

Anatomia funcional

Os 26 ossos do pé incluem 14 falanges, cinco metatarsais e sete tarsais. O pé pode ser dividido em três segmentos funcionais (Fig. 1.1). O segmento posterior, formado por tálus e calcâneo, é o ápice do pé e parte da articulação do tornozelo. Ele basicamente sustenta o corpo por sua articulação com a tibia, no encaixe do tornozelo. O calcâneo é a porção posterior do pé em contato direto com o solo.

O segmento médio do pé consiste de cinco ossos tarsais: o navicular, o cubóide e os três cuneiformes. Eles formam um romboide irregular. O segmento anterior contém cinco ossos metatarsais e 14 falanges, formando os dedos. Há duas falanges no hálux e três em cada um dos outros dedos.

ARTICULAÇÃO DO TORNOZELO

Os maléolos de tibia e fíbula formam o encaixe. Ele se encaixa no tálus, que funciona como uma dobradiça, embora o ângulo no encaixe seja lateralmente inclinado, já que o maléolo medial está anterior ao maléolo lateral no plano transversal (Fig. 1.2).

Ao caminhar, o peso do corpo é transmitido ao tálus pela tibia. O maléolo fibular forma o aspecto lateral do encaixe do tornozelo, mas não recebe carga.

O pé articula-se no encaixe em virtude da contração do tríceps sural (as duas cabeças do músculo gastrocnêmio e o músculo sóleo), que faz a *flexão plantar*, e os dois músculos crurais, que promovem a *dorsiflexão* (Fig. 1.3). A superfície superior do tálus é convexa, enquanto a superfície inferior da tibia é côncava, para permitir, assim, o deslizamento rotacional naquela articulação.

O corpo do tálus tem a forma de cunha, com a porção anterior mais alargada. Com a dorsiflexão do tornozelo no encaixe, a porção mais larga fica entre os dois maléolos e se acunha entre eles. A flexão plantar faz com que a menor porção posterior do tálus fique no encaixe, permitindo algum movimento lateral. Na posição plantar, o tálus executa um movimento que deixa a articulação “instável”, colocando todo o suporte sobre os ligamentos.

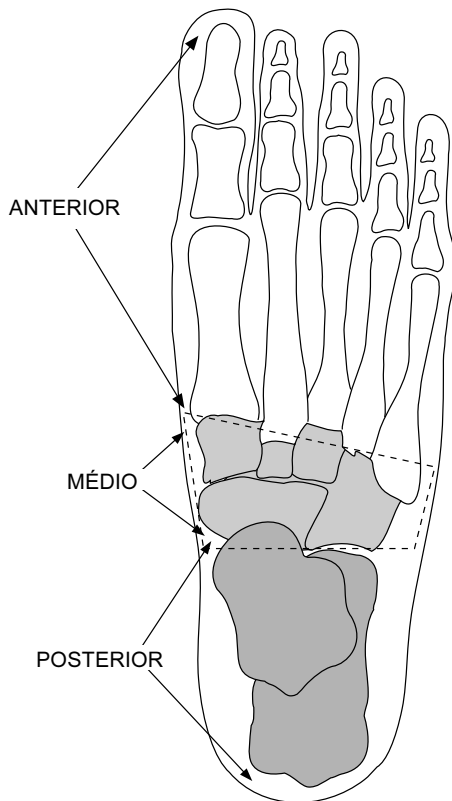


Figura 1.1 Os três segmentos funcionais do pé.

O encaixe do tornozelo é flexível, pois a tíbia e a fíbula se separam. Esta última ascende quando alargada a limites fisiológicos em virtude do ângulo oblíquo do ligamento tibiofibular (Fig. 1.3).

A dorsiflexão e a flexão plantar do tornozelo ocorrem sobre o eixo do corpo do tálus (Figs. 1.4 e 1.5). A linha do eixo passa a ponta da fíbula e está localizada centralmente entre as inserções dos ligamentos colaterais laterais (Fig. 1.6).

A articulação do tornozelo recebe o seu suporte mais forte a partir dos ligamentos colaterais. O ligamento colateral lateral sustenta o aspecto lateral do tornozelo, minimizando a inversão. Eles são compostos de três bandas: (1) ligamento talofibular anterior, que se origina no colo do tálus e se prende na ponta da fíbula (Fig. 1.7); (2) ligamento calcaneofibular, a partir do calcâneo até a ponta da fíbula; e (3) ligamento talofibular posterior, do corpo do tálus até a ponta da fíbula.

O ligamento talofibular anterior e o calcaneofibular são os mais frequentemente lesionados nas torções em *inversão* do tornozelo. Isso porque, com o pé em flexão plantar, o tálus é mais instável no encaixe do tornozelo e, portanto, mais dependente do suporte ligamentar.

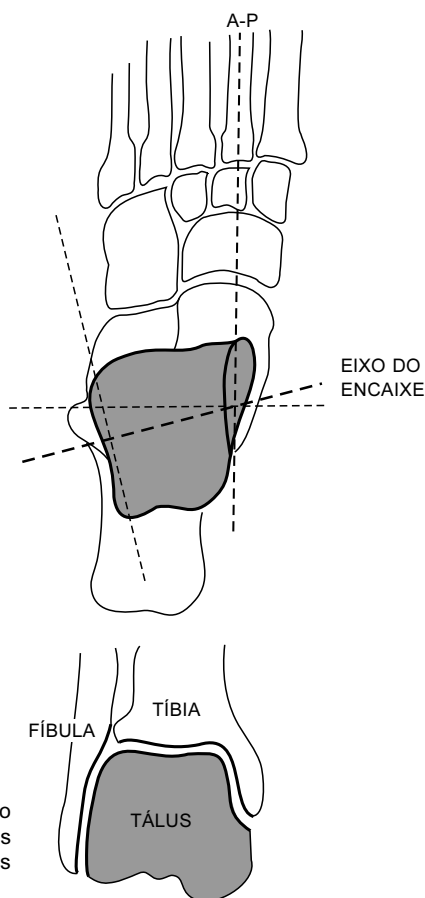


Figura 1.2 Vista superior do tálus. Visto por cima, o tálus apresenta-se sob a forma de cunha, sendo mais largo anteriormente. Ele se encaixa entre os maléolos tibial e fibular, que formam o encaixe do tornozelo.

O aspecto medial da articulação do tornozelo é firmemente sustentado pelos ligamentos colaterais mediais, o ligamento *deltóide*. Este é composto de quatro bandas: (1) tibionavicular, (2) talotibial anterior, (3) calcaneotibial e (4) talotibial posterior. Essas bandas partem do maléolo medial até o navicular, ao sustentáculo e ao aspecto posterior do tálus. O ligamento deltóide é forte e resiste a significativas lesões de eversão.

O eixo de rotação, mencionado anteriormente (ver Figs. 1.3 e 1.4), influencia a estabilidade dos ligamentos colaterais (ver Fig. 1.5). O eixo de rotação situa-se na ponta da fíbula, por isso fica central a todas as bandas do ligamento colateral. Isso permite a elas permanecerem retesadas em todos os movimentos. A extremidade medial desse eixo de rotação é excêntrica em relação ao local de inserção de todas as bandas mediais do ligamento deltóide. O ligamento medial posterior retesa-se em dorsiflexão, e o ligamento medial anterior, em flexão plantar. Isso restringe a amplitude de movimento da dorsiflexão, mas o ligamento não sofre lesão, uma vez que as bandas ligamentares mediais são muito fortes.

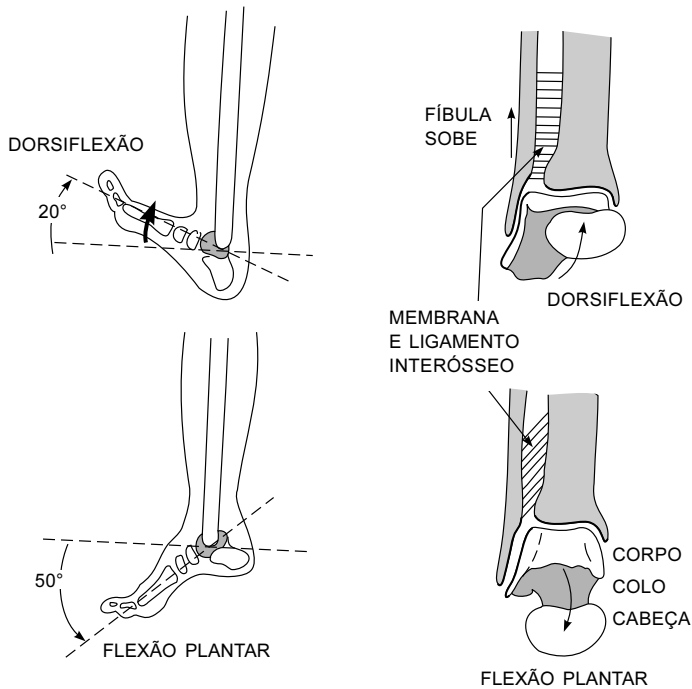


Figura 1.3 Movimentos do tálus no encaixe. O pé sofre dorsiflexão e flexão plantar no encaixe do tornozelo. Quando o pé faz a dorsiflexão, a porção anterior e mais alargada do tálus acunha-se no encaixe, alargando o espaço articular talofibular e fazendo com que o ligamento talofibular fique horizontal. Isso limita o grau de dorsiflexão. Quando o pé faz a flexão plantar, a porção posterior estreita do tálus se apresenta dentro do encaixe; a articulação talofibular se estreita, quando o ligamento interósseo retorna a sua direção oblíqua normal.

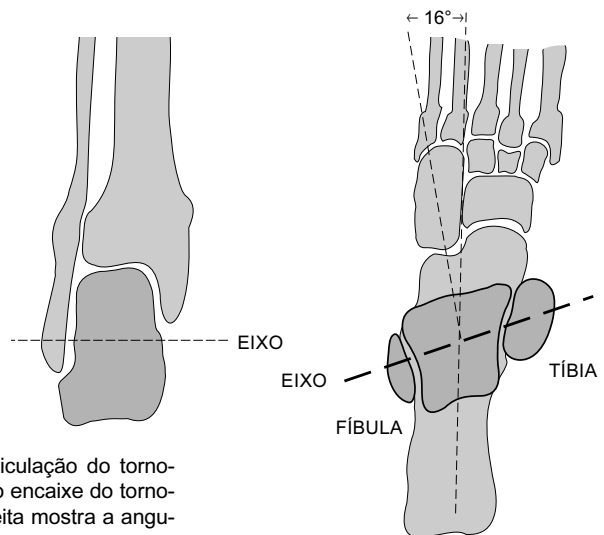


Figura 1.4 Eixo de rotação da articulação do tornozelo. A figura da esquerda mostra o encaixe do tornozelo e os maléolos. A figura da direita mostra a angulação de 16° do tálus no encaixe.

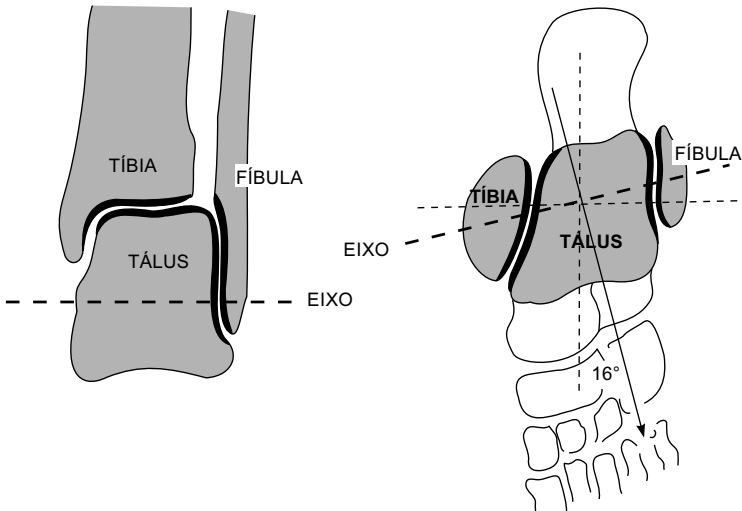


Figura 1.5 Relação entre o encaixe do tornozelo e o tálus. À esquerda, vista anterior do eixo de rotação do tálus no encaixe do tornozelo, através da tíbia. À direita, visto de cima, o eixo passa anteriormente à fíbula, em 16° de rotação externa dos dedos do pé.

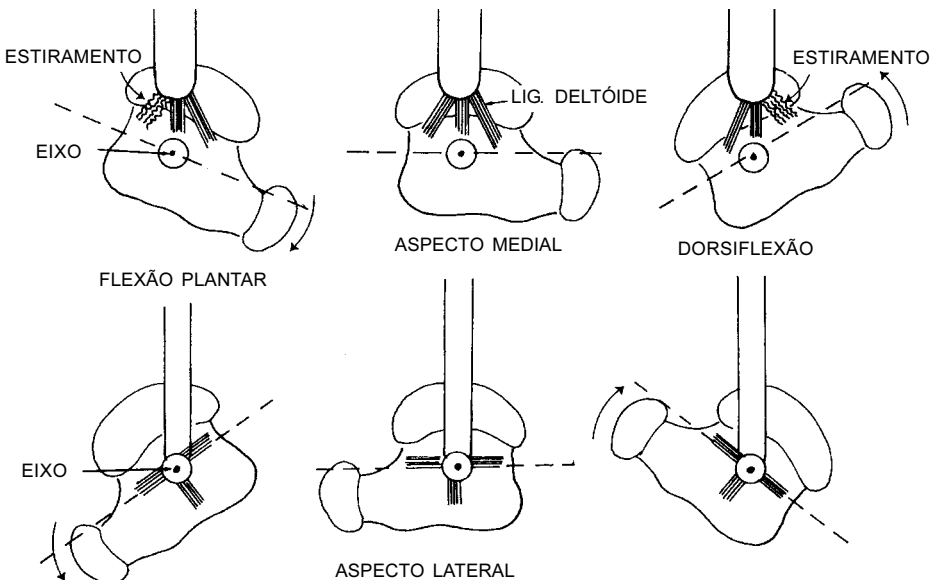


Figura 1.6 Relação dos ligamentos colateral medial e lateral e do eixo de movimento de rotação do tornozelo. A série superior de desenhos mostra o aspecto medial do tornozelo: a tíbia sobre o tálus. O eixo de rotação é excêntrico até a ponta da tíbia. Com a dorsiflexão do tornozelo, os ligamentos colaterais anteriores afrouxam. A flexão plantar afrouxa os ligamentos colaterais posteriores. A série inferior de desenhos mostra o aspecto lateral: da fíbula até o tálus. O eixo de rotação está diretamente na ponta distal da fíbula, o que faz com que os ligamentos colaterais permaneçam retesados durante todo o movimento do tornozelo.

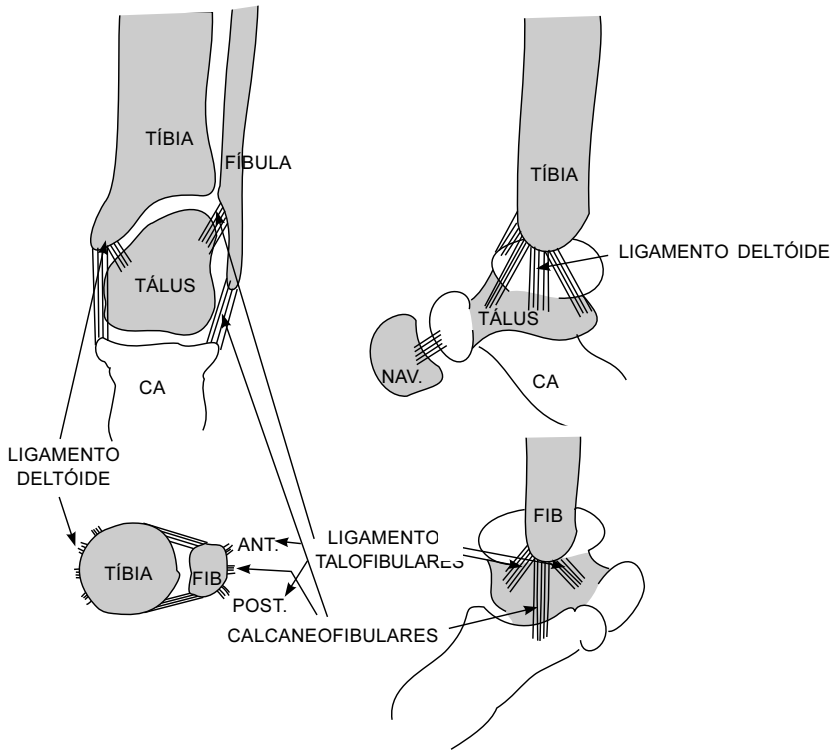


Figura 1.7 Os ligamentos colaterais da articulação do tornozelo. Os ligamentos da articulação do tornozelo unem a tíbia e a fíbula (FIB) ao tálus e ao calcâneo (CA). Os ligamentos são denominados de acordo com os dois ou mais ossos que conectam. NAV é o osso navicular. A figura superior à esquerda é a vista posterior; a superior à direita, a vista medial; a inferior à esquerda, a vista superior; e a inferior à direita, a vista lateral.

ARTICULAÇÃO TALOCALCÂNEA

Grande parte da inversão e eversão do pé atinge essa articulação. Todo o corpo e parte da cabeça do tálus estão nos dois terços anteriores do calcâneo, dividido em três áreas: (1) o terço posterior, que tem a forma de uma sela; (2) o terço anterior, que forma uma superfície horizontal; e (3) o terço intermediário, que forma um plano inclinado entre as duas outras áreas.

A articulação talocalcânea (subtalar) contém várias articulações em diferentes planos, para permitir o movimento simultâneo em diferentes direções (Fig. 1.8). A articulação posterior sobre a superfície superior do calcâneo é convexa, ao passo que a superfície articular no aspecto inferior do tálus é côncava. Essa relação permite a inversão e a eversão. A maior parte da inversão e da eversão do tornozelo se processa na articulação talocalcânea quando o tálus é “bloqueado” no encaixe do tornozelo.

Todo o corpo e parte da cabeça do tálus ficam sobre os dois terços anteriores do calcâneo e se projetam levemente na sua frente (Fig. 1.9).

As facetas anteriores da articulação subtalar (ver Fig. 1.8) consistem de duas facetas similares sobre os aspectos superior do calcâneo e inferior do corpo e colo do tálus. As facetas do tálus são convexas, as do calcâneo são côncavas, o oposto das facetas posteriores.

Um sulco profundo, o *seio do tarso* (ver Fig. 1.8), separa as facetas posteriores das facetas médias. No interior do seio fica o ligamento *interósseo calcâneo*, formado por duas bandas: (1) a banda interóssea e (2) a banda talocalcânea lateral.

LIGAMENTOS DA ARTICULAÇÃO TALOCALCÂNEA

Há dois principais ligamentos conectando o tálus ao calcâneo:

1. O ligamento talocalcâneo interósseo – relativamente fraco.
2. O ligamento talocalcâneo lateral – meramente um feixe.

Por serem ligamentos fracos, a articulação talocalcânea é mais habilmente reforçada por:

3. Porção calcaneofibular do ligamento lateral do tornozelo.
4. Porção calcaneotibial do ligamento medial (deltóide) da articulação do tornozelo.

O suporte é também provido pelos tendões dos músculos fibular longo, fibular curto, flexor longo do hálux, tibial posterior e flexor longo dos dedos.

Todos os tendões que cruzam o eixo da articulação passam para a frente, inserindo-se no pé: quatro tendões anteriores ao eixo articular e cinco posteriores¹. Esses ligamentos e superfícies articulares resistem ao deslocamento anterior da perna sobre o pé e o tornozelo (Fig. 1.10).

A articulação talocalcânea é dividida pelo ligamento interósseo em porções posterior e anterior. A articulação talocalcânea posterior tem cavidade sinovial, sendo conhecida como *articulação subtalar*. A articulação talocalcânea anterior divide a cavidade sinovial com a articulação talonavicular, a *articulação talocalcaneonavicular*.

Esta última é formada superiormente pela superfície posterior do navicular; por baixo, pelas facetas média e anterior do tálus; e entre o navicular e o sustentáculo, por um firme ligamento, o calcaneonavicular plantar, chamado de “mola” (Fig. 1.11).

O ligamento talocalcâneo interósseo corre no comprimento do túnel do tarso, o qual, na sua extremidade fibular, se espessa em banda fibrosa, que conecta os dois pequenos tubérculos opostos entre o tálus e o calcâneo. Essa banda firme, o *ligamento cervical*, permite alguma rotação.

O ligamento talocalcâneo interósseo corre perpendicularmente ao eixo subtalar e o ligamento cervical fica lateralmente. Assim, o ligamento talocalcâneo fica tenso durante a inversão do pé e frouxo na eversão. Esse movimento melhora a estabilidade do pé supinado, com o objetivo de manter o pé estável. Clinicamente, quando o pé é invertido, esse ligamento pode ser palpado na grande abertura do canal do tarso, logo anterior ao maléolo fibular.

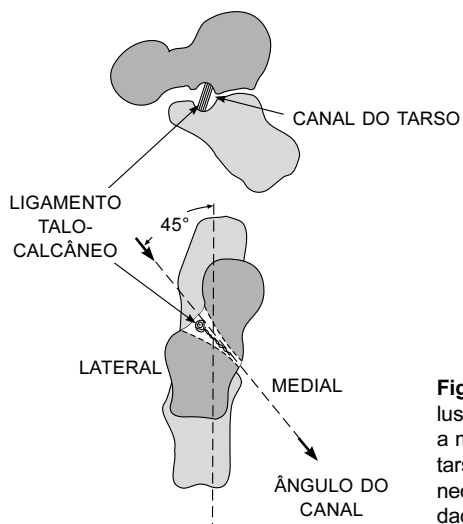


Figura 1.8 A articulação subtalar (talocalcânea). O tálus e o calcâneo são unidos por três facetas: a anterior, a média e a posterior. No seu curso oblíquo, o seio do tarso (túnel do tarso)* contém o ligamento talocalcâneo, que une os dois ossos. A extremidade arredondada do ligamento é o ligamento cervical.

Figura 1.9 Aspecto lateral da articulação talocalcânea. O tálus (T) é dividido em corpo (B), colo (N) e cabeça (H). Ele se articula com o calcâneo (C). Há o seio do tarso (ST) entre eles. O tendão do calcâneo (TC) prende-se ao aspecto posterior do calcâneo.

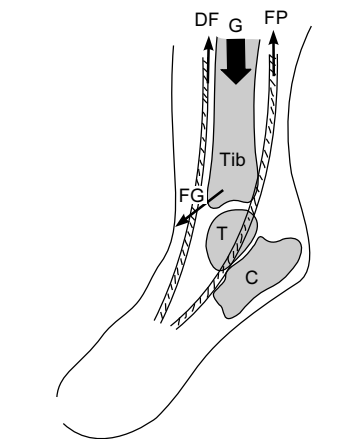
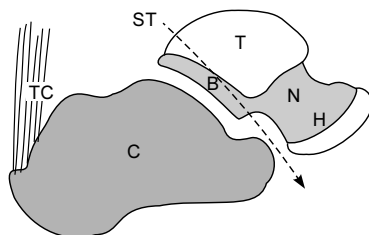


Figura 1.10 Prevenção do cisalhamento anterior da perna sobre o pé. Os ligamentos e músculos (dorsiflexores [DF] e flexores plantares [FP]) da perna (tibia [Tib]) evitam o cisalhamento anterior (deslizamento para a frente [FG]), que é iniciado pela gravidade (G) e pelo movimento de rotação para baixo do tálus (T) sobre o calcâneo (C). (Modificado de Basmajian, JV: *Grant's Method of Anatomy*, ed. 8, The Williams & Wilkins Co., Baltimore, 1971, p 406)

* N. de R.T. Embora este autor considere o seio e o canal do tarso como sinônimos, é importante sabermos que para muitos autores o seio do tarso corresponde ao espaço entre o tálus e o calcâneo e que contém o ligamento talocalcâneo ao passo que o túnel do tarso corresponde ao espaço situado medialmente abaixo do retináculo dos flexores e que contém estruturas vasculonervosas e tendíneas.

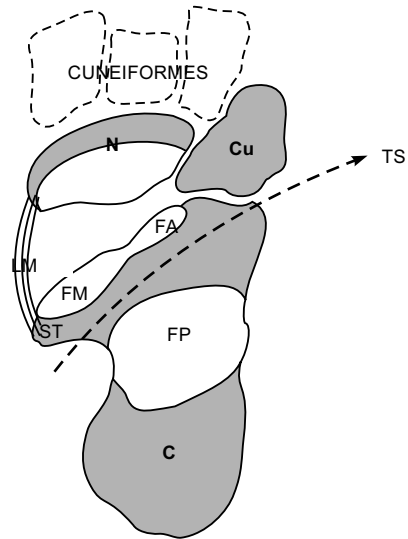


Figura 1.11 O leito para o tálus no calcâneo: o ligamento mola (vista de baixo sobre o calcâneo [C], com o tálus removido). O navicular (N) mostra a faceta que se articula com a cabeça do tálus. A faceta média (FM), a faceta anterior (FA) e a faceta posterior (FP) formam as bordas do seio do tarso (TS). O sustentáculo talar (ST) é o local de inserção do ligamento mola (LM). O cubóide (Cu) e os cuneiformes são mostrados para orientação.

Pequenos processos ósseos (Fig. 1.12) localizados no aspecto inferior do corpo do tálus colidem com um tubérculo oposto ao calcâneo, limitando a inversão e a eversão.

ARTICULAÇÃO TRANSVERSA DO TARSO

A articulação transversa do tarso consiste das articulações talonavicular e calcaneocubóidea (Fig. 1.13). Essa articulação, também chamada de “articulação tarsal dos cirurgiões”, articulação mediotarsal ou de Chopart, é um local freqüente de amputação do pé.

Os movimentos do pé requerem a definição, bem como o local articular:

Supinação e pronação são rotações no eixo longo (ântero-posterior) do pé.

Adução e abdução são movimentos horizontais da parte anterior do pé, para longe do eixo sagital.

Inversão e eversão são a rotação da planta do pé em direção à planta oposta. A inversão combina supinação e adução, e a eversão é uma combinação de pronação e abdução. A inversão e a eversão são movimentos de “todo o pé”, mas o tálus ainda envolve todas as articulações abaixo e em frente a si: também na parte anterior do pé até a parte posterior.

ARTICULAÇÃO TALONAVICULAR

A cabeça arredondada do tálus encaixa-se na superfície abobadada do navicular. O movimento é a rotação em um eixo através do tálus, que corre para a frente, para baixo e medialmente. A superfície articular do tálus é mais larga que a superfície articular do

navicular, por isso permite um deslizamento significativo na articulação talonavicular, promovendo inversão e eversão. Os dois músculos da inversão (os tibiais anterior e posterior) e os três da eversão (fibulares) inserem-se em frente à articulação tarsal transversa.

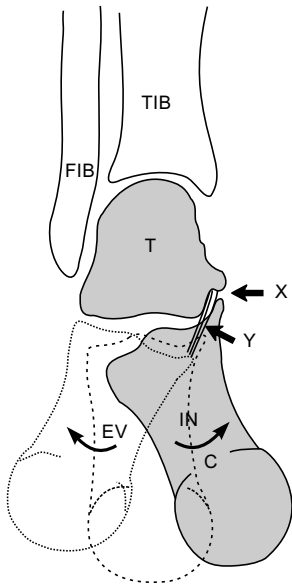


Figura 1.12 Movimento da articulação subtalar (talocalcânea). O tálus (T) está fixo dentro do encaixe da tíbia (TIB) e da fíbula (FIB). Ele se articula sobre o calcâneo (C). Embora de forma limitada, ocorre algum movimento lateral nessa articulação. Um processo ósseo do aspecto inferior e lateral do corpo do tálus (X) colide sobre o processo superior do calcâneo, limitando a inversão (IN). A eversão (EV) é limitada por um ligamento entre esses dois processos (Y).

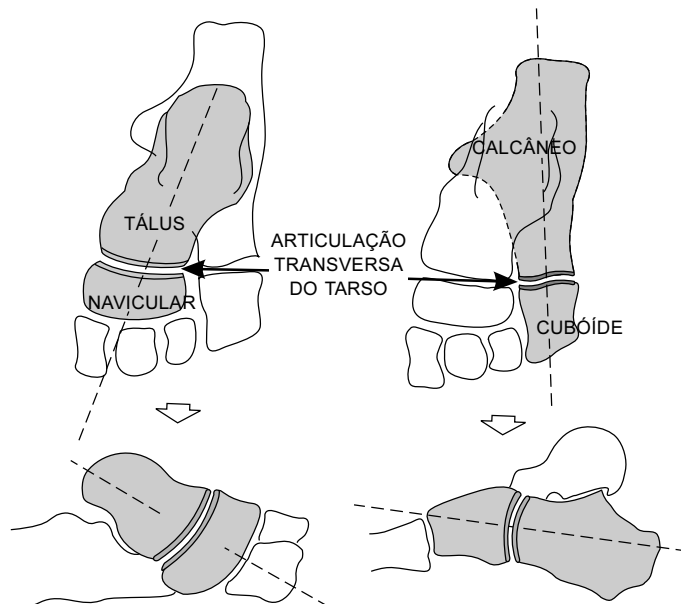


Figura 1.13 Articulação transversa do tarso.

ARTICULAÇÃO CALCANEOCUBÓIDEA

Essa articulação é acessória na inversão e na eversão. A superfície anterior do calcâneo é arredondada (convexa) medialmente e a superfície posterior do cubóide é côncava. As duas unem-se por dois ligamentos: os plantares longo e curto (Fig. 1.14). O primeiro estende-se da superfície plantar do calcâneo até a crista do cubóide. Suas fibras mais superficiais inserem-se nas bases do segundo, terceiro, quarto e, ocasionalmente, quinto metatarsais. Essas fibras convertem o sulco do cubóide em um túnel com o tendão do músculo fibular longo. Este último, por sua vez, procede distalmente por um sulco na base do quinto osso metatarsal.

O ligamento plantar curto estende-se do tubérculo anterior do calcâneo até o cubóide. Esse ligamento, especificamente, une a articulação calcaneocubóideia.

OS ARCOS DO PÉ

O segmento funcional médio (ver Fig. 1.1) consiste de cinco ossos tarsais: o navicular, o cubóide e os três ossos cuneiformes. Sua configuração e seus firmes ligamentos interósseos formam um arco rijo, em que o cuneiforme funciona como o esteio (Fig. 1.15). Esses ossos no arco constituem articulações “lado a lado” sustentadas por ligamentos (Fig. 1.16).

O *arco longitudinal lateral* do pé (Fig. 1.17) é formado pelo calcâneo, pelo cubóide e pelos quarto e quinto ossos metatarsais. Ele é pequeno e suporta o peso da passada na fase inicial, antes que o pé realize pronação para colocar o peso sobre o arco medial (ver “Marcha”, Capítulo 3). Ele pode achatarse o gínglimo entre o cubóide e os quarto e quinto ossos metatarsais.

O *arco longitudinal medial* do pé é formado pelo calcâneo, pelo tálus, pelo navicular, por três cuneiformes e por três metatarsais mediais. É mais alto que o lateral, tendo seu ápice nas cabeças do tálus e do navicular. O tendão tibial posterior (Fig. 1.18),

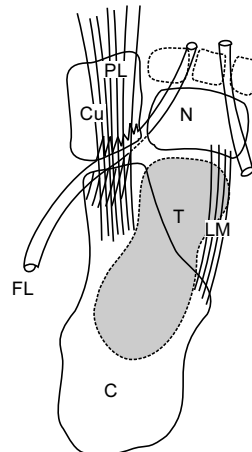


Figura 1.14 Os três ligamentos plantares. O ligamento plantar longo (PL) estende-se da superfície plantar do calcâneo (C) até o cubóide; suas fibras superficiais estendem-se até as bases do segundo, terceiro, quarto e quinto metatarsais (não-mostrado). Essas fibras convertem um sulco no cubóide em um túnel para o tendão fibular longo (FL). O ligamento plantar curto (não-rotulado) estira-se a partir do tubérculo anterior do calcâneo até o cubóide. O ligamento mola conecta o calcâneo ao navicular.

que se insere nos segundo, terceiro e quarto ossos metatarsais, após passar sob o ligamento da base da mola, pode atuar como suporte para o arco. O arco medial pode achatarse no gínglimo entre o tálus e o osso navicular.

Os arcos transversos do pé (ver Fig. 1.15) incluem o arco metatarsal posterior, criado pelas bases dos ossos metatarsais e também razoavelmente firme. O arco metatarsal anterior é flexível e se achata nas fases de carga da marcha e na pronação e supinação.

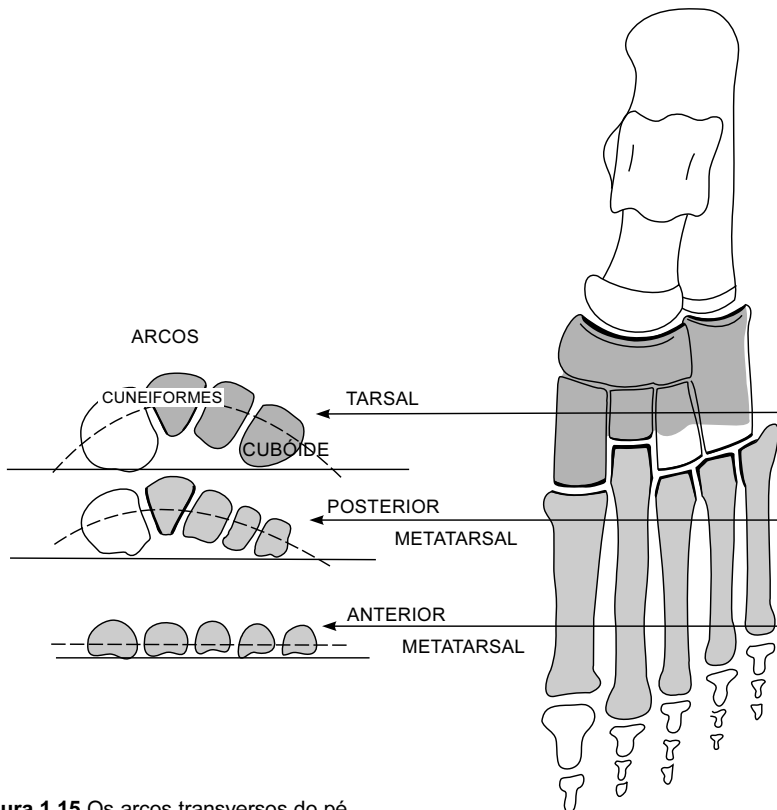


Figura 1.15 Os arcos transversos do pé.

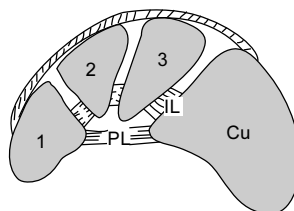


Figura 1.16 Ligamentos articulares laterais sustentando o arco tarsal. Os ligamentos conectam o cubóide e os três cuneiformes lado a lado.

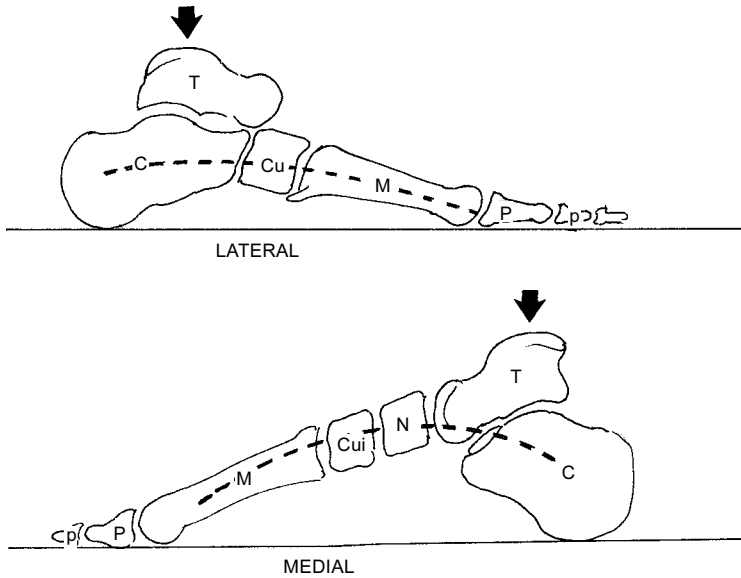


Figura 1.17 Os arcos longitudinais. Visto lateralmente, o arco longitudinal consiste do calcâneo (C), do cubóide (Cu) e do metatarsal (M). As falanges (P e p) não estão no arco. O talus (T) suporta o peso do corpo (seta). O arco longitudinal medial é formado pelo calcâneo (C), pelo talus (T), pelo navicular (N), pelos cuneiformes (Cui) e pelos três metatarsais mediais (M).

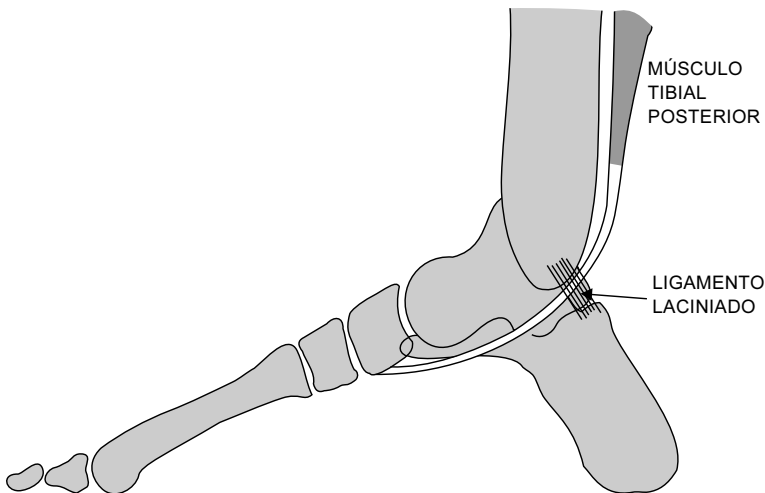


Figura 1.18 Tendão tibial posterior. O músculo tibial posterior origina-se dos dois terços superiores da membrana interóssea e dos ossos de cada lado da membrana. Seu tendão inclina-se medialmente para alcançar a fossa atrás do maléolo medial, onde é coberto pelo ligamento laciniado, formando um túnel. O resultado é a produção de um efeito em polia para o tendão, que se insere na base do segundo, terceiro e quarto metatarsais. Suas ações são a flexão plantar e a inversão do pé.

ARTICULAÇÕES DISTAIS À ARTICULAÇÃO TRANSVERSA

A margem anterior do segmento médio não apresenta borda reta articulada com as bases dos metatarsais. O segundo cuneiforme é menor e levado para trás, o que forma endentação acunhada à base do segundo metatarsal.

O segundo osso metatarsal, estando acunhado entre o primeiro e o terceiro cuneiformes, pode mover-se apenas em direção flexão-extensão plantar. As bases do terceiro, quarto e quinto metatarsais têm forma oblíqua, permitindo movimento rotatório do terceiro sobre o segundo, do quarto sobre o terceiro e do quinto sobre o quarto. O quinto metatarsal faz contato somente na base do quarto. Já o cubóide proximalmente move a maior parte da angulação, permitindo o “acoplamento” dos outros metatarsais, o que aumenta seus arcos de curvatura.

O primeiro metatarsal é o mais espesso e o mais curto dos cinco ossos metatarsais. Sua base apresenta-se sob a forma de rim, que se articula na área distal do cuneiforme. Tal sistema permite não apenas flexões dorsal e plantar, mas também rotações sobre a base do segundo osso metatarsal e sobre o primeiro cuneiforme. Os tendões tibial anterior e fibular longo prendem-se na superfície plantar do primeiro metatarsal (Fig. 1.19).

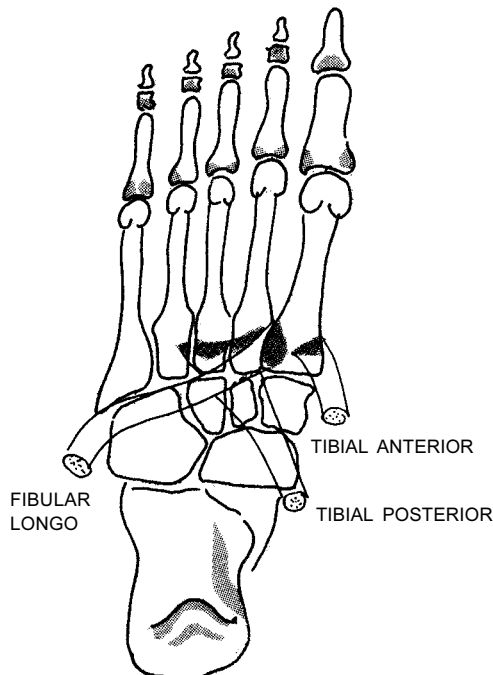


Figura 1.19 Inserções tendíneas no primeiro osso metatarsal. Visto da superfície plantar, o tendão tibial anterior prende-se ao aspecto medial da base do primeiro metatarsal. O tendão fibular longo prende-se ao aspecto lateral do primeiro metatarsal. O tendão tibial posterior prende-se nas bases do segundo, terceiro e quarto metatarsais.

Sob a cabeça do primeiro metatarsal aparecem duas pequenas facetas sobre as quais se articulam dois pequenos ossos sesamóides. Estes, equivocadamente chamados de ossos “acessórios”, são incorporados nos tendões do flexor curto do hálux e atuam como fulcro na função dos tendões. Também sustentam carga.

O comprimento projetado para a frente dos metatarsais segue uma seqüência de $2 > 3 > 1 > 4 > 5$. A cabeça do segundo metatarsal normalmente protrui mais longe, com o primeiro metatarsal sendo mais curto que o terceiro (Fig. 1.20). O encurtamento excessivo do primeiro metatarsal, por qualquer razão, pode ter significado patológico, uma vez que isso faz com que a cabeça do segundo metatarsal receba carga excessiva na marcha.

ARTICULAÇÕES METATARSOFALÂNGICAS

As falanges articulam-se sobre as amplas superfícies articulares convexas dos metatarsais com característica deslizante (Fig. 1.21). A cobertura cartilaginosa das cabeças metatarsais estende-se a partir da superfície plantar destas até os seus dorsos, permitindo a dorsiflexão excessiva dos dedos. Na marcha normal, o dedo maior “hiperestende” a cada passo, o que permite estimar que realiza esse movimento 900 vezes durante uma caminhada de 1,6 quilômetros.

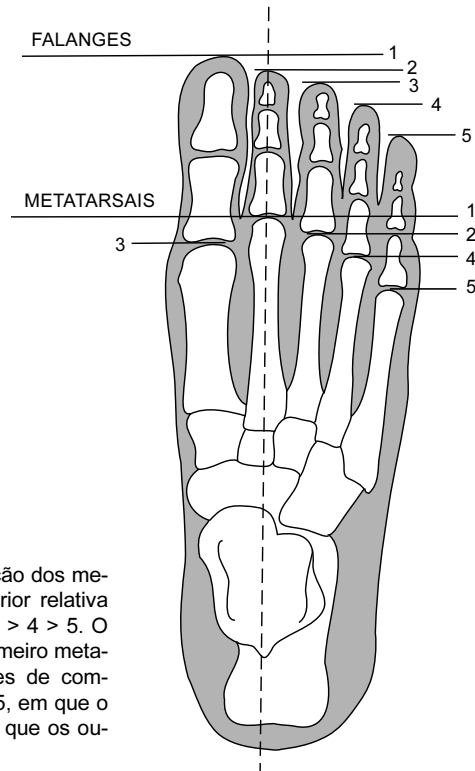


Figura 1.20 Comprimento relativo da projeção dos metatarsais e das falanges. A protrusão anterior relativa dos metatarsais segue o padrão: $2 > 3 > 1 > 4 > 5$. O segundo metatarsal é o mais longo. Já o primeiro metatarsal é o terceiro mais longo. Os padrões de comprimento das falanges são $1 > 2 > 3 > 4 > 5$, em que o primeiro dedo protrui mais para a frente do que os outros que estão em seqüência.

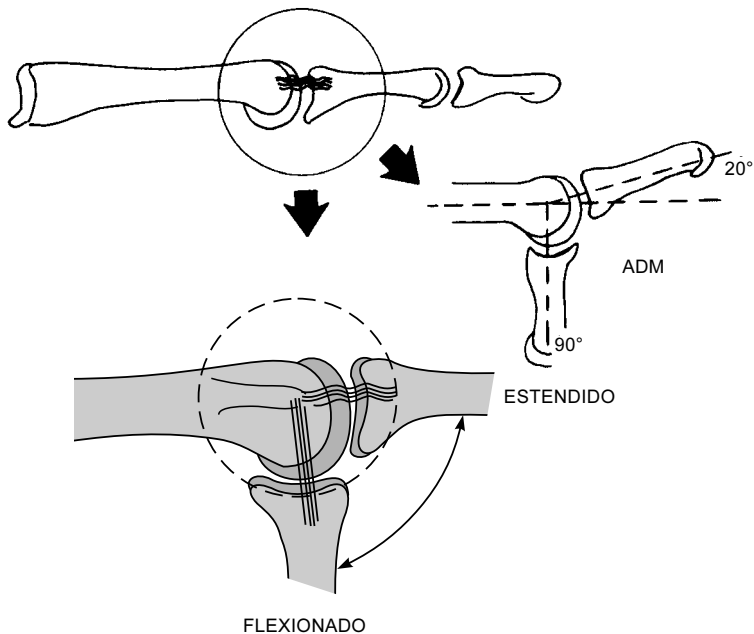


Figura 1.21 Articulações metatarsofalângicas. Como resultado do raio de rotação excêntrico sobre o eixo da cabeça do metatarsal (linha tracejada), a flexão da falange é possível em mais de 90°. Contudo, pelo fato de haver cartilagem no aspecto superior da cabeça metatarsal, é possível a hiperextensão da articulação.

Há duas falanges no primeiro dedo (hálux) e três nos outros. Para amplitude de movimento adequada, os dedos devem ficar em alinhamento apropriado, com as cápsulas flexíveis e os tendões de comprimento também adequado em suas bainhas (Fig. 1.22).

A projeção óssea metatarsal – 2 > 3 > 1 > 4 > 5 – difere da projeção das falanges, que é normalmente 1 > 2 > 3 > 4 > 5, com o dedo maior projetando-se mais longe (ver Fig. 1.20).

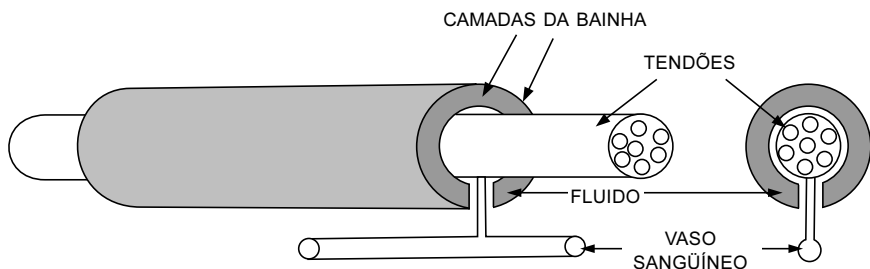


Figura 1.22 Bainha do tendão (esquema). A bainha do tendão tem duas camadas – parietal e visceral – entre as quais há fluido sinovial funcionando como lubrificante. O suprimento sanguíneo ao tendão flui por um pequeno vaso que penetra por uma dobra na bainha.

Os tendões atuam de forma diferente sobre as falanges do primeiro dedo em comparação aos dos outros quatro. O primeiro dedo tem apenas duas falanges; a distal é “pressionada para baixo” contra o solo quando flexionada (Fig. 1.23). Os outros dedos têm três falanges, com os tendões cruzando as três articulações, fazendo com que eles “agarrem” a superfície do solo.

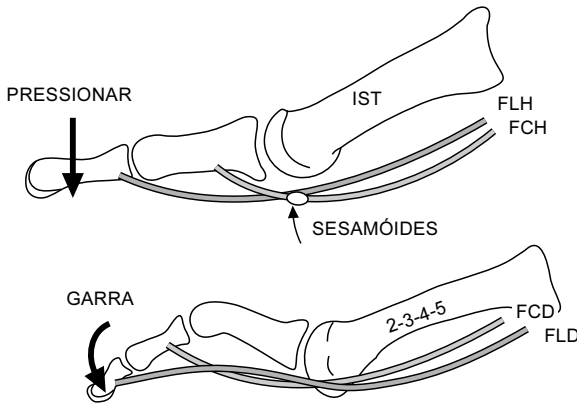


Figura 1.23 Ação dos tendões flexores. Os tendões do hálux cruzam duas articulações e assim atuam ao “pressionar” a falange distal contra o solo. Os ossos sesamóides estão incorporados nos tendões do flexor curto do hálux (FCH) e atuam como fulcro para a ação flexora. Os tendões flexores dos outros dedos cruzam três articulações e formam uma “garra” no solo. Essa ação é realizada pelos flexores curto (FCD) e longo (FLD) dos dedos. FLH é o flexor longo do hálux.

MÚSCULOS

Os músculos que se originam* fora do pé e atuam nele constituem os músculos “extrínsecos” do pé (Figs. 1.24 e 1.25). Já os “intrínsecos” se originam e inserem-se dentro do pé (Figs. 1.26 até 1.29).

Dentre os principais músculos extrínsecos estão os flexores plantares, gastrocnêmio e sóleo. O *gastrocnêmio* origina-se acima do joelho por duas cabeças, cada qual conectada a um côndilo femoral. Na metade do caminho para a perna, o gastrocnêmio termina em um tendão achatado, o *tendão do calcâneo*, que se prende ao aspecto posterior do calcâneo. Com o pé recebendo carga, o músculo gastrocnêmio-sóleo eleva o calcanhar do solo. Com a perna elevada, ele faz a flexão plantar do pé sobre a perna. Em razão do ângulo oblíquo

* Os termos *origem* e *inserção* são empregados na maioria dos livros-texto para descrever a ação muscular com o apêndice distal livre para se mover enquanto o tendão e seu músculo são direcionados. Essa descrição varia conforme o músculo. Por exemplo, quando o pé é firmado ao solo, a ação muscular indica que os músculos da perna “originam-se” do pé e se inserem na perna. Quando a perna se move durante a fase do balanceio, os músculos “originam-se” da perna e se “inserem” no pé.

do encaixe do tornozelo (Fig. 1.5), o músculo gastrocnêmio-sóleo é considerado um potente supinador da articulação subtalar com o pé firme sobre o solo.

O músculo *sóleo* fica sob o gastrocnêmio e origina-se a partir da parte superior da tíbia e da fíbula, abaixo da articulação do joelho. Também atua sobre o pé e, diferentemente do gastrocnêmio, um músculo biarticular, o sóleo não tem a capacidade de flexionar o joelho. Ele termina na porção profunda do tendão do calcâneo, na metade do caminho da perna.

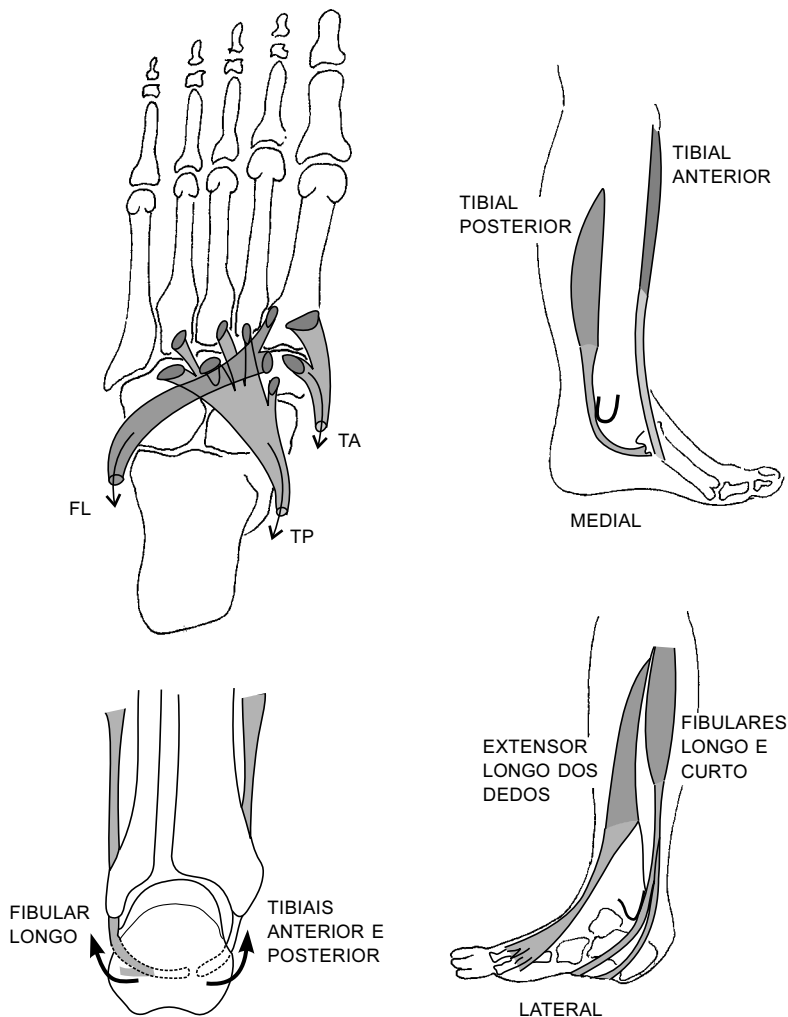


Figura 1.24 Musculatura extrínseca do pé. São mostradas origem, direção e inserção dos músculos extrínsecos que atuam sobre o pé. O tibial anterior (TA) e o tibial posterior (TP) são músculos mediais que invertem o pé. O fibular longo (FL) everte o pé. Tanto o tibial posterior quanto o fibular longo promovem a flexão plantar do pé. O extensor dos dedos e o tibial anterior fazem a dorsiflexão.

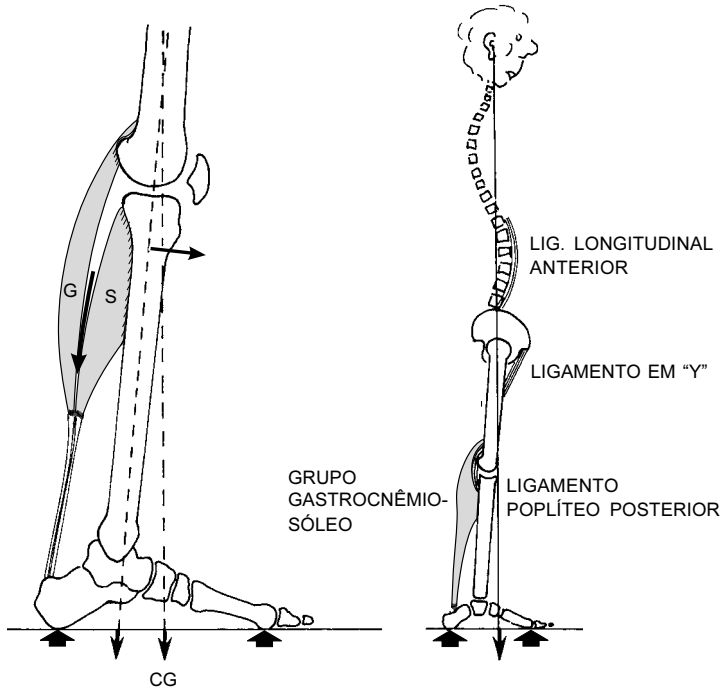


Figura 1.25 Esforço muscular na posição relaxada de pé com apoio bilateral. Ao ficar-se em bipedestação de forma relaxada, a coluna inclina-se sobre o ligamento longitudinal anterior, o quadril sobre o ligamento iliofemoral (Y) e os joelhos estendem-se para inclinar-se sobre os ligamentos poplíteos posteriores. O gastrocnêmio-sóleo deve manter o tônus para tracionar para trás as pernas, porque o centro de gravidade cai aproximadamente 3° para a frente do tálus. A postura ereta relaxada é principalmente ligamentar, tendo apenas o grupo gastrocnêmio-sóleo ativo. (De Cailliet, R: *Low Back Pain Syndrome*, ed. 3. F. A. Davis, 1968, com permissão.)

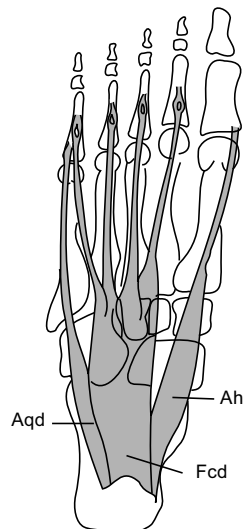


Figura 1.26 Músculos intrínsecos da sola do pé: primeira camada. Aqd = abductor do quinto dedo; Ah = Abductor do hálux; Fcd = flexor curto dos dedos.

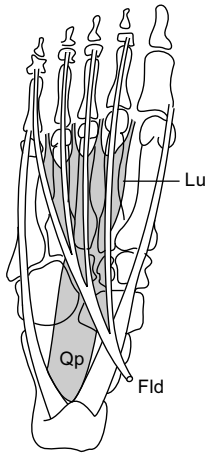


Figura 1.27 Músculos intrínsecos da sola do pé: segunda camada. Qp = quadrado plantar; Lu = lumbricais; Fid = flexor longo dos dedos.

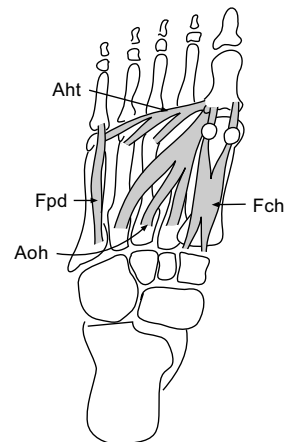


Figura 1.28 Músculos da sola do pé: terceira camada. Aht = adutor do hálux, cabeça transversa; Aoh = adutor do hálux, cabeça oblíqua; Fch = flexor curto do hálux; Fqd = flexor curto do quinto dedo.

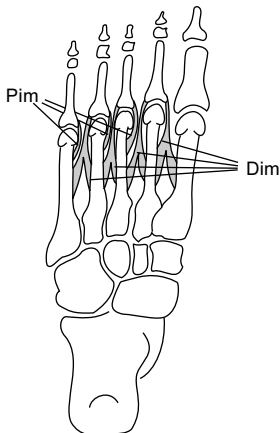


Figura 1.29 Músculos intrínsecos da sola do pé: quarta camada. Pim = músculos interósseos plantares; Dim = músculos interósseos dorsais.

Com o pé fixo sobre o solo, o grupo gastrocnêmio-sóleo muda a sua relação de origem e inserção. O pé passa a ser origem, e os músculos movem a tibia para trás. Com o joelho fixo, o sóleo torna-se o principal flexor plantar do tornozelo. Nesse caso, fica sem função.

Todos os tendões que passam atrás dos maléolos são considerados flexores plantares. Medialmente eles são o tibial posterior, os flexores longos dos dedos e do hálux. Lateralmente esses músculos são os fibulares longo e curto. Esses músculos exercem somente 5% da força necessária para elevar o calcanhar do solo. O grupo gastrocnêmio-sóleo é o movimentador primário.

Conforme mencionado, os flexores longos dos dedos garantem a firme pressão dos dedos sobre o solo. Além disso, pelo fato de correrem sobre o aspecto medial do tornozelo, os tendões oferecem estabilidade lateral ao mesmo, minimizando a eversão (Fig. 1.30).

Se o corpo gira lateralmente a partir do centro de gravidade (Fig. 1.31), os tendões do lado medial do tornozelo puxam medialmente a perna sobre o pé. Os músculos responsáveis por esse movimento são principalmente os *tibiais posterior* e *anterior*.

A ação sensorimotora implementa a ação de “acerto” da passada no pé e no tornozelo. Ela constitui o mecanismo de retroalimentação do sistema neuromuscular (Fig. 1.32).

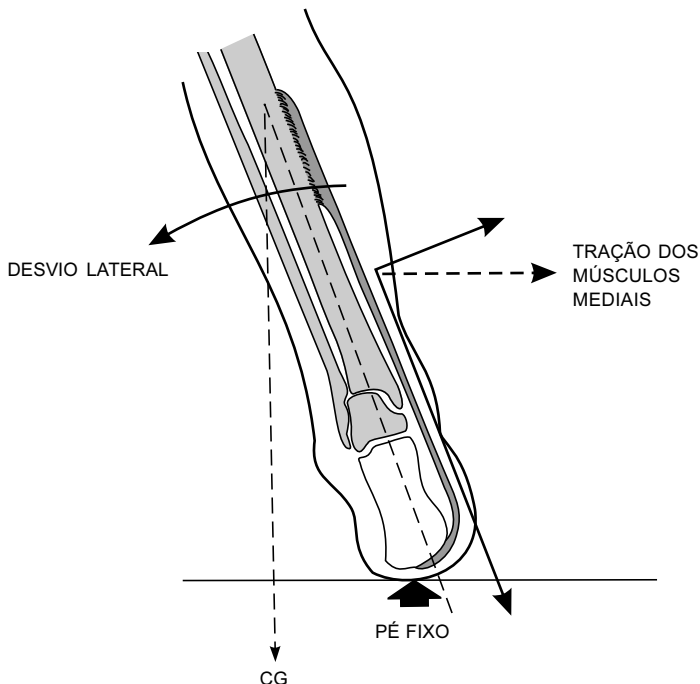


Figura 1.30 Ação muscular que estabiliza lateralmente durante a passada de uma perna. Quando o corpo se move lateralmente a partir do centro de gravidade (CG), os músculos mediais (tibiais anterior e posterior) agem puxando medialmente o corpo. Sua ação origina-se no pé e insere-se na perna (setas).

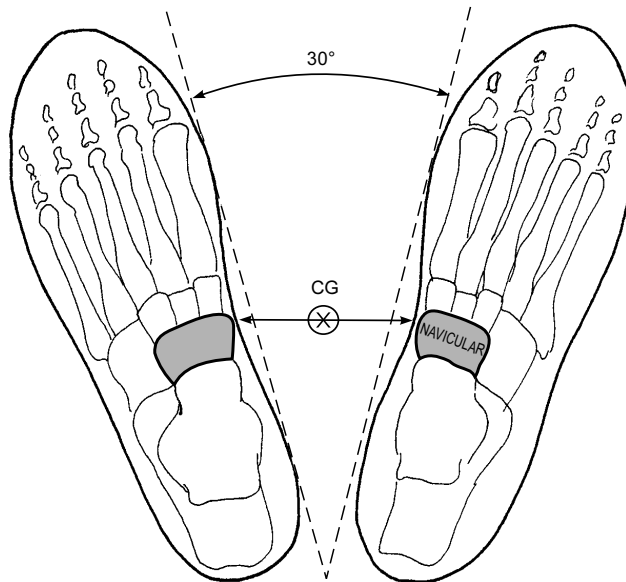


Figura 1.31 Centro de gravidade na passada com ambas as pernas. Com a pessoa de pé e equilibrada, os pés descrevem arco de 30° , com os dedos virados para fora. O centro de gravidade (CG) do corpo fica a meio caminho entre os dois ossos naviculares.

Os músculos extrínsecos que atuam sobre o pé e o tornozelo são divididos em três grupos: lateral, anterior e medial. O *grupo lateral* contém os fibulares longo e curto. Ambos se originam do aspecto lateral da fíbula. O fibular longo origina-se mais alto na fíbula, sendo também o mais superficial. Ambos dividem uma bainha sinovial comum ao passar atrás do maléolo lateral. O fibular curto prende-se à base do quinto metatarsal, enquanto o longo corre profundamente pela superfície plantar do pé, inserindo-se na base do primeiro metatarsal (ver Fig. 1.19). Sua função primária é everter o tornozelo.

O *grupo anterior* dos músculos extrínsecos compreende o extensor longo dos dedos, o fibular acessório, o extensor longo do hálux e o tibial anterior. Este último origina-se a partir do aspecto lateral da tíbia e cruza medialmente o dorso do pé para inserir-se no cuneiforme medial e na base do primeiro metatarsal. Sua ação consiste em promover a inversão e a dorsiflexão do pé sobre o tornozelo (Fig. 1.33).

O *extensor longo dos dedos* origina-se em toda a extensão da superfície anterior da fíbula, da membrana interóssea e na fáscia profunda. Ele se insere nas duas falanges distais dos quatro dedos mais laterais. O quarto inferior desse músculo unipenado é conhecido como *fibular acessório*, que se insere nos dorsos do quarto e do quinto metatarsais. Promove a eversão do pé.

O *extensor longo do hálux* origina-se dos dois terços médios da superfície anterior da fíbula e na membrana interóssea. Ele se insere na base da falange distal do hálux.

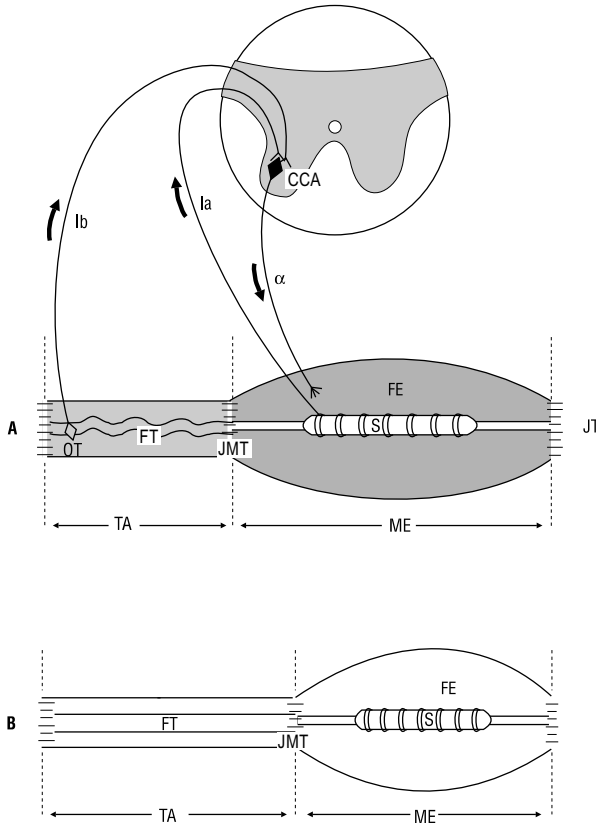


Figura 1.32 Mecanismo musculotendíneo. (A) O sistema fusar (S) mede o comprimento do músculo (ME); os órgãos tendíneos (Golgi) (OT) monitorizam a tensão. O alongamento do sistema fusar ativa a fibra Ia, enquanto o alongamento do órgão tendíneo ativa as fibras Ib. Estas últimas influenciam as células do corno anterior (CCA), que enviam atividade motora via fibras alfa para as fibras extrafusais (XF). Com o músculo em repouso (A), as fibras do tendão (FT) ficam levemente encolhidas. Quando as fibras extrafusais contraem (B), o músculo (ME) encurta, e o tendão se alonga (TL) até o grau que as fibras possam alongar-se. As fibrilas tendíneas (TF), compostas de fibras de colágeno, se desenrolam. A contração muscular excessiva pode romper a junção musculotendínea (MT).

O *extensor curto dos dedos* origina-se nas superfícies anterior e superior do calcâneo e do retináculo extensor. Este último divide-se em dois segmentos (Fig. 1.34). O superior estende-se dos aspectos inferior e medial da fíbula, insere-se no aspecto medial da parte inferior da tíbia e cobre o músculo tibial anterior. O segmento inferior forma uma banda em forma de Y que contém os tendões do fibular acessório e os extensores longo dos dedos e do hálux. Ele evita o arqueamento desses tendões na contração. O retináculo fibular superior origina-se na área distal do maléolo lateral e contém os tendões fibulares.

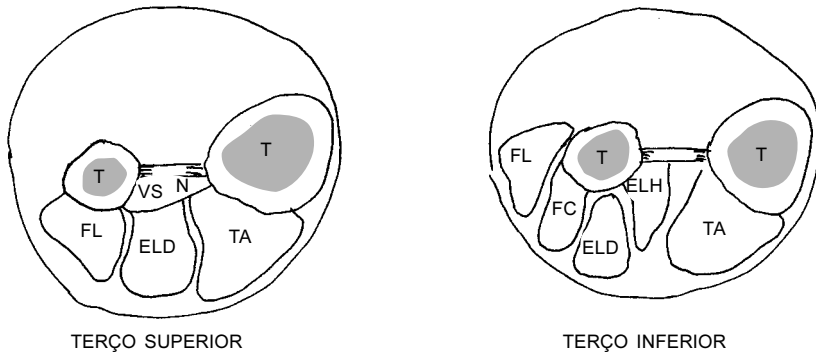


Figura 1.33 Seções dentro da perna: músculos anteriores. O *terço superior* contém o tibial anterior (TA), o fibular longo (FL) e o extensor longo dos dedos (ELD). Os vasos sanguíneos (VS) e os nervos (N) estão contidos no compartimento formado pela fáscia muscular. O *terço inferior* contém o tibial anterior (TA), o extensor longo do hálux (LH), o extensor longo dos dedos (ELD), que contém o fibular acessório (não-mostrado), fibular curto (FC); e o fibular longo (FL). A tibia (T) e a fíbula (F) formam a perna.

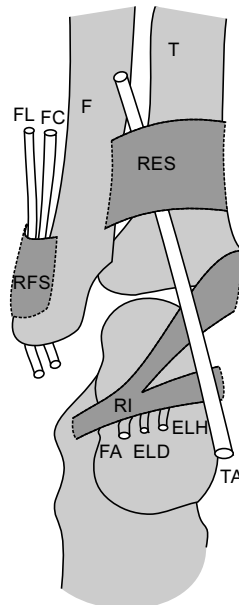


Figura 1.34 Retináculo extensor e fibular. Os retináculos que estão localizados na frente do tornozelo (tibia [T] e fíbula [F]), são divididos em retináculo extensor superior (RES); retináculo inferior (RI), com formato de Y; e em retináculo fibular superior (RFS). Eles contêm os tendões que passam na frente do tornozelo para evitar arqueamento).

TA = tendão anterior

FL = fibular longo

FC = fibular curto

FA = fibular acessório

ELD = extensor longo dos dedos

ELH = extensor longo do hálux

O GRUPO POSTERIOR

O grupo posterior dos músculos da perna é também chamado de *músculos crurais posteriores* (Fig. 1.35). Eles se dividem em dois grupos: *superficial* e *profundo*.

O grupo superficial inclui o gastrocnêmio, o plantar e o sóleo. O gastrocnêmio tem duas cabeças cobrindo a fossa poplíteia. O sóleo origina-se nos limites inferiores da fossa. E o plantar fica entre eles (Fig. 1.36). Todos se mesclam em uma aponeurose, formando o tendão do calcâneo, que se insere nos aspectos posterior e superior do osso do calcanhar (calcâneo), fazendo-o subir durante a marcha. Todos os três músculos são inervados pelo nervo tibial.

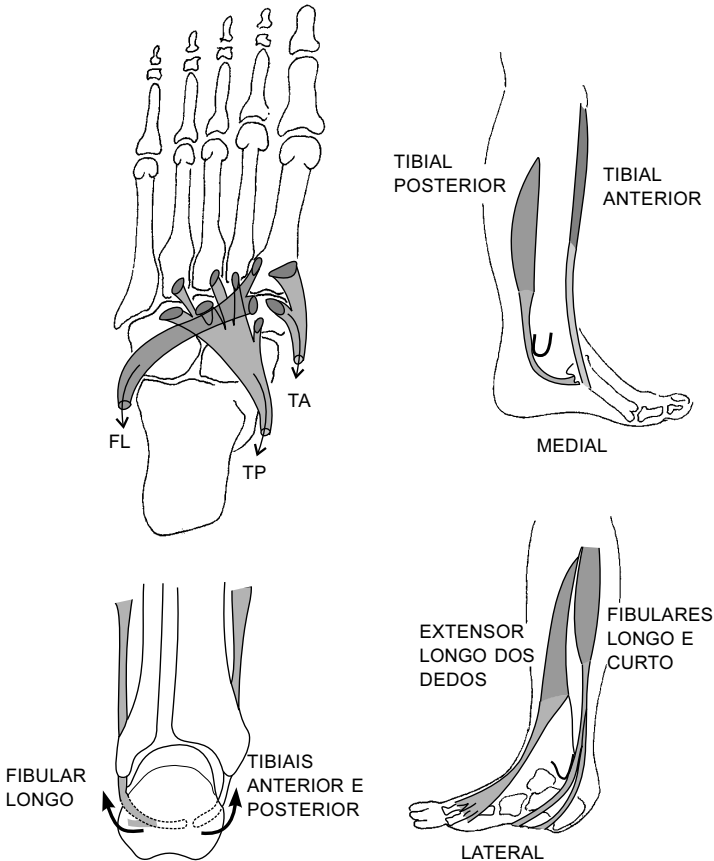


Figura 1.35 Musculatura extrínseca do pé. Estão mostradas a origem, a direção e a inserção dos músculos extrínsecos que atuam no pé. O tibial anterior (TA) e o tibial posterior (TP) são os músculos mediais que promovem a inversão do pé. O fibular longo (FL) everte o pé. Tanto o tibial posterior quanto o fibular longo fazem a flexão plantar do pé. O extensor longo dos dedos e o tibial anterior promovem a dorsiflexão do pé.

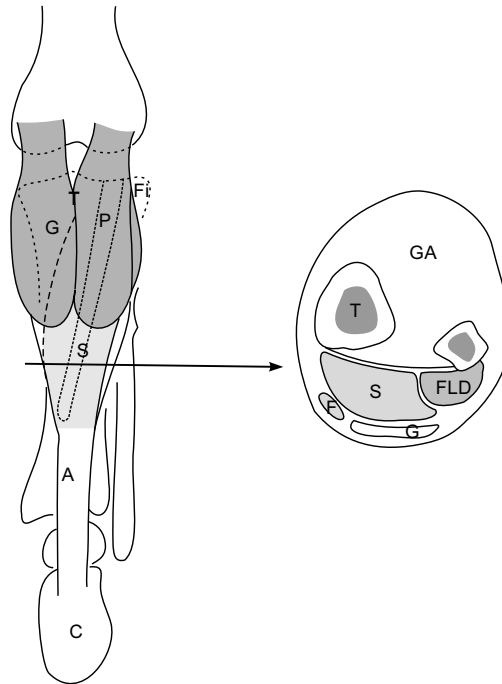


Figura 1.36 Músculos crurais posteriores. Vistos de trás, os músculos crurais posteriores são gastrocnêmio (G), sóleo (S) e plantar (P). A é o tendão do calcâneo; C, o calcâneo; T, a tíbia; e Fi, a fibula. A seta longa divide a perna com a figura da direita, sendo uma secção transversa. G é a porção tendínea do gastrocnêmio, quando torna-se o tendão do calcâneo. FLD é o flexor longo do hálux e GA é o grupo muscular anterior.

Uma bolsa sinovial fica entre o músculo semimembranáceo e a cabeça medial do gastrocnêmio. Essa bolsa comunica-se com outra bolsa entre o gastrocnêmio e a cápsula do joelho. A lesão (estiramento) do músculo gastrocnêmio pode causar derrame na articulação do joelho.

O músculo plantar, entre os músculos gastrocnêmio e sóleo, tem um tendão com aproximadamente 12 cm de comprimento. Sua origem é próxima à cabeça lateral do músculo gastrocnêmio, enquanto a inserção ocorre no aspecto medial do tendão do calcâneo.

O *sóleo* é assim chamado porque tem a forma de uma sola de sapato. O sóleo origina-se em uma linha com formato de ferradura no aspecto posterior da parte superior da tíbia. Como flexor plantar, ele é mais poderoso que o músculo gastrocnêmio.

Como mostrado na Figura 1.31, o centro de gravidade passa a 3° em frente ao tálus, e o grupo gastrocnêmio-sóleo traciona a perna para trás com o objetivo de manter o equilíbrio (Fig. 1.37). Quando o centro de gravidade do corpo está mais para a frente, o grupo dos músculos posteriores da perna a puxa para trás. Já o grupo anterior a puxa para a frente.

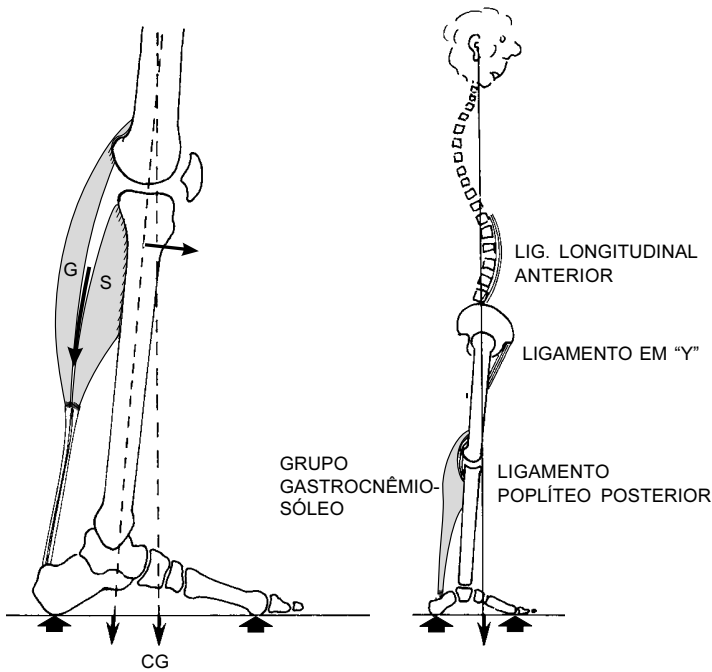


Figura 1.37 Esforço muscular na posição relaxada de pé. Ao ficar-se de pé de forma relaxada, a coluna inclina-se sobre o ligamento longitudinal anterior, o quadril sobre o ligamento iliofemoral (Y) e os joelhos estendem-se para inclinar-se sobre os ligamentos poplíteos posteriores. O gastrocnêmio-sóleo deve manter o tônus para tracionar as pernas para trás, porque o centro de gravidade cai aproximadamente 3° para a frente do tálus. A postura ereta relaxada é principalmente ligamentar, tendo apenas o grupo gastrocnêmio-sóleo ativo. (De Cailliet, R: *Low Back Pain Syndrome*, ed. 3. F. A. Davis, 1968, com permissão.)

OS MÚSCULOS PROFUNDOS

O músculo *plantar* origina-se em um tendão localizado no epicôndilo lateral do fêmur, correndo por trás para inserir-se no aspecto posterior da tíbia. Ele corre entre o ligamento colateral fibular (lateral) do joelho e o menisco lateral (Fig. 1.38).

O *tibial posterior* origina-se a partir dos dois terços superiores da membrana interóssea e dos ossos de cada lado da membrana. Ele se inclina medialmente para alcançar o maléolo medial e passa posteriormente a ele em uma “tipóia” (ver Fig. 1.18). Envia dois terços do seu tendão para inserir-se no osso navicular, com algumas fibras estendendo-se até o primeiro cuneiforme (Fig. 1.39).

O *flexor longo dos dedos* origina-se na superfície posterior da área distal da tíbia até a linha do sóleo e a partir da fáscia do tibial posterior. Seu tendão cruza o tendão tibial posterior. Ele se insere na falange distal dos quatro dedos mais laterais (ver Fig. 1.23).

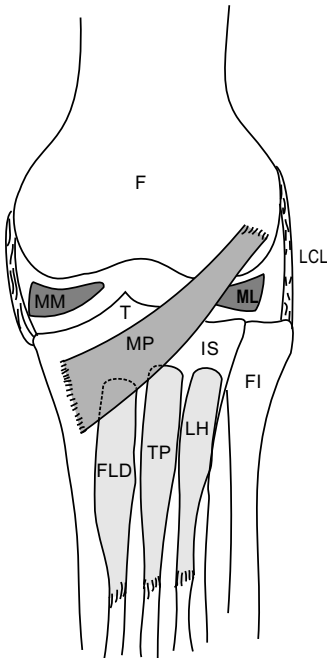


Figura 1.38 Músculo plantar. O músculo plantar (MP) origina-se do epicôndilo lateral do fêmur (F) para inserir-se no aspecto pósterio-superior da tíbia (T). Ele corre lateralmente entre o ligamento colateral lateral (LCL) e o menisco lateral (ML). O menisco medial (MM) é notado, como também a cabeça da fíbula (Fi). Os três músculos bipenados – flexor longo dos dedos (FLD), tibial posterior (TP) e flexor longo do hálux (FLH) – originam-se abaixo do local de inserção do músculo sóleo (IS).

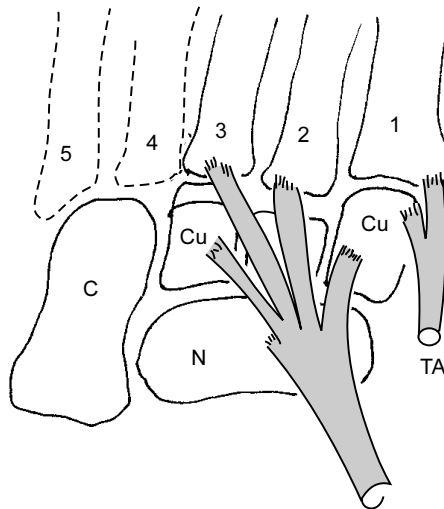


Figura 1.39 Inserção tendínea do tendão tibial posterior. O tendão tibial posterior (TP) tem dois terços de sua inserção no navicular (N), com uma banda para o primeiro cuneiforme (Cu) e para o segundo e terceiro metatarsais. Algumas fibras podem conectar-se com o cubóide (C). O tendão tibial anterior (TA) insere-se no cuneiforme medial e na base do primeiro metatarsal.

O *flexor longo do hálux* origina-se da fíbula, da fásia tibial posterior e da membrana interóssea, inserindo-se na falange terminal do hálux (ver Fig. 1.23). Passa, então, entre os dois ossos sesamóides, localizados nos tendões do flexor curto do hálux. Ele também envia bandas fibrosas para os tendões do flexor longo dos dedos, quando este passa para os segundo e terceiro dedos (Fig. 1.40).

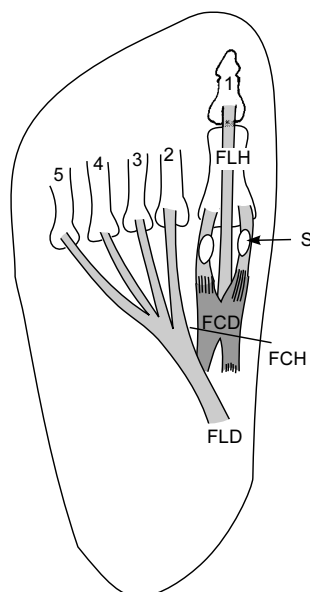


Figura 1.40 Inserção tendínea dos flexores longo e curto do hálux. O tendão do flexor longo do hálux (FLH) passa entre os dois ossos sesamóides (S) presentes dentro dos tendões do flexor curto do hálux (FCH) para prender-se na base da primeira (1) falange distal. O flexor longo dos dedos (FLD) prende-se nas bases do segundo, terceiro, quarto e quinto dedos.

TERMINOLOGIA

O movimento do tornozelo consiste, essencialmente, de flexão e extensão². Entretanto, a definição desses termos varia em relação ao pé. O termo *flexão* habitualmente implica que o ângulo entre os dois ossos seja estreitado. Já *extensão* indica alongamento ou retificação, ou seja, aumento do ângulo. Alguns autores consideram que o movimento para cima do pé sobre a tibia deveria ser extensão, porque o movimento dos dedos do pé é também chamado de extensão. Por conseguinte, o oposto deveria ser chamado de flexão.

Neurologicamente o movimento para cima do pé constitui parte da sinergia flexora, tal como as flexões do quadril e do joelho. Correntemente o movimento para baixo é denominado de *flexão plantar*, e o movimento para cima, de *dorsiflexão* – no que tange ao complexo pé-tornozelo.

Todos os tendões que passam atrás dos maléolos são considerados flexores plantares. Medialmente eles são o tibial posterior, o flexor longo dos dedos e o flexor longo do hálux. Lateralmente, esses músculos são os fibulares longo e curto. Porém, estes dois são responsáveis por apenas 5% da tração total que levanta o calcanhar do solo. O principal flexor plantar é o grupo gastrocnêmio-sóleo.

Outro termo indica que o movimento do complexo pé-tornozelo se processa nas *articulações do tornozelo*.^{3,4} O *tornozelo* é a junção entre a tíbia e o tálus (dentro do encaixe), ou seja, a *articulação tibiotalar*. A *articulação inferior* é a *articulação subtalar*, sobre a qual há inversão-eversão e pronação-supinação, propiciadas pelos tendões lateral e medialmente posicionados.

A FÁSCIA PLANTAR

A fásia plantar é uma continuação do tendão plantar. Ela se origina no tubérculo medial do calcâneo e passa anteriormente, dividindo-se em cinco bandas, cada uma inserindo-se em um dedo (Fig. 1.41). Cada banda distal divide-se na articulação metatarsofalângica para inserir-se nos lados interno e externo da articulação. Por essa divisão passam os tendões do flexor longo e do flexor curto (Fig. 1.42). Há, freqüentemente, uma banda fibrosa curta que se projeta a partir do aspecto lateral do tubérculo do calcâneo e prende-se na base do quinto metatarsal, formando parte do ligamento “mola” lateral.

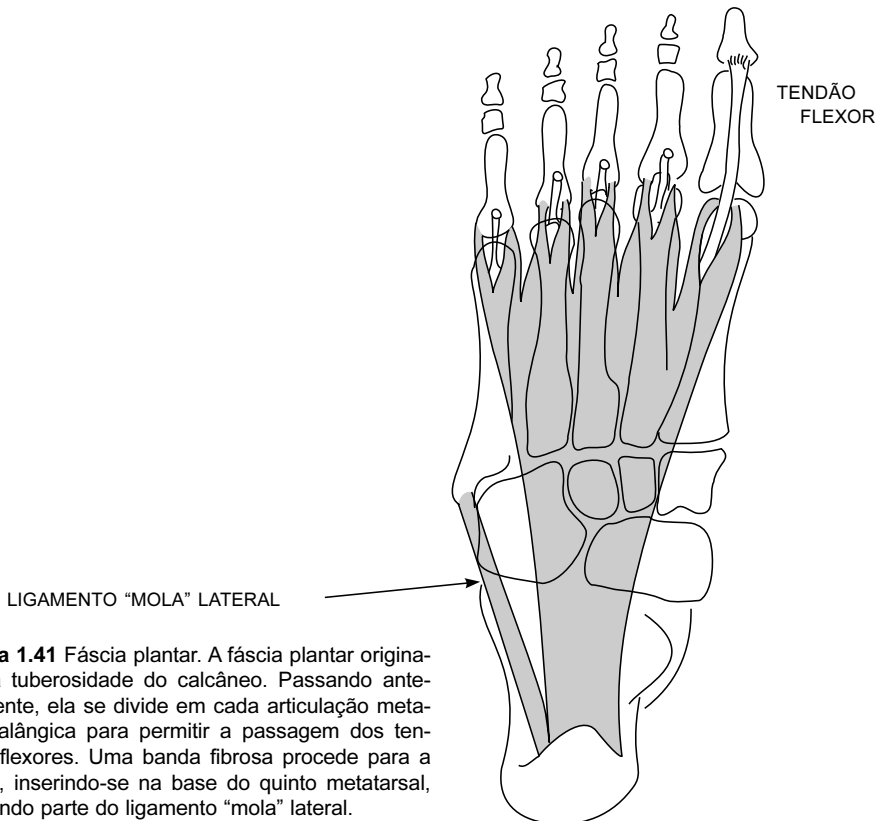


Figura 1.41 Fásia plantar. A fásia plantar origina-se na tuberosidade do calcâneo. Passando anteriormente, ela se divide em cada articulação metatarsofalângica para permitir a passagem dos tendões flexores. Uma banda fibrosa procede para a frente, inserindo-se na base do quinto metatarsal, formando parte do ligamento “mola” lateral.

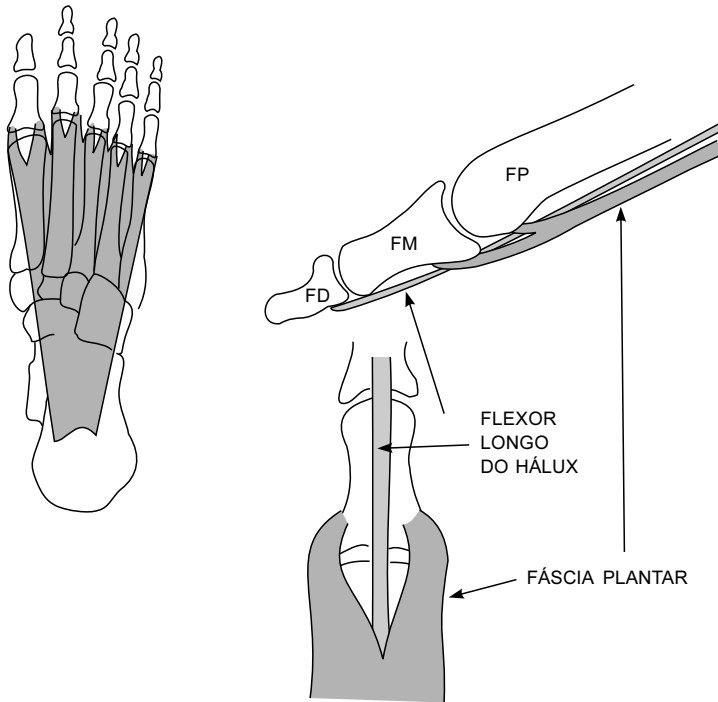


Figura 1.42 Porção anterior da fáscia plantar. As divisões anteriores da fáscia plantar (ver Fig. 1.41) mostram a passagem dos tendões flexores.

SUPRIMENTO NERVOSO

Os nervos para os músculos da perna, tornozelo e pé suprem a sensibilidade. Portanto, mediam a dor e suprem a função nervosa para perna, pé, dedos e tornozelo. Os principais nervos da extremidade inferior são os ramos do nervo isquiático, que se divide no ângulo poplíteo para formar os nervos tibiais, e fibular comum (Fig. 1.43).

O *nervo isquiático* origina-se dos ramos primários não-divididos de L4, L5, S1, S2 e S3.⁴ É um tronco único dividido em dois componentes: o nervo tibial e o nervo fibular comum. Estes, por sua vez, dividem-se em ramos com nomes variados (Fig. 1.44).

O *nervo tibial*, essencialmente uma continuação do nervo isquiático, deriva de todos os ramos primários anteriores não-divididos do plexo sacral. Após separar-se do nervo fibular comum, ele penetra na perna entre a origem das duas cabeças do músculo gastrocnêmio e passa profundamente ao músculo sóleo para entrar no compartimento posterior da perna.

No trajeto, o nervo tibial supre ambas as cabeças do músculo gastrocnêmio, o sóleo, o plantar e o músculo tibial posterior. Ele contribui para a formação do nervo sural

(ver Fig. 1.46), que perfura a fáscia profunda do terço médio da perna e, então, continua para trás, formando o *nervo do calcâneo lateral*, que supre o calcanhar (Fig. 1.45).

O *nervo tibial posterior* é uma continuação do nervo tibial. Ele inicia ao nível do arco fibroso do sóleo, cruza por baixo da tibia e, então, termina (sob o retináculo flexor, atrás e inferiormente ao maléolo medial) nas divisões medial e lateral do nervo plantar (Fig. 1.46).

O *nervo fibular comum* é comparativamente curto e contém segmentos das raízes de L4, L5, S1 e S2. Ele cruza por baixo junto à borda lateral da fossa poplíteia para alcançar posteriormente a cabeça da fíbula. Enrola-se ao redor do colo da fíbula, onde se divide em nervos fibulares profundo e superficial.

O *nervo fibular superficial* desce na perna em frente à fíbula. Após descer por dois terços, ele perfura a fáscia e penetra na pele da frente, na área lateral da perna e no dorso do pé.

O *nervo fibular profundo* começa logo abaixo da cabeça da fíbula. Após enrolar-se ao redor do colo da fíbula, desce pela perna em frente à membrana interóssea. Ao alcançar o tornozelo, passa sob o retináculo extensor superior (ver Fig. 1.34), onde se divide em dois ramos, medial e lateral, indo à superfície cutânea da área lateral do hálux e ao segundo dedo. Sua função motora é para o extensor curto dos dedos, tibial anterior, extensor longo do hálux, fibular acessório e primeiro interósseo dorsal.

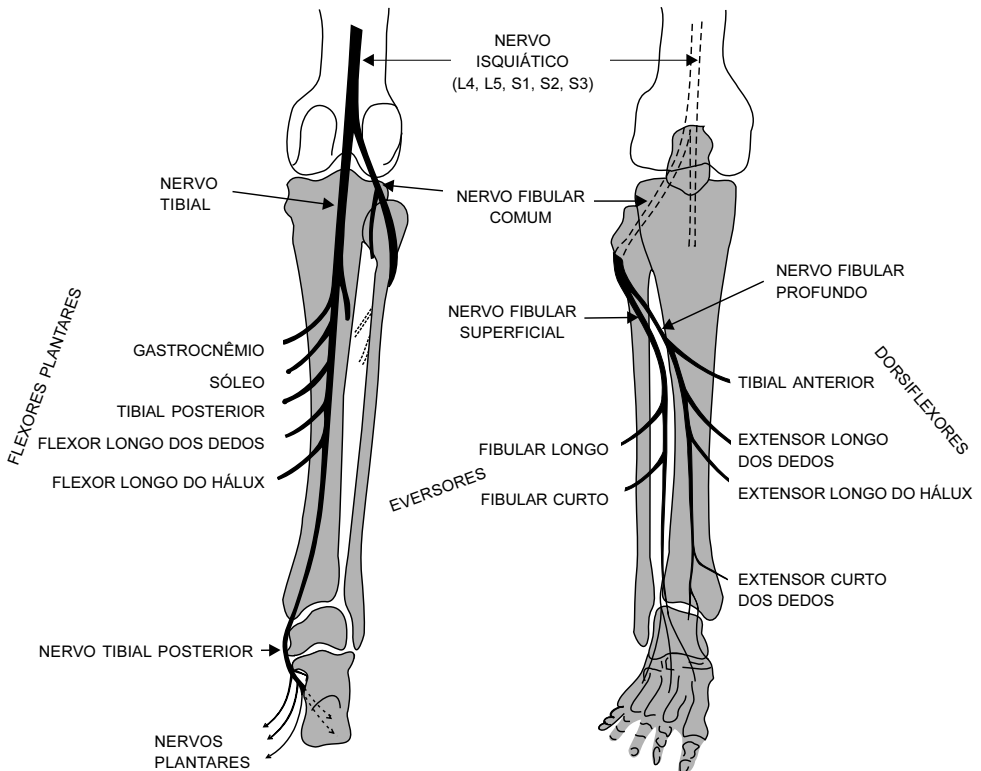


Figura 1.43 Inervações da perna e do pé.

Figura 1.44 Divisões e ramos do nervo isquiático (esquema). O nervo isquiático origina-se das raízes L4, L5, S1, S2 e S3. Divide-se em dois ramos principais – o tibial e o fibular comum. A terminologia varia, de forma que o nervo tibial (*) é também denominado de poplíteo interno ou medial. O fibular comum (**) é também chamado de poplíteo externo ou lateral. O fibular profundo é também chamado de nervo tibial anterior, e o superficial, de musculocutâneo. O sural é freqüentemente chamado de nervo safeno externo. (Diagrama modificado de Haymaker, W, e Woodhall, B: *Peripheral Nerve Injuries*, ed. 2. W. B. Saunders, Philadelphia, 1953.)

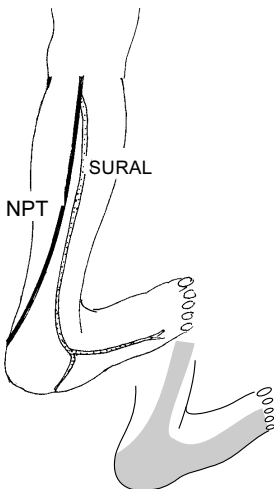
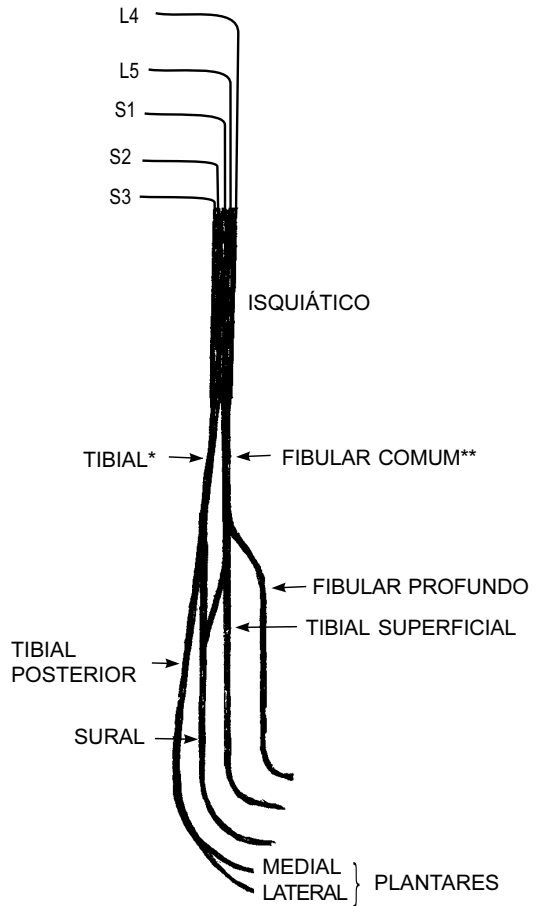


Figura 1.45 Divisões e distribuição do nervo sural.

Os *nervos plantares* são divisões do nervo tibial posterior (ver Fig. 1.46). O *nervo plantar medial* (Fig. 1.47) envia ramos sensitivos cutâneos para a superfície plantar dos três dedos mais mediais e para o aspecto medial do quarto dedo. Seus ramos motores suprem o abductor e o flexor curto do hálux, o flexor curto dos dedos e os primeiros dois lumbricais (ver Fig. 1.47).

O *nervo plantar lateral* passa pela superfície plantar do pé. Após dividir-se em ramos profundo e superficial, supre a sensibilidade da superfície plantar dos dedos remanescentes do aspecto lateral do pé. Ele confere inervação motora ao quadrado plantar, ao flexor curto do quinto dedo, ao abductor do quinto dedo e aos músculos plantares interósseos e lumbricais remanescentes.

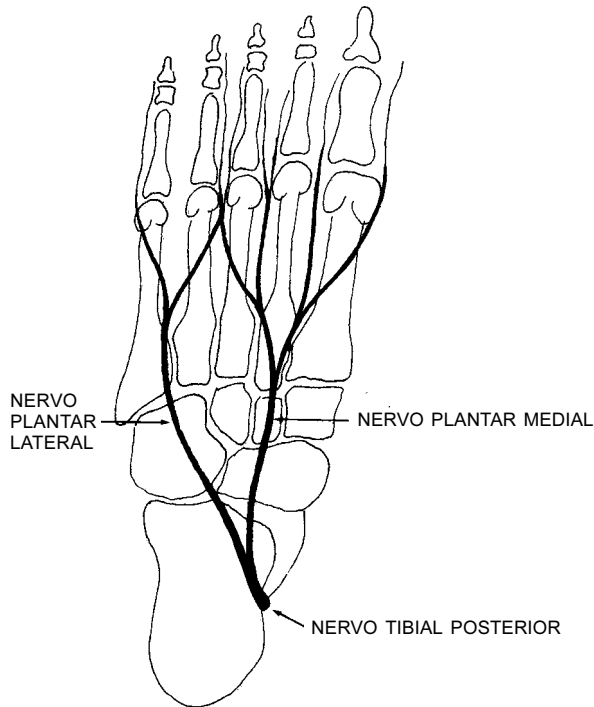


Figura 1.46 Divisão do nervo tibial posterior em nervos plantares.

SUPRIMENTO SANGÜÍNEO

A *artéria poplítea* é a continuação direta da artéria femoral. Esta última passa para o interior do quadrante poplíteo posterior e se divide em artérias tibiais anterior e posterior ao descer o joelho. A artéria tibial posterior segue o mesmo curso do nervo tibial (Fig. 1.48), suprindo os músculos posteriores da perna. Ao alcançar o maléolo medial,

ela passa para a superfície plantar do pé, dividindo-se em artérias plantares medial e lateral. Abaixo da bifurcação, a artéria poplítea ramifica-se lateralmente, passando pela membrana interóssea, descendo o aspecto lateral da perna e suprindo os músculos laterais. Ela termina como a *artéria calcânea lateral*.

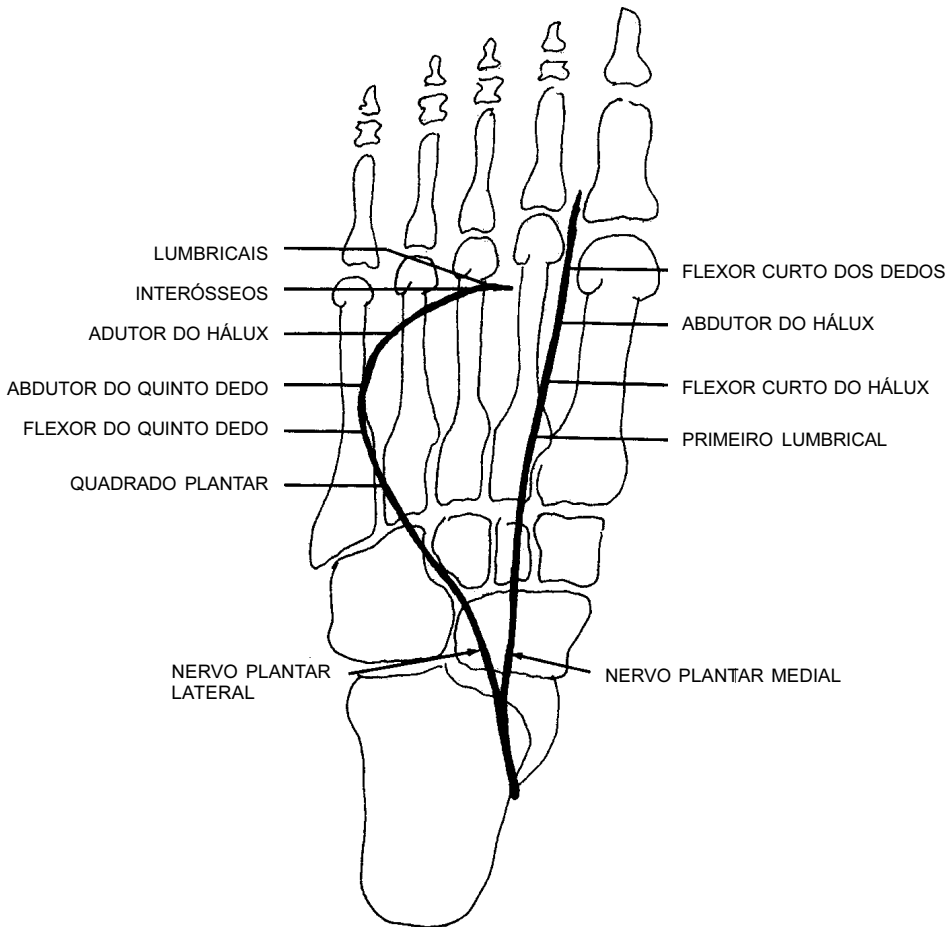


Figura 1.47 Músculos do pé inervados pelos nervos plantares.

Abaixo do quadrante poplíteo, a artéria poplítea se bifurca, originando a *artéria tibial anterior*. Esta última passa anteriormente entre a tíbia e a fíbula pela margem superior da membrana interóssea, dirigindo-se para a superfície anterior da membrana, onde supre os músculos do compartimento anterior. Ao alcançar o dorso do pé, ela se transforma em artéria dorsal do pé, cujos ramos terminais são as *artérias metatarsal dorsal e digital dorsal*. Elas se comunicam com os ramos distais das artérias plantares (Fig. 1.49).

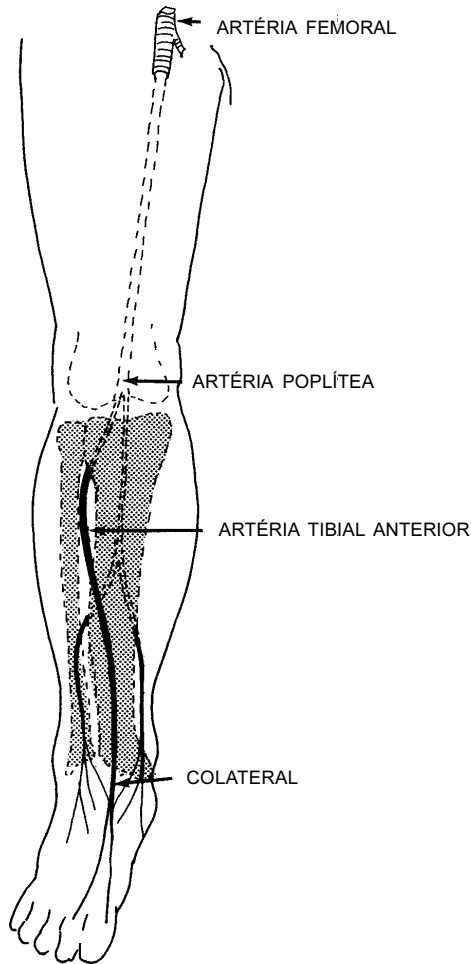


Figura 1.48 Suprimento arterial da extremidade inferior.

ESTRUTURA E FUNÇÃO LIGAMENTARES

Uma discussão dos *ligamentos* é necessária. Eles são muito importantes para definir a estrutura e a função do tornozelo e do pé, ajudando a compreender melhor a função e a incapacidade.

O tecido conjuntivo denso, que forma a base dos tendões e dos ligamentos, é um complexo de células, de substância basal e de fibras. As fibras incluem o colágeno, a elastina e o retículo. A proporção de cada um desses componentes da fibra é determinada pela estrutura necessária para um órgão ou função específica.

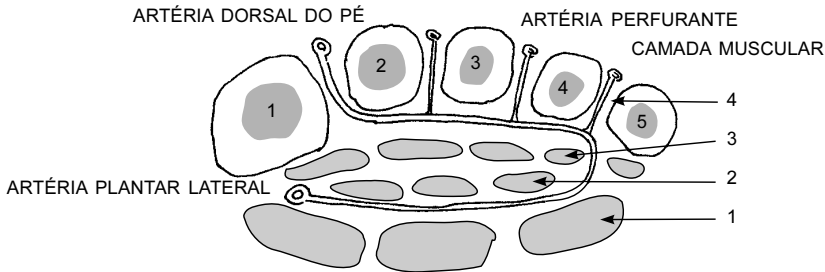


Figura 1.49 Suprimento sanguíneo distal do pé. A artéria plantar lateral passa medialmente entre a primeira (1) e a segunda (2) camadas dos músculos da sola do pé, para então se mover lateralmente sob o metatarsal e sob a quarta camada de músculos intrínsecos (não mostrados na figura). O suprimento arterial terminal na artéria dorsal do pé com artérias perfurantes intermediárias.

A base fibra de colágeno é a molécula de *tropocolágeno* (Fig. 1.50). Essa molécula é formada por uma tripla cadeia de polipeptídeos, constituindo uma fibra de colágeno. Na cadeia trielicoidal de aminoácidos, cada terceiro resíduo é a glicina (Fig. 1.51). Cada cadeia tem comprimento uniforme e encaixa-se com as outras cadeias em uma configuração precisa.

Um *tendão* é uma banda de fibras longitudinais de colágeno inseridas no periósteo de áreas articulares relacionadas para suportar uma articulação ativa e específica. As fibras de colágeno reagem ao alongamento mecânico de forma determinada. Seu comprimento e tensão resultantes formam uma *curva tensão-deformação*. Os tendões estão habitualmente envolvidos por uma bainha, sob regime de suprimento sanguíneo intrínseco (Fig. 1.52).

Tensão refere-se à quantidade de carga por unidade de área transversa. *Deformação* é o alongamento proporcional que ocorre.

Há cinco regiões distintas de colágeno na *curva tensão-deformação*:⁵

1. *Região do dedo*. Há pouco aumento na deformação (comprimento) pela tensão.
2. *Região linear*. A rigidez é basicamente consistente. Com o aumento do alongamento, também aumenta a tensão, sendo esta a região na qual ocorre cedo a microfalência.
3. *Falência progressiva*. Embora intacto a olho nu, ocorre falência gradual com a deformação progressiva repetida.
4. *Falência maior*. O tendão permanece grosseiramente intacto, mas há pontos de ruptura e falência visíveis.
5. *Região de ruptura completa*. Quebra grosseira da continuidade do tendão.

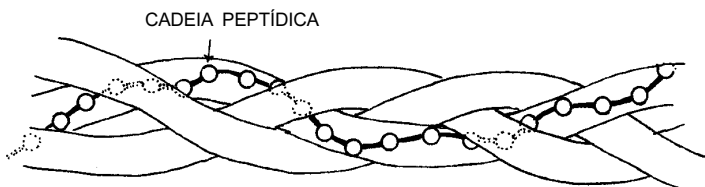


Figura 1.50 Molécula de colágeno do tipo I.

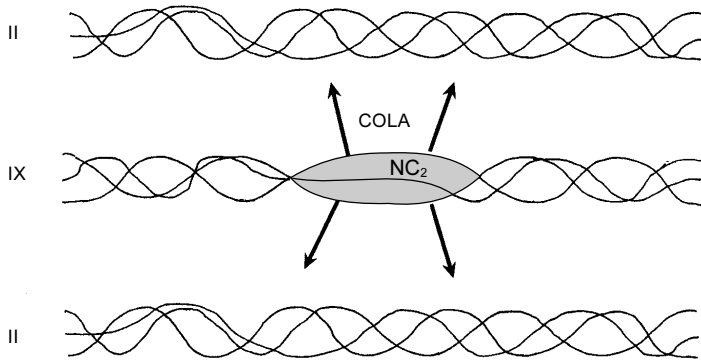


Figura 1.51 O papel do tipo IX na cartilagem.

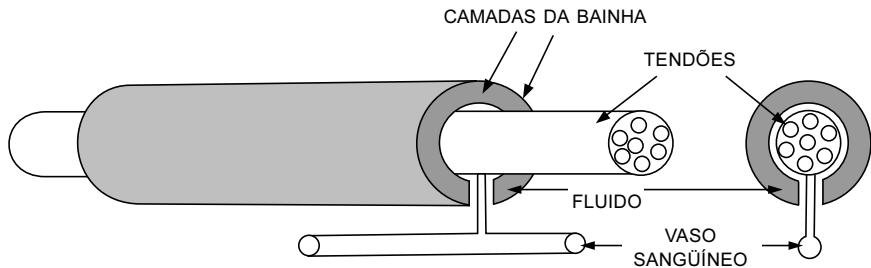


Figura 1.52 Bainha do tendão e suprimento sanguíneo.

Arrasto

Arrasto é o lento alongamento de um tendão em resposta à tensão constante ou repetida. O arrasto é transitório, se fisiológico e sob variáveis específicas de temperatura.

Recuperação

Recuperação é o retorno de um tendão ao seu comprimento original, após a remoção da tensão prévia à ruptura. Se a tensão for removida antes da falência parcial, o tendão retorna a seu comprimento original após período de repouso, durante o qual não haja carga. A isso se denomina *recuperação*. Essa recuperação não envolve a incidência de lesão residual permanente. Também não significa que tenha havido alongamento permanente. A recuperação de determinada função não implica recuperar todas as outras funções, pois a microfalência pode persistir.

A tensão é um estímulo físico com papel significativo na formação e na manutenção do colágeno. Um aumento gradual na tensão eleva a produção e a organização de colágeno. Reduzir a tensão diminui a produção e a organização do colágeno.

A lesão nas estruturas de colágeno promove formação cicatricial. Após a lesão, há migração celular das bordas do ferimento para dentro do espaço formado. Inicialmente, os macrófagos são seguidos por fibroblastos. Estes últimos formam vasos sanguíneos com os capilares originais. Os leucócitos também invadem e, em 48 a 72 horas, emergem fibras de colágeno. O trauma agudo e a irritação crônica repetitiva sempre iniciam reação inflamatória, com conseqüente fibroplasia. Permanece indeterminada a maneira como os micrófagos estimulam a fibroplasia.

No tecido não-traumatizado há alterações significativas na complacência, na resistência e no alongamento dos tecidos conjuntivos densos (TCD):

1. A imobilização provoca significativa perda de resistência. Perda de 80% da força de TCD no músculo tem sido constatada após quatro semanas: 50% nos ligamentos colaterais e 39% nos ligamentos cruzados do joelho após oito semanas.⁷
2. A imobilização causa perda de comprimento e de flexibilidade mais lentamente que a de resistência.
3. O trauma antes da imobilização acelera o encurtamento dos TCD durante a imobilização, por causa da formação de tecido cicatricial.
4. As lesões por uso excessivo podem ser prevenidas ou minimizadas por períodos de repouso entre a tensão.
5. A contratura pode ser prevenida ou minimizada colocando-se as estruturas de TCD em posição alongada durante a imobilização.
6. As contrações musculares isométricas iniciam a profilaxia da tensão nos tendões.

MECANISMOS SENSORIAIS DOS TENDÕES E DOS LIGAMENTOS

A literatura ortopédica tem mostrado devoção à anatomia das estruturas ósseas, ligamentares e vasculares, dando pouca atenção às estruturas neuronais. Estas últimas têm sido consideradas principalmente dando mecanismos subservientes de dor, além de prover “reflexos protetores ligamentomusculares”. Considerava-se que tais reflexos constituíam um sistema de rápida retroalimentação capaz de prevenir movimentos articulares anormais. Vários autores, recentemente, deram-se conta de que nenhum reflexo é rápido o suficiente para proteger de forma reflexa a articulação, a menos que o trauma ameaçador seja muito lento.⁸ Os receptores articulares, por conseguinte, devem servir para outras funções.

Inúmeras terminações nervosas sensoriais em tendões e ligamentos têm fibras aferentes aos fusos musculares gama, que alegadamente estabilizam as articulações e previnem excessos traumáticos a seus tecidos moles.⁹ A função proprioceptiva de muitas articulações tem sido estudada: dedo¹⁰⁻¹², cotovelo,¹³ joelho^{14,15} e quadril.¹⁶ Contudo, poucos estudos envolvem pé e tornozelo.^{17,18}

Vários receptores sensoriais periféricos têm sido propostos como capazes de sinalizar a posição e o movimento do membro, incluindo os receptores articulares da cápsula, do fuso e cutâneos¹⁹. A recepção proprioceptiva depende da idade do indivíduo,¹¹ da amplitude e da velocidade do movimento¹⁰ e dos receptores responsáveis (Fig. 1.53).¹⁷

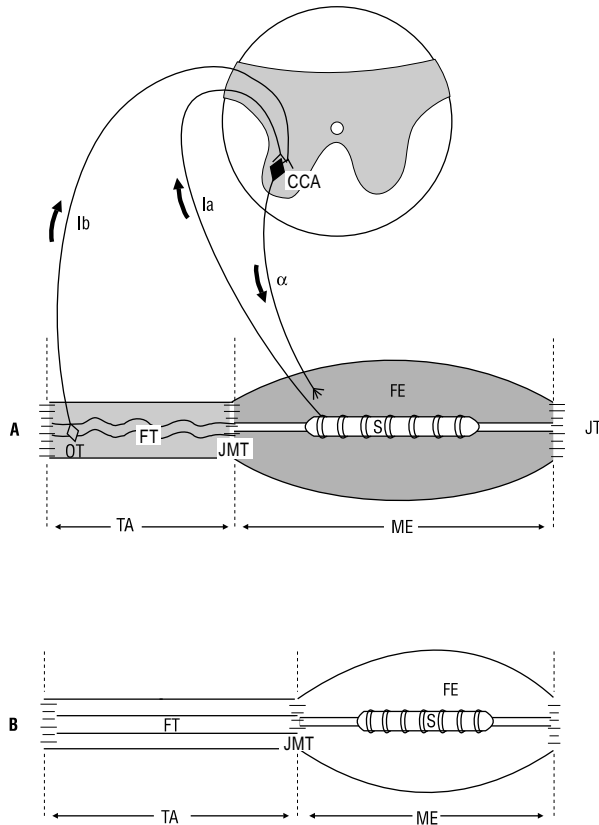


Figura 1.53 Mecanismo musculotendíneo. (A) O sistema fusão (S) mede o comprimento do músculo e (ME) os órgãos tendíneos (Golgi) (OT) monitorizam a tensão. O alongamento do sistema fusão ativa a fibra Ia, enquanto o alongamento do órgão tendíneo ativa as fibras Ib. Estas últimas influenciam as células do corno anterior (CCA), que enviam atividade motora via fibras alfa para as fibras extrasfusais (FE). Com o músculo em repouso (A), as fibras do tendão (FT) ficam levemente encolhidas. Quando as fibras extrasfusais contraem (B), o músculo (ME) encurta, e o tendão se alonga (TA) até o grau que as fibras possam alongar-se. As fibrilas tendíneas (FT), compostas de fibras de colágeno, se desenrolam. A contração muscular excessiva pode romper a junção musculotendínea (JMT).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Basmajian, JV: Grant's Method of Anatomy, ed 4. Williams & Wilkins, Baltimore, 1971, pp 404-416.
2. American Academy of Orthopaedic Surgeons: Joint Motion—Method of Measuring and Recording. American Academy of Orthopaedic Surgeons, Rosemont, IL, 1965.
3. Inman, VT: The Joints of the Ankle. Williams & Wilkins, Baltimore, 1976, pp 26-29.
4. Haymaker, W, and Woodhall, B: Peripheral Nerve Injuries: Principles of Diagnosis, ed 2. WB Saunders, Philadelphia, 1953, pp 286-293.
5. Tillman, LJ, and Cummings, GS: Biological Mechanisms of Connective Tissue Mutability. In Currier, DP, and Nelson, RM (eds): Dynamics of Human Biological Tissues. FA Davis, Philadelphia, 1992, Chap 1, pp 1-44.

6. Rigby, BJ, Hirai, N, and Spikes, JD: The mechanical behavior of rat tail tendon. *J Gen Physiol* 43:265-283, 1959.
7. Cummings, GS, and Tillman, LJ: Remodeling of dense connective tissue in normal adult tissues. In Currier, DP, and Nelson, RM (eds): *Dynamics of Human Biological Tissues*. FA Davis, Philadelphia, 1992, Chap 2, pp 45-73.
8. Wright, V, and Radin, EL (eds): *Mechanics of Human Joints: Physiology, Pathophysiology and Treatment*. Marcel Dekker, New York, 1993.
9. Johansson, H, Lorentzon, R, Sjolander, P, and Sojka, P: The anterior cruciate ligament: A sensor action on the gamma-muscle-spindle systems of muscles around the knee joint. *Neuro- Orthop* 9:1-23, 1990.
10. Clark, FJ, Grigg, P, and Chapin, JW: The contribution of articular receptors to proprioception with fingers in human. *J Neurophysiol* 61:186-193, 1989.
11. Ferrell, WR, Crighton, A, and Sturrock, RD: Age-dependent changes in position sense in human proximal interphalangeal joints. *Neuro Report* 3:259-261, 1992.
12. Ferrel, WR, Crighton, A, and Sturrock, RD: Position sense at the proximal interphalangeal joint is distorted in patients with rheumatoid arthritis of finger joints. *Exp Physiol* 77:675-680, 1992.
13. Goodwin, GM, McCloskey, DI, and Matthews, PBC: The contribution of muscle afferents to kinaesthesia shown by vibrating induced illusions of movement and by the effects of paralyzing joint afferents. *Brain* 95:705-748, 1972.
14. Barrack, RL, Skinner, HB, Cook, SD, and Haddad, RJ: Effect of articular disease and total knee arthroplasty on knee joint-position sense. *J Neurophysiol* 50:684-687, 1983.
15. Horch, KW, Clark, FJ, and Burgess, PR: Awareness of knee joint angle under static conditions. *J Neurophysiol* 38:1436-1447, 1975.
16. Grigg, P, Finerman, GA, and Riley, LH: Joint position sense after total hip replacement. *J Bone Joint Surg* 55-A: 1016-1025, 1973.
17. Freeman, MR, and Wyke, B: The innervation of the ankle joint: An anatomical and histological study in the cat. *J Anat* 68:321-333, 1967.
18. Freeman, MAR, and Wyke, B: Articular reflexes in the ankle joint: An electromyographic study of normal and abnormal influences of ankle-joint mechanoreceptors upon reflex activity in the leg muscles. *Br J Surg* 54:990-1001, 1967.
19. Hall, MG, Ferrell, WR, Baxendale, RH, and Hamblen, DL: Knee joint proprioception: Threshold detection levels in healthy young subjects. *Neuro-Orthop* 15:81-90, 1994.