ruchów w płaszczyźnie strzałkowej, tj. do zginania podeszwowego i grzbietowego (ok. 30 i 60 stopni). Tylko w położeniu zgięcia grzbietowego zachodzą słabe ruchy oddalania palców od osi długiej stopy wokół osi pionowej.

W stawach międzypaliczkowych (stawy zawiasowe) zachodzą ruchy zginania podeszwowego i powrót do pozycji normalnej, tj. równoległej do płaszczyzny podeszwy. Stawy śródstopno-paliczkowe są raczej bierne, ponieważ mięśnie działające w płaszczyźnie strzałkowej biegną ponad paliczkami bliższymi. Niezależność kierunku ruchu w stawach śródstopno-paliczkowych i międzypaliczkowych jest mocno ograniczona.

Najważniejszą rolą mięśni jest zapewnienie przez paliczki dobrej podstawy do odbicia stopy.

Ruch zgięcia podeszwowego palców II–V powodują mięśnie:

- zginacz palców długi (szczególnie paliczków dalszych),
- czworoboczny podeszwy (szczególnie paliczków dalszych),
- zginacz palców krótki (paliczki środkowe),
- odwodziciel palca małego (paliczek bliższy),
- glistowate (paliczki bliższe),
- międzykostne grzbietowe (paliczki bliższe),
- międzykostne podeszwowe (paliczki bliższe).

Ruchy zgięcia podeszwowego palucha wykonują mięśnie:

- zginacz długi palucha,
- zginacz krótki palucha,
- odwodziciel palucha.

Działanie tych mięśni skurczem koncentrycznym można spowodować jako ruch dowolny. Najczęściej są one angażowane po zmianie przyczepu ruchomego i ustalonego skurczem ekscentrycznym (np. krok kończyny podporowej) oraz izometrycznym (np. utrzymywanie postawy pionowej przy chwilowej tendencji do wychylenia środka ciężkości ciała do przodu).

Ruchy zgięcia grzbietowego palców II–V wywołane są przez mięśnie:

- prostownik palców długi,
- prostownik palców krótki.

Odpowiednie ruchy palucha:

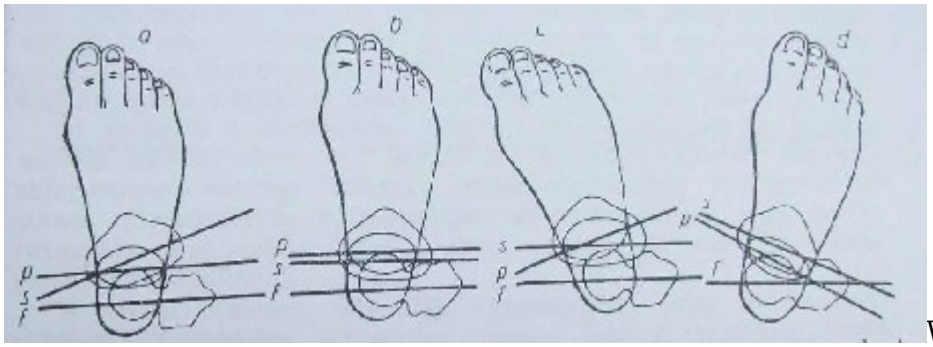
- prostownik długi palucha,
- prostownik krótki palucha.

Skurcze koncentryczne tych mięśni, poza ruchami dowolnymi, zachodzą np. w przenoszeniu i innych ruchach związanych ze zwijaniem kończyny dolnej. Po zmianie przyczepu ustalonego i ruchomego pomagają w fazie podporowej w przetaczaniu ciała nad stawami śródstopno-paliczkowymi.

Ustawienie stopy w zależności od ustawienia uda i podudzia

Często udo skręcone jest dookoła swej osi długiej do wewnątrz, a podudzie na zewnątrz. Zazwyczaj skręt uda i podudzia w znacznej mierze kompensują się wzajemnie, czego wynikiem jest prawie równoległe położenie osi stawu biodrowego i piszczelowo-skokowego.

Spotyka się też przewagę skrętu kości w jedną lub drugą stronę. Pociąga to za sobą ustawienie stopy do wewnątrz (chód „niedźwiedzi") lub na zewnątrz (chód „kaczy"). Skręt stopy w stosunku do uda może być skompensowany przez skręt uda w stawie biodrowym. Wymaga to jednak dodatkowej pracy mięśni i stwarza trudne warunki dla pełnowartościowego odbijania się.



Warianty skrętu kości kończyny dolnej: a) równomierny skręt uda i podudzia, b) osie stawów równoległe, c) przewaga skrętu podudzia, d) przewaga skrętu uda.

Bibliografia:

1. Zarys biomechaniki — wyd. AWF Warszawa, 1971, pod red. H. Szukiewicz

2. Zarys biomechaniki ćwiczeń fizycznych — Warszawa, 1977, Kazimierz Fidelus
3. Biomechanika ćwiczeń fizycznych — wyd. Sport i Turystyka, 1963, D. D. Doński
4. Anatomia człowieka — wyd. PZWL, 1983, pod red. J. Sokołowskiej-Pituchowej