

### 1.3 Funkce kloubů nohy

Klouby spojují jednotlivé segmenty těla a umožňují jejich vzájemný pohyb. Pohyby v kloubech lze rozdělit na *aktivní pohyb* (vzniká působením vlastní svalové síly) a *pasivní pohyb* (vzniká působením zevních sil), obvykle však jde o kombinaci vnitřních a zevních sil. Dále je možné použít rozdělení na *funkční pohyby* (lze provést aktivně i pasivně) a *translаторní pohyby* v kloubu (*kloubní hra*), které lze izolovaně provést pouze pasivně, nicméně jsou jakožto *smykový pohyb* součástí funkčních pohybů (viz níže). Funkční pohyby lze provádět v hlavních anatomických rovinách, např. při vyšetřování rozsahu pohybů pomocí goniometrie metodou SFTR, nazvanou podle hlavních anatomických rovin a rotace. V běžné motorice jsou ale prováděny jako kombinované pohyby ve více rovinách, což lze demonstrovat jak pomocí jednoduchých funkčních testů aktivních pohybů, tak i při vyšetření pasivních pohybů, např. právě nohy. To vše spolu s krátkou délkou jednotlivých segmentů velmi omezuje

možnosti využití goniometrie, a především metody SFTR, při měření rozsahu pohybů nohy.

Již bylo uvedeno, že z hlediska biomechaniky je naprostá většina funkčních pohybů v kloubech rotací. Výjimkou jsou pouze některé pohyby v plochých kloubech. Je proto nutné rozlišovat mezi rotací z hlediska goniometrie (metody SFTR) a rotací z hlediska biomechaniky.

Při vyšetřování metodou SFTR jsou jako rotace označovány pouze pohyby probíhající kolem dlouhé osy jednoho z kloubních partnerů (pohybujícího se segmentu). Základní *nulové* postavení (ZP) v kloubu je postavení v základní (anatomické) poloze (vzpřímený stoj, horní končetiny připaženy, dlaně ventrálně, palec addukován). Pro hlezno je tedy *nulové* postavení 90° mezi dlouhými osami bérce a nohy v sagitální rovině! Výchozí postavení kloubu (VPK) (*startovací*) je postavení kloubu, od kterého se měří rozsah pohybů. Většinou je shodné s ZP, v některých případech se liší (např. při měření supinace a pronace předloktí). *Startovací* poloha také není vždy 0°.

Biomechanická rotace probíhá kolem osy procházející kloubní hlavicí konvexního kloubního partnera. Tato rotace vede ke vzniku *valivého pohybu*, kdy se osa rotace pohybuje ve směru rotace. Nedílnou součástí pohybu v kloubu je také *smykový pohyb*, kdy dochází pouze k pohybu osy rotace bez vlastní rotace, obvykle v opačném směru než pohyb osy při valivém pohybu. Právě vzájemná vyváženost pohybu valivého a smykového je podmínkou pro *centraci kloubu*, která umožňuje optimální rozsah pohybu a jeho plynulost. Tato vyváženost je dána tvarem kloubních ploch, vazy a dalšími pomocnými kloubními strukturami a v neposlední řadě koordinovanou aktivitou všech svalových skupin, které se podílejí na vzájemném postavení a pohybu kloubních partnerů. V klinice je smykový pohyb vyšetřován jako tzv. *kloubní hra* (viz výše).

### 1.3.1 Otevřené a uzavřené řetězce

Pojem uzavřených a otevřených kinetických řetězců zavedl do biomechaniky Steindler v roce 1955. V naší literatuře se touto problematikou zabýval podrobněji Dvořák (2005a,b). Podle původního Steindlerova dělení jsou *otevřené kinetické řetězce* (*Open Kinetic Chains*, OKC) ty, kde se terminální segment pohybuje volně bez jakéhokoliv zevního odporu. V případě *uzavřených kinetických řetězců* (*Closed Kinetic Chains*, CKC) brání pohybu terminálního segmentu „značný“ („*considerable*“) odpor, nicméně Steindler nedefinoval, co znamená „značný“. Steindler ostatně upozornil, že dělit funkční aktivity přísně na OKC nebo CKC je obtížné, protože každá aktivita podle něj zahrnuje oba typy. Jiní autoři se později pokusili zavést své vlastní definice, problém nejasné hranice se jim ale vyřešit nepodařilo. Dillman, Murray a Hintermeister

(1994) citují Graye, který definoval OKC tak, že je volný distální segment, pohyb je izolovaný a probíhá v jedné rovině. V CKC je distální segment fixovaný a pohyb probíhá ve více rovinách. Citují Panariella, který definoval CKC dolní končetiny tak, že je noha v kontaktu s podložkou, zatímco v OKC je volná. Panariello zároveň předpokládal existenci přechodné „šedé zóny“ mezi OKC a CKC. Dillman et al. navrhli upravené dělení na FEL (distální segment fixovaný zevním odporem/zátěží), MEL (zevní odpor/zátěž na pohybujícím se distálním segmentu) a MNL (volně se pohybující distální segment bez zevního odporu/zátěže).

Výše uvedené definice jsou čistě biomechanické a zohledňují zevní odpor/zatížení distálního segmentu, což odráží i jejich původní označení *kinetické*. Ve zjednodušené definici lze tyto řetězce rozdělit podle toho, zda je možné provést pohyb pouze v jednom kloubu spojujícím segmenty, nebo zda pohyb v jednom kloubu je nutně spojen s pohyby i v jiných segmentech (tabulka 4). V tomto případě definice nezahrnuje působení sil, a proto je možné řetězce označit jako *kinematické*. Pokud ale v rámci kineziologie vezmeme v úvahu i cílenost pohybu (teleologii), tak se jen minimum pohybů odehrává v otevřeném řetězci, tedy bez vzájemné provázanosti pohybů v jednotlivých kloubech. Např. pohyb horní končetiny při dotyku špičky ukazováčku na určitý předmět by z čistě biomechanického hlediska bylo možné považovat za otevřený řetězec, nicméně z kineziologického hlediska si cílenost pohybu nutně vyžaduje koordinovaný pohyb ve více kloubech. Z hlediska cílenosti (teleologie) jsou tedy pohybové řetězce v naprosté většině řetězce uzavřené. Výjimkou je především holokinetické období vývoje dítěte, pro které je charakteristická právě necílenost pohybů (viz 8.4).

**Tabulka 4 Kinematické řetězce (biomechanická charakteristika)**

typ	charakteristika	příklad
otevřený kinematický řetězec	je možné změnit postavení v jednom kloubu bez změny postavení v ostatních kloubech	pohyby v kloubech horních končetin při volném stoji
uzavřený kinematický řetězec	změna postavení v jednom kloubu je možná pouze za současné změny postavení v dalších kloubech	pohyby v kyčelních, kolenních a hlezenních kloubech při volném stoji

### 1.3.2 Rozsahy pohybů

Přesné měření rozsahu pohybů v jednotlivých kloubech nohy je velmi obtížné a poměrně velkou chybou je zatíženo i měření celkových pohybů. Je to dáno řadou faktorů.

Již samotné stanovení osy pohybu je obtížné. Osy neleží v průsečících hlavních rovin a často ani v hlavních rovinách a jejich poloha se během pohybu dále mění. Také výchozí poloha je různá pro volnou nohu v otevřeném kinematickém řetězci a zatíženou nohu v uzavřeném kinematickém řetězci (viz 1.3.1). Nester (1988) rozlišuje pojmy *poloha osy*, která je daná její polohou vzhledem k anatomickým strukturám, a *orientace osy*, která je charakterizovaná úhly, jež svírá s hlavními anatomickými rovinami.

Dále jde v případě nohy o krátké segmenty, rozsah pohybů je většinou malý a při měření nelze zcela vyloučit substituci, protože je obtížné až nemožné zcela zabránit fyziologickým souhybům v sousedních kloubech. Někteří autoři prováděli měření na anatomických preparátech, další pomocí funkčních rtg snímků či jinými sofistikovanými metodami. Hodnoty úhlů nejsou často uváděny vzhledem k hlavním anatomickým rovinám, ale např. k ose kolenního kloubu, tibie či nohy. Osa nohy bývá někdy vedena III. metatarzem, ačkoliv správně by měla být vedena II. metatarzem. Z těchto důvodů se také liší údaje uváděné různými autory, navíc vzhledem k nejednotné a nejasné terminologii není vždy jisté o jaké pohyby vlastně jde. Hodnoty jsou pouze zhruba orientační (tabulka 5). Při hodnocení výsledku měření rozsahu kloubní pohyblivosti je třeba mít na paměti pohlavní či věkové rozdíly (např. flexibilita dětské nohy) a rovněž fyziologické variace uvnitř jednotlivých věkových skupin dané interindividuální variabilitou (Dungl, 1989a; Kubát, 1982; Wernick & Volpe, 1996).

### Tabulka 5 Orientační hodnoty rozsahu pohybů nohy

celková dorzální a plantární flexe	25° a 45°
celková pronace a supinace	asi 20° na každou stranu
supinace v subtalárním kloubu	15°
pronace v subtalárním kloubu	7°, nelze aktivně vyvolat, je nutné ji vyšetřit pasivně
abdukce a addukce předonoží	asi 40°, ale přičteme-li k tomu rotace v koleni a v kyčli, stoupne rozsah až na 90°
plantární flexe MTP kloubu palce	35°
dorzální flexe MTP kloubu palce	80°
plantární a dorzální flexe v MTP kloubech ostatních prstů	40°

Popisná anatomie kostí a kloubů v následujícím textu vychází především z práce Borovanského (1976), který nebude pro lepší přehlednost opakovaně citován. Funkční popis čerpá především z práce Kapandjiho (1987)

a dalších níže citovaných autorů. Obrázky provázející text jsou zaměřeny především na funkci. Pro orientaci v popisné anatomii doporučujeme použít anatomické atlasy a učebnice.

### 1.3.3 Hlezenní kloub

Horní zánártní kloub (hlezenní kloub, *articulatio talocruralis*, TCJ) je skloubením talu s tibií a s fibulárním kotníkem. Kloubní stabilitu určuje uspořádání a tvar kostních elementů, ale i uspořádání kloubního pouzdra a vazů. Kloub zpevňuje pouzdro, které je zesílené po stranách vazy a vpředu i vzadu je tenké. Mediálně pouzdro zesiluje dvouvrstevné *lig. (collaterale) mediale*, které bývá pro svůj tvar nazýváno také *lig. deltoideum*. Hluboká vrstva má zásadní význam pro stabilitu hlezenního kloubu, probíhá přibližně horizontálně mezi vnitřním kotníkem a talem. Tvoří ji *lig. tibiotalaris anterius* jdoucí laterálně a dopředu do oblasti krčku, které je kryté tibiokalkaneálním vazem a *lig. tibiotalaris posterius* (*pars tibiotalaris posterior*), které běží dorzolaterálně k *processus posterior tali* a je kryto stejnojmennou povrchovou částí. Povrchovou vrstvu tvoří *pars tibionavicularis*, *pars tibiocalcanea*, *pars tibiotalaris posterior*. Laterálně je kloubní pouzdro zesíleno fibulárním kolaterálním vazem (*lig. collaterale laterale*), který má tři části. *Lig. talofibulare anterius* je rozepjaté mezi přední plochou zevního kotníku a zevní plochou krčku talu. Hraje důležitou úlohu v předozadní stabilizaci hlezenního kloubu a je nejčastějším místem poranění zevního postranního vazů při úrazech se supinačním mechanismem. *Lig. calcaneofibulare* je rozepjaté mezi hrotem zevního kotníku a zevní plochou patní kosti, jde o extrakapsulární strukturou krytou šlachami peroneálních svalů. *Lig. talofibulare posterius* spojuje zadní plochu fibulárního kotníku a *processus posterior tali*.

**Hlezenní kost** (*talus*) je tvarem přirovnávána k želvě s tělem, krkem a hlavou (obrázky 4 a 6). Tělo talu (*corpus tali*) má dorzálně kladkovou styčnou plošku *trochlea tali* pro skloubení s kostmi bércovými. Trochlea je ventrálně širší, mediální strana leží přibližně v sagitální rovině, zatímco laterální strana je více šikmo. Na spodní straně těla je zadní kloubní ploška *facies articularis calcanea posterior* pro skloubení s kalkaneem v subtalárním kloubu. Na fibulární straně talu vybíhá *processus lateralis tali*, vzadu vybíhá *processus posterior tali*, ve kterém šlacha dlouhého ohybače palce vytváří žlábek *sulcus tendinis m. flexoris hallucis longi*, který rozděluje zadní výběžek na *tuberculum mediale et laterale*. Krček talu, *collum tali*, je fyziologicky lehce varózní, takže hlavice talu *caput tali* směřuje lehce k mediálnímu okraji nohy. Na spodní straně krčku talu je kloubní ploška pro skloubení s kalkaneem v kloubu talokalkaneonavikulárním, která může být rozdělena na dvě části, *facies articularis calcanea media et anterior*. Hlavice talu je skloubena jednak s kostí loďkovitou a dále se zesílenou částí kloubního pouzdra mezi patní kostí a kostí loď-

kovitou. Mezi *facies articularis calcanea posterior* a *media* probíhá šikmo dopředu žlábek, *sulcus tali*, který s odpovídajícím útvarem patní kosti tvoří kanál, *sinus tarsi*. Talus spočívá na ventrálních 2/3 kalkaneu a svou hlavou a krčkem jej přečnává mírně ventrálně a mediálně. Kapandji (1987) upozorňuje, že na talu není jediný svalový úpon, přestože kolem něj procházejí šlachy 10 svalů. Tato skutečnost nepříznivě ovlivňuje arteriální zásobení talu, který při úrazech relativně často podléhá aseptické nekróze. Talus je tak vložen mezi vidlici kostí bércových a ostatní kosti zadního a středního oddílu nohy. Upíná se na něj řada vazů, takže je označován za *přepřahací stanici*. Při zatížení nohy hmotností těla je síla působící na trochleu rozdělena do tří směrů: vzad, ventrolaterálně, ventromediálně.

**Hlezenní kloub** je většinou charakterizován jako jednoosý kladkový kloub s jedním stupněm volnosti pohybu. Osa pohybu v hlezenním kloubu prochází zhruba hroty fibulárního a tibiálního kotníku, takže probíhá zdola, zezadu, z boku, nahoru, dopředu, dovnitř (obrázek 4). Její průmět do transverzální roviny svírá úhel  $20^\circ$  až  $30^\circ$  s rovinou frontální a asi  $85^\circ$  ( $69^\circ$  až  $99^\circ$ ) s osou nohy. Průmět do frontální roviny svírá s dlouhou osou tibie úhel asi  $80^\circ$  otevřený mediálně, s rovinou frontální kolem  $8^\circ$  (Magee, 1992). Jde ovšem o hodnoty zcela orientační. Opakovaně bylo poukázáno na velké rozdíly udávané jednotlivými autory. Navíc se tato osa, stejně jako osy jiných kloubů, během pohybu v kloubu sama pohybuje a mění tak svoji orientaci i polohu. Wernick a Volpe (1996) na základě rozdílného zakřivení mediálního a laterálního okraje talu a šikmého průběhu bimaleolární osy popisují kloubní plochy jako součásti šroubovice.

Pohyb v hlezenním kloubu je vzhledem k šikmému průběhu bimaleolární osy mnohem složitější, než pouhá flexe a extenze v sagitální rovině, jak bývá někdy zjednodušeně chápán. Kapandji (1987) uvádí rozsah pohybu  $20^\circ$  až  $30^\circ$  dorzálně a  $30^\circ$  až  $50^\circ$  plantárně. Plantární a dorzální flexi v sagitální rovině provází lateromediální pohyby předonoží (addukce či abdukce) a supinace či pronace (obrázek 5). Ventrálně je tělo talu širší asi o 5 mm, proto je při dorziflexi nohy kloub stabilnější, zatímco v plantární flexi je ve vidlici možný nepatrný pohyb do stran. Pohyby v hlezenním kloubu úzce souvisí s pohyby v distálním i proximálním tibiofibulárním kloubu, a pokud je noha zatížená, souvisí i s pohyby v kloubu kolenním. *Horní tibiofibulární kloub* je plochý kloub s chrupavčitými kloubními ploškami. *Dolní tibiofibulární skloubení* je syndesmóza, nemá chrupavčité kloubní plošky, mezi konvexní fibulou a konkávní tibií je fibroadipózní tkáň. Kapandji (1987) popsal jak se při dorziflexi hlezna oddaluje laterální kotník a je tlačěn vzhůru a fibula rotuje mediálně. Naopak při plantární flexi hlezna oba kotníky aktivně přitahuje m. tibialis posterior, fibula je tažena dolů a rotuje laterálně. Pohyby fibuly se tak přenáší i do horního tibiofibulárního skloubení. Pohyb v hlezenním kloubu také úzce souvisí

s pohybem v dolním zánártním kloubu (viz 1.3.6 a 1.3.11). Při vyšetření dorzální flexe hlezenního kloubu je nutné vyloučit substituci v transverzotarzálním kloubu (viz 1.3.5). Toho lze dosáhnout uzamčením tohoto kloubu jeho pronací vzhledem k zánoží, kterou dosáhneme tlakem na laterální okraj planty pod V. metatarzem.

### 1.3.4 Subtalární kloub

Subtalární kloub (STJ) je částí dolního zánártního kloubu, který má dva oddíly. Zadní oddíl představuje právě subtalární (podhlezenní) kloub, *articulatio talocalcanea seu subtalaris*. Přední oddíl se dále dělí na část mediální *articulatio talocalcaneonavicularis* a část laterální – krychlopatní kloub, *articulatio calcaneocuboidea* (tabulka 6). Nově je krychlopatní kloub uváděn jako samostatná anatomická jednotka.

**Tabulka 6 Součásti dolního zánártního kloubu**

zadní část	přední část	
podhlezenní (subtalární) kloub	mediální část	laterální část (krychlopatní kloub)

Podhlezenní (subtalární) kloub, *articulatio talocalcanea seu subtalaris*, je tvořen konkávní zadní kloubní plochou talu a jí odpovídající konvexní zadní kloubní ploškou patní kosti. Jde o nekongruentní kloub, ve kterém je možná určitá kloubní hra (na rozdíl od kongruentního kloubu) a jehož stabilita se mění v závislosti na okamžitém vzájemném postavení kloubních ploch. Bruckner (1987) rozeznává 4 různé variace tvaru a počtu kloubních plošek. Kloubní plochy relativně dobře naléhají v neutrální poloze, kdy nesou velké zatížení, a dle Nesterera (1998) i v pronaci, kdy mají maximální kontakt. Stanovení neutrální polohy pomocí klinických palpačních metod je ovšem velmi problematické a nálezy různých autorů se významně liší. Často není jasné, zda je měřen jen pohyb v subtalárním kloubu nebo i pohyb v kloubu talokrurálním. Ball a Johnson (1996) uvádějí, že zjištěné hodnoty závisí na tom, zda měření bylo prováděno v lehu, sedu či stojí. Je také rozdíl mezi aktivním a pasivním pohybem a způsobem, jak byl pasivní pohyb proveden. Obvykle je udáván Rootem stanovený *optimální* poměr supinace : pronace (dle Roota inverze : everze) zhruba 2 : 1. (Root, Orien, Weed & Hughes, 1971), který ale moderní autoři zpochybňují. Např. Michaud (1997a) udává poměr spíše 2,8 : 1 až 19 : 1. Vyšetření postavení nohy v subtalárním kloubu a změny tohoto postavení při přechodu z odlehčení do zatížení je důležitou součástí klinické typologie nohy (viz 4.3).

**Kost patní** (*calcaneus*) je největší tarzální kostí (obrázek 6). Mediální plocha kalkaneu je konkávní, což je ještě zdůrazněno ventromediálním kostním výběžkem *sustentaculum tali*, za kterým probíhá žlábek šlachy dlouhého ohybače palce, *sulcus tendinis m. flexoris hallucis longi*. Na laterální straně je kost více strmá a vystupuje zde pouze nepatrný výběžek *trochlea peronealis seu processus trochlearis calcanei*, za kterým je žlábek šlachy dlouhého peroneálního svalu, *sulcus tendinis m. peronei longi*. Hrbol patní kosti, *tuber calcanei*, má vzadu plošku krytou chrupavkou, distálně od ní se upíná Achillova šlacha. Plantárně vybíhá ve velký mediální a malý laterální výběžek, *processus medialis et lateralis tuberis calcanei*, na které se upínají krátké svaly nohy, mediálně *m. flexor digitorum brevis* a *m. abductor hallucis*, laterálně *m. abductor digiti quinquí*. Na horní straně kalkaneu leží zadní kloubní ploška pro skloubení s talem v subtalárním kloubu, *facies articularis talaris posterior*. Šikmo jdoucí rýha *sulcus calcanei* ji odděluje od přední kloubní plošky, která může být rozdělena na dvě *facies articularis talaris media et anterior* pro skloubení s talem v kloubu talokalkaneonavikulárním. Horní plocha kalkaneu je zhruba oválná s dlouhou osou běžící ventrolaterálně. Je konvexní kolem dlouhé osy a plochá či lehce konkávní okolo druhé osy, takže může být považována za část válcovité plochy. Odpovídající talární plocha má také cylindrický tvar se stejnou osou, ale je konkávní. Na distálním konci patní kosti je kloubní ploška pro skloubení s kostí krychlovou, *facies articularis cuboidea*.

Subtalární kloub uzavírá tenké pouzdro a kloub nekomunikuje s dalšími tarzálními klouby. Stabilitu zajišťují čtyři silné vazy, *lig. talocalcaneum posterius, laterale et mediale a lig. talocalcaneum interosseum*, které je tvořeno dvěma silnými plochými čtvercovými svazky a je rozepjaté v sinus tarsi (obrázek 6). Tento vaz leží přesně v ose bérce a brání nadměrné pronaci paty. Laterální vchod do sinus tarsi kryje tzv. *cervikální vaz*, který brání nadměrné supinaci paty.

Klasicky je osa pohybu subtalárního kloubu popisována tak, že prochází dorzomediálním okrajem kosti loďkovité (případně krčkem talu) a lateroplantárním okrajem kosti patní, tedy s dorzoplantárním a mediolaterálním průběhem (obrázek 7). Dorzoplantární průběh je odvozen od dorza kosti loďkovité a plantární plochy kosti patní. Při popisu průběhu osy podle hlavních tělních rovin by tomu odpovídal údaj superoinferiorně a anteroposteriorně nebo distoproximálně a ventrodorzálně. Průmět osy subtalárního kloubu do transverzální roviny svírá úhel asi 23° (4° až 47°) s dlouhou osou nohy a její průmět do roviny sagitální svírá úhel asi 41° (21° až 69°) s transverzální rovinou (Dungl, 1989a). Kirby (2001) ovšem upozorňuje, že v závislosti na typu nohy může být poloha osy jiná.



Vzhledem k orientaci osy má pohyb v subtalárním kloubu za následek především rotaci zánoží ve frontální rovině, tedy supinaci a pronaci. Částečně dochází i k addukci či abdukci v transverzální rovině díky tomu, že s ní osa pohybu svírá také určitý úhel (obrázek 7). Pohyb lze také popsat jako vnitřní rotaci patní kosti (viz 1.2). Osa pohybu neleží ani v sagitální rovině, proto i v této rovině probíhají pohyby v subtalárním kloubu, tedy dorzální a plantární flexe. Jsou podstatně menší než v kloubu hlezenním, se kterým je subtalární kloub funkčně spojen.

Poměr úhlů svíraných osou subtalárního kloubu s transverzální či frontální rovinou k úhlu svíranému se sagitální rovinou je v normálním subtalárním kloubu přibližně 3 : 1. To znamená, že na každý 1° pohybu v sagitální rovině připadne 3° pohybu v transverzální či frontální rovině. Individuální odchylky od uvedeného poměru však mohou být poměrně významné (obrázek 8). Pokud osa subtalárního kloubu svírá přibližně stejný úhel s rovinou frontální i transverzální (např. 42° k transverzální, 48° k frontální rovině), pak budou pohyby v subtalárním kloubu přibližně stejně velké v obou rovinách. Při současné malé odchylce osy od sagitální roviny (kolem 16°) však bude možný jen minimální pohyb v této rovině. Pohyb kalkaneu kolem již zmíněné šikmé osy, která běží dorzoplantárně, mediolaterálně a anteroposteriorně. Kapandji (1987) pohyb patní kosti přirovnává k lodi najíždějící šikmo přes vlnu, takže se zároveň noří přídí do vln, otáčí kolem vertikální osy („stěžně“) a naklání se na bok.

Praktické použití současného klasického modelu, je kromě velkého úhlového rozsahu individuálních odchylek (tabulka 7), komplikováno také skutečností, že osa subtalárního kloubu mění během pohybu svoji polohu a orientaci. Nester (1988) cituje Van Langelaana, že při pronaci má osa vzhledem k transverzální rovině relativně menší sklon a je orientována více mediálně. Při supinaci je její průběh strmější a přibližuje se více sagitální rovině. Manterův model subtalárního kloubu je založen na šroubovici, po které se talus pohybuje během pronace kalkaneu vpřed a během supinace kalkaneu vzad (Michaud, 1997b). Někteří autoři tento pohyb zpochybňují a poukazují, že pokud skutečně existuje, pak má minimální rozsah a není klinicky významný. S tím lze souhlasit, nicméně jeho zohlednění při modelování pohybu pomůže lépe pochopit a popsat funkci kloubu.

**Tabulka 7 Orientace osy subtalárního kloubu podle různých autorů (údaje převzaty z Nester, 1988)**

autor	orientace k T rovině (průmět S rovině)	orientace k S rovině (průmět v T rovině)	spirálový pohyb
Manter (1941)	42° (29°–47°)	16° (8°–24°)	rotace 10° po- sune talus o 1,5 mm po ose
Hicks (1953)	dtto	dtto	nepozoroval
Wright (1964)	dtto	dtto	
Root (1966)	41° (22°–55°, SD 8,36)	17° (8°–29°, SD 12,23)	zpochybňuje
Isman & Inman (1969)	41° (20,5°–68,5°, SD 9)	23° (4°–47°, SD 11) k ose nohy	
Van Langelaan (1983)	41,9° (23,2°–56,4°)	23,5° (5,4°–32,3°)	35° zevní rotace je spojeno s posunem 1,7 mm (1–2,6)
Kirby (1987)	osa běží od posterolaterální plochy kalkaneu do prostoru mezi I. a II. metatarzem		
Lundberg & Svensson (1993)	32°	33°	žádný spirálový posun, přiroze- ný kladkový pohyb
Philips & Lidt- ke (1992)			žádný
Siegler & Chan (1988)			společný v TC + STJ 1,2 mm
Close et al. (1967)		pes cavus < 16° pes planus > 16°	

SD – směrodatná odchylka, TCJ – talokrurální kloub, STJ – subtalární kloub,  
T – transverzální rovina, S – sagitální rovina

Změny polohy a orientace subtalárního kloubu během oporné fáze krokového cyklu i individuální odchylky v rámci různých typů nohy jsou důležitou součástí některých moderních typologií a biomechanických modelů (viz 4.3.8).

Změnu sklonu osy vzhledem k anatomickým rovinám, resp. orientaci, lze vysvětlit tím, že pohyby mezi talem a kalkaneem neprobíhají mezi kongruentními kloubními plochami, ale že se poloměr zakřivení jednotlivých

součástí kloubních ploch liší. Aktuální osa kloubu je pak určena aktuálními kontaktními částmi kloubních ploch.

#### **1.3.4.1 Funkce subtalárního kloubu – model pantu**

Wernick & Volpe (1991) popisují pohyb v subtalárním kloubu pomocí klasického Inmanova a Mannova *modelu pantu*. Ten se nachází mezi talem a kalkaneem a spojuje dvě ramena, která leží ve dvou na sebe přibližně kolmých rovinách (obrázek 9). Rotace jednoho ramene kolem jeho dlouhé osy má pak za následek rotaci druhého ramene kolem jeho dlouhé osy. Při zatížení nohy tak vnitřní rotace tibie přenesená na talus vyvolává přes subtalární kloub pronaci patní kosti, naopak zevní rotace tibie vede stejným mechanismem k supinaci kalkaneu. Rozsah rotací jednotlivých ramen ovšem závisí na postavení osy pantu vzhledem k těmto ramenům (obrázek 8). Jestliže osa *pantu* svírá s rovinami obou ramen stejný úhel (např. 45°), pak má rotace proximálního segmentu okolo jeho dlouhé osy za následek stejně velkou rotaci distálního segmentu okolo jeho dlouhé osy. Přibližuje-li se osa *pantu* více rovině distálního ramene, dochází i při malé rotaci proximálního segmentu k výraznější rotaci distálního segmentu. Např. je-li osa pantu odchýlena od transverzální roviny zhruba o 70° (a 20° od frontální roviny), rotace vertikálního (proximálního) segmentu bude významně převyšovat rotaci transverzálního (distálního) segmentu. Jestliže je však osa kloubu odchýlena od transverzální roviny pouze o 20° (a 70° od frontální roviny), bude rozsah rotace vertikálního segmentu menší než rozsah rotace transverzálního segmentu (Valmassy, 1996; Payne, n.d.).

Původně se předpokládalo, že vnitřní rotace bérce je plně sledována pohybem talu do addukce (v transverzální rovině) a zevní rotace bérce je plně následována abdukci talu. Pohl, Messenger a Buckley (2007) ale odkazují na rtg studii Arndta, Wesblada, Winsona, Hashimota a Lundberga z roku 2004, která toto pevné svázání pohybů zpochybňuje. Jako možné vysvětlení se nabízí, že pevnost svázání pohybů talu a bérce v transverzální rovině je závislá na jejich vzájemném postavení v sagitální rovině a tedy pevnosti zaklínění talu do vidlice bércových kostí.

#### **1.3.5 Transverzotarzální kloub**

**Příčný zánártní kloub** (*articulatio tarsi transversa*, transverzotarzální kloub, TTJ, Chopartův kloub) tvoří převážnou část předního oddílu dolního zánártního kloubu.

Jde o skloubení talu s kostí loďkovitou a kalkaneu s kostí krychlovou. Zahrnuje tedy téměř celý přední oddíl dolního zánártního kloubu, mimo talokalkaneální část jeho mediální části. Ačkoliv je transverzotarzální

kloub anatomicky tvořen dvěma klouby (kalkaneokuboidním a talonavikulárním), z hlediska kineziologického je považován za funkční jednotku, která funguje v úzké spolupráci s dalšími klouby nohy.

**Kost krychlová**, *os cuboideum*, má distálně dvě laterálně odkloněné kloubní plošky pro poslední dva metatarzy. Mediálně artikuluje oválnou fasetou s laterální klínovou kostí a menší ploškou i s kostí loďkovitou. Proximálně má kloubní plošku pro skloubení s patní kostí. Charakter kloubních ploch kalkaneokuboidního kloubu je takový, že při pronaci kosti krychlové vzhledem ke kalkaneu dochází k uzamčení laterálního paprsku nohy (Bojsen-Møller, 1979). Na plantární straně se táhne hluboká rýha, kterou běží šlacha dlouhého peroneálního svalu, *sulcus tendinis m. peronei longi*.

**Kost loďkovitá**, *os naviculare*, se proximální konkávní ploškou stýká s talem. Distálně jsou tři oddělené konkávně konvexní plošky pro kosti klínové. Laterálně je malá kloubní ploška pro skloubení s kostí krychlovou. Na mediální straně je hmatná drsnatina *tuberositas osis navicularis*, na kterou se upíná *lig. calcaneonaviculare* a *m. tibialis posterior*.

Kloubní štěrbinata transverzotazálního kloubu má v transverzální rovině esovitý průběh, na mediální straně je distálně konvexní, v laterální části je konvexní proximálně (obrázek 10). Mediální část předního oddílu dolního zánártního kloubu, *articulatio talocalcaneonavicularis*, představuje multiaxiální skloubení. Konvexitata hlavice talu a přední a střední kloubní ploška krčku talu jsou hluboko kryty konkávními kloubními plochami kosti loďkovité, střední a přední kloubní plošky kosti patní a dorzálního povrchu *lig. calcaneonaviculare plantare*. Úsek kloubního pouzdra zesílený tímto vazem vytváří vazivově-chrupavčitou destičku *fibrocartilago navicularis* (obrázek 6), zespodu podepřenou šlachou *m. tibialis posterior*. Stabilitata kloubu je zajištěna na laterální straně mediální částí *lig. bifurcatum* a dorzálně *lig. talonaviculare (dorsale)* a *lig. calcaneonaviculare*. Laterální část předního oddílu dolního zánártního kloubu představuje **kloub krychlopatní**, *articulatio calcaneocuboidea*. Kloubní pouzdro zesiluje shora laterální část *lig. bifurcatum*, které je také nazýváno klíčem Chopartova kloubu, protože po jeho protěti lze otevřít tento kloub. Plantárně je pouzdro zesíleno *lig. calcaneocuboideum plantare* překryté silným vazem, který je součástí *lig. plantare longum*. Tento vaz běží od spodní plochy patní kosti a rozbíhá se dopředu až na pouzdra kloubů tarzometatarzálních. Má dvě vrstvy: *stratum profundum*, které nepřekračuje kost krychlovou, a *stratum superficiale*. Hraje důležitou úlohu při udržování podélné klenby nožní.

Wernick & Volpe (1996) odkazují na Manterův popis pohybu v tomto kloubu jako rotace okolo dvou os (společných pro obě jeho části), longitudinální a šikmé (obrázek 10). *Longitudinální osa* transverzotazálního

kloubu běží proximodistálně, plantodorzálně a lateromediálně. Magee (1992) uvádí, že její průmět do sagitální roviny svírá s rovinou transverzální úhel asi  $15^\circ$  a průmět do roviny transverzální svírá s rovinou sagitální úhel kolem  $9^\circ$ . Blíží se tak průběhu osy subtalárního kloubu, ale s jinými úhlovými hodnotami, a díky malému sklonu k dlouhé ose nohy umožňuje pohyby především v rovině frontální, tedy supinaci a pronaci. To umožňuje předonoží udržet kontakt s podložkou při pronaci a supinaci kalkaneu. Šikmá osa transverzotarzálního kloubu je ve srovnání s osou longitudinální orientována příkřeji a šikměji. Svým průběhem připomíná osu kloubu hlezenního. Její velké odchylky od transverzální a sagitální roviny (průmět v sagitální rovině asi  $52^\circ$  od transverzální roviny a průmět v transverzální rovině asi  $57^\circ$  od roviny sagitální) umožňují významné pohyby právě v těchto rovinách, tedy dorzální flexi se současnou abdukci nebo plantární flexi se současnou addukcí (Wernick & Volpe, 1996). Vzhledem k velkému rozsahu pohybů v sagitální rovině je transverzotarzální kloub také označován jako sekundární hlezenní kloub. Omezení pohybu v hlezenním kloubu je často kompenzováno právě pohybem okolo šikmé osy transverzotarzálního kloubu.

### 1.3.5.1 Funkční vztahy subtalárního a transverzotarzálního kloubu

Rozsah pohybů v transverzotarzálního kloubu je významně ovlivněn vzájemným postavením talu a kalkaneu, tedy postavením v kloubu subtalárním. Při supinaci v subtalárním kloubu jsou osy kloubních ploch talu a kalkaneu pro skloubení s kostí loďkovitou a krychlovou rovnoběžné (obr. 11). Ve frontální rovině jsou kolmé na průmět šikmé osy otáčení v transverzotarzálním kloubu, takže pohyb do plantární a dorzální flexe probíhá v jejich směru. Díky jejich rovnoběžnosti je možný maximální rozsah dorzální flexe v tomto kloubu, který má ale současně malou stabilitu. S rostoucí supinací v subtalárním kloubu se zvětšuje rozbíhavost os kloubních ploch transverzotarzálního kloubu, roste i jeho stabilita, ale klesá rozsah pohybu.

Bojsen-Møller (1979) popisuje jiný způsob uzamčení transverzotarzálního kloubu a na něj navazující autoři. Jde o tzv. *close packing* mechanismus, kdy nastává pronace kosti krychlové vzhledem ke kosti patní, resp. supinace kosti patní vyvolaná napnutím plantární aponeurózy (viz 1.3.13).

Společnou osu pohybů dolního zánártního kloubu je tzv. Henkeho osa, jak ji označuje Kapandji (1987). Okolo této osy je možný pohyb do pronace a supinace, také její poloha a orientace se během těchto pohybů mění.

V rámci již dříve popsaného modelu pantu subtalárního kloubu (viz 1.3.4.1) je možno distální segment rozdělit pomocí *pivotu* (čepu) na další dvě části (obrázek 12). V tomto případě se vynucená rotace omezí pouze na střední segment, kterému v tomto modelu odpovídá zánoží, resp. kalkaneus. Vnitřní rotace bérce a talu v transverzální rovině tedy vyvolá pronaci kalkaneu v rovině frontální, ale díky transverzotarzálnímu kloubu ve funkci *pivotu* nesleduje předonoží pohyb zánoží v celém rozsahu a zůstává v plném kontaktu s podložkou. Vzhledem k plně pronovanému zánoží se tak předonoží dostává do relativní supinace, což se projeví oploštěním nožní klenby. Naopak při zevní rotaci tibie dochází k supinaci zadní části nohy, předonoží je při své stabilní poloze vzhledem k podložce relativně pronované vzhledem k zánoží a dochází k akcentaci nožní klenby.

Jako alternativu k výše uvedenému modelu uvádějí Wernick a Volpe (1996) Manterův popis spirálovitého pohybu kolem osy subtalárního kloubu a longitudinální osy transverzotarzálního kloubu. V tomto modelu jsou subtalární a transverzotarzální klouby popisovány jako dvě *šroubovice* opačného průběhu, které jsou spojené v talonavikulárním kloubu. Na pravé noze je *šroubovice* levotočivá a *šroubovice* subtalárního kloubu je na téže noze pravotočivá.

### 1.3.6 Komplexní pohyb zánártních kloubů

Již bylo uvedeno výše, že výsledkem pohybu v subtalárním kloubu je především rotace nohy kolem dlouhé osy, tedy supinace a pronace. V hlezenním kloubu je naopak umožněn maximální rozsah pohybu v sagitální rovině (dorzální a plantární flexe), který je vzhledem k šikmému průběhu osy spojen s abdukci a addukci. Takto se oba klouby ve svých funkcích doplňují, takže vytvářejí komplex zadní části nohy, který umožňuje pohyby ve třech rovinách (Wernick & Volpe, 1996). Jejich funkce je úzce spojena s funkcí transverzotarzálního kloubu.

Kapandji (1987) v této souvislosti uvádí model *univerzálního heterokinetického kloubu*, který tvoří klouby hlezenní, subtalární a transverzotarzální. *Homokinetický univerzální kloub* je v mechanice definován jako kloub tvořený dvěma vidlicemi, které spojují dvě navzájem kolmé osy, což umožní vzájemnou rotaci vidlic v jakémkoliv úhlu. Osy kloubního komplexu tarzálních kostí, tedy osa horního zánártního kloubu a Henkeho osa dolního zánártního kloubu, však nejsou navzájem kolmé, takže tvoří *heterokinetický univerzální kloub*. Při omezení rozsahu pohybu v jednom kloubu dochází kompenzačně ke zvětšení rozsahu v kloubu druhém. Dungal (1989a,b) např. uvádí, že při zvětšení rotace nohy zevně, tj. při chůzi špičkami od sebe, je zvětšen rozsah pohybu v kloubu subtalárním (viz 4.3.3.1) a zmenšen v kloubu hlezenním, při chůzi špičkami dovnitř je situace opačná.

### 1.3.7 Klouby předního tarzu

**Krychlolod'kový kloub** (kuboideonavikulární spojení) tvoří syndesmóza nebo synoviální kloub, jehož štěrbina komunikuje s kloubem kuneonavikulárním. Obě kosti jsou plantárně i dorzálně spojeny vazy *lig. cuboideonaviculare plantare et dorsale*.

**Meziklínové klouby** dovolují malé vertikální pohyby, které mění zakřivení příčného oblouku nožní klenby. Laterální klínová kost spočívá na kosti krychlové, jejíž mediální část poskytuje oporu oblouku.

**Kosti klínové** (*ossa cuneiformia*) jsou tři, *mediale, intermedium a laterale*). Proximálně artikulují s os naviculare, distálně se třemi mediálními metatarzy. Mezi mediální a laterální kost klínovou vybíhá báze II. metatarzu.

**Lod'koklínový kloub** (*articulatio cuneonavicularis*) má hlavici tvořenou lehce konvexní distální kloubní ploškou kosti lod'kovité se třemi separovanými ploškami pro jednotlivé klínové kosti. Kloubní pouzdro je zesíleno silnými krátkými vazy.

Malý pohyb klínových kostí vzhledem k lod'kovité kosti probíhá okolo dlouhé osy nohy a přispívá ke změně zakřivení mediálního oblouku nožní klenby.

### 1.3.8 Tarzometatarzální kloub

**Zánártní-nártní klouby** (*articulationes tarsometatarsee, TMTJ*) tvoří společně Lisfrankův kloub (obrázek 13). Jde o synoviální klouby, které vzájemně komunikují. Výjimkou je I. tarzometatarzální kloub s vlastní synoviální dutinou a vlastním pouzdrem. Tarzometatarzální klouby jsou stabilizovány dorzálními, plantárními a mezikostními vazy. Složená linie tarzometatarzálních kloubů běží šikmo mediolaterálně, superoinferiorně, anteroposteriorně, mediální okraj se nachází distálněji než laterální. Linie ovšem není rovná, laterální klínová kost vybíhá distálněji než kost krychlová, prostřední klínová kost naopak ustupuje výrazně proximálně a mediální klínová kost opět vybíhá distálněji, ještě více než laterální. Navíc linie I. a V. tarzometatarzálního kloubu mají opačnou šikmost: linie I. tarzometatarzálního kloubu směřuje šikmo dopředu a laterálně a probíhá středem diafýzy V. metatarzu; linie V. tarzometatarzálního kloubu směřuje šikmo dopředu a mediálně a probíhá téměř hlavičkou I. metatarzu.

**Kosti nártní** (*ossa metatarsalia, ossa metatarsi, MT*) mají proximálně širší bázi s téměř rovnou kloubní plochou pro kosti zánártní a s bočními ploškami pro vzájemné skloubení. Distálně se zužující trojboká těla pokračují do hlaviček, které jsou z boku oploštělé a jejich konvexní styčné plošky jsou protaženy plantárně ve dva kondylární výběžky. Na plantární

ploše hlavičky I. metatarzu jsou kloubní plošky pro palcové sezamské kůstky. II. metatarzem prochází anatomická osa nohy, ke které jsou vztaženy abdukční a addukční pohyby ostatních paprsků (s určitými výjimkami – viz 1.2). Mezi mediální a laterální kost klínovou vybíhá proximálně báze II. metatarzu, která je po stranách skloubena s mediální a laterální kostí klínovou a nasedá na kloubní plošku intermediální kosti klínové. V. metatarz nese na fibulárním okraji své báze drsnatinu *tuberositas ossis metatarsalis quinti*, na kterou se upíná šlacha krátkého peroneálního svalu.

V tarzometatarzálních klubech probíhá poměrně malý pohyb v důsledku tvaru kloubních ploch a vzájemného spojení silnými krátkými vazy zajišťujícími poměrně velkou stabilitu.

Osy flexe a extenze laterálních metatarzů, které jsou nejpohyblivější, nejsou pravoúhlé k dlouhé ose nohy, ale šikmé. Tyto pohyby proto neprobíhají přesně v sagitální rovině, ale metatarzy se pohybují po povrchu kužele – během plantární flexe se přibližují. Pohyb I. metatarzu je spojením plantární flexe a abdukce (vzhledem k mediální rovině – vzhledem k dlouhé ose nohy jde o addukci!) o rozsahu 15°. Naopak pohyb hlavičky V. metatarzu je spojením plantární flexe a addukce (vzhledem k mediální rovině i dlouhé ose nohy). Tím, že se při plantární flexi hlavičky přibližují, je akcentováno zakřivení předního příčného oblouku nohy. Toto přiblížení hlaviček metatarzů je podporováno také tvarem a postavením kloubních ploch kosti krychlové a klínové.

### 1.3.9 Metatarzofalangeální klouby

**Článekonártní klouby** (*articulationes metatarsophalangeae*, metatarzofalangeální, MTPJ) leží u dospělého přibližně 2 až 3 cm proximálně od meziprstních řas. Hlavičky metatarzů začínají dorzálně jako plocha kulová a přecházejí plantárně v plochu válcovou. Na bazálních článcích jsou kloubní jamky mělké, na plantárních okrajích doplněné o *fibrocartilagine plantares*, zavzaté v *ligg. plantaria*. Pouzdra jsou zesílena *kolaterálními vazy*. Hlavičky metatarzů a kloubní pouzdra jsou navzájem spojeny pásem vazů tvořícím *lig. metatarsium transversum profundum*. Oproti ruce je tímto vazem pevně spojen i I. metatarz a pouzdro I. metatarzofalangeálního kloubu. Podle Bojsen-Møllera (1979) má dorziflexe v I. metatarzofalangeálním kloubu spolu s napínáním *plantární aponeurózy* významnou úlohu ve zpevnění nohy při odrazu. Její omezení je podkladem řady dalších patologií (viz 4.3.8.4).

V metatarzofalangeálních klubech je základním pohybem plantární a dorzální flexe. Rozsah pohybů není velký s výjimkou I. metatarzofalangeálního kloubu, kde je možná i rotace. Bojsen-Møller (1979, 1985) upozorňuje, že metatarzy jsou v podélné ose zakřiveny, přičemž II. a III.



končí díky své délce distálněji vzhledem k ostatním. Z toho důvodu neexistuje pro pohyb v metatarzofalangeálních kloubech společná osa. Musí procházet buď příčně hlavičkou I. a II. metatarzu nebo šikmo hlavičkou II. až V. metatarzu. V souvislosti s uvedením těchto skutečností neuznává rovněž teorii tripodní nohy, což zdůvodňuje tím, že během chůze dochází k opoře o patu, potom se maximální zatížení přenáší na zevní okraj nohy a během akceleračního pohybu při odvíjení chodidla je v oblasti metatarzofalangeálních kloubů. Odraz probíhá nejdříve kolem osy šikmé („*low gear*“) a později kolem osy příčné („*high gear*“) (viz také 3.1.1.2 a 4.3.8.4). Akcelerační pohyb končí přenosem hmotnosti do oblasti palce, přes jehož vrchol se noha odpoutá od podložky a přechází do švihové fáze (obrázek 14).

### 1.3.10 Interfalangeální klouby

**Články prstů** (*phalanges digitorum pedis*) mají proximálně konkávní kloubní plošky pro hlavičky metatarzů. Hlavičky proximálních článků mají kladkovité kloubní plošky pro kratší a silnější střední články. Distální články vybíhají distálně v drsnatinu, která slouží k úponu měkkých tkání špiček prstů. Palec má dva články, ostatní prsty tři.

**Mezičlánkové klouby** (*articulationes interphalangeae pedis*, IPJ) jsou trochleární klouby opatřené kolaterálními vazy. Dorzálně je slabé pouzdro srostlé se šlachami extenzorů, na plantární straně je vazivově-chrupavčitá destička.

V interfalangeálních kloubech je možná extenze a flexe. V proximálních interfalangeálních kloubech je možná větší flexe než v distálních, extenze je omezena v obou (Dungl, 1989a).

### 1.3.11 Funkční vztahy kloubů dolní končetiny

Již bylo konstatováno, že za normálních okolností pohyby neprobíhají pouze v jednom kloubu, ani pouze v jedné anatomické rovině. Naopak jde o sdružené pohyby v několika anatomických kloubech i rovinách najednou.

Při sledování a popisu pohybů nohy je nutné si vždy uvědomit, zda je noha volná v otevřeném řetězci nebo zatížená v řetězci uzavřeném (viz 1.3.1). Při otevřeném řetězci je talus považován za fixní, při uzavřeném řetězci se pohybuje vzhledem ke kalkaneu fixovanému zatížením. Při analýze chůze je zajímavé především chování dolní končetiny v oporné fázi, tedy v uzavřeném řetězci. Tyto vztahy shrnuje tabulka 8 a obrázek 15 (též obrázek 19 až 21). Jejich znalost je důležitá pro interpretaci nálezů klinického i přístrojového (laboratorního) vyšetření. Původně byly odvozeny na základě anatomických a radiografických studií a klinický poznatků. Částečně také byly potvrzeny pomocí jedno-

duchých měření ve stoji (McPoil & Brocato, 1990; Hunt, 1990; Khamis & Yizhar, 2007) nebo 3D kinematické analýzy chůze (Leardini, Benedetti, Berti, Bertinelli, Nativo & Giannini, 2007).

K prokázání těchto vztahů byla použita také pedobarická plošina (Vařeka, 2004a,b). U souboru 43 mladých zdravých probandů (35 žen, 8 mužů, průměrný věk 24,5 roku) bez poruch rovnováhy byl sledován posun COP (viz 8.1) při flexi v koleni ve stoji na jedné dolní končetině s maximálním zatížením paty. Měření trvalo 10 vteřin, byl použit systém Footscan, zpracování dat a statistické testování hypotéz bylo provedeno pomocí korelace, t-testu a  $\chi^2$ -testu. Při přechodu z extenze do flexe v kolenním kloubu docházelo k posunu COP v příčné ose ( $p < 0,001$ ) a to většinou mediálním směrem ( $p < 0,001$ ). Vzhledem k tomu, že se proband snažil udržet maximální zatížení paty, lze tento posun COP vysvětlit především změnou zatížení laterální a mediální části paty, resp. supinace a pronace patní kosti. Zároveň docházelo většinou i k posunu v předozadní ose ( $p < 0,001$ ), ale bez převahy jednoho či druhého směru. Pouze při méně častém laterálním posunu COP docházelo téměř vždy k současnému posunu vzad ( $p < 0,01$ ). I přesto u naprosté většiny případů posunu COP vzad došlo k současnému posunu mediálně ( $p < 0,05$ ). Převažující mediální posun COP při flexi kolene je v souladu s modelem spojení flexe kolene s pronací patní kosti při předpokládané vnitřní rotaci bérce. Netytická reakce u menší části probandů – posun COP laterálně a zároveň dorzálně – je možné vysvětlit tím, že probandi byli bez předchozího nácviku nuceni udržovat rovnováhu v nestandardní a poměrně náročné posturální situaci. Někteří proto zvolili méně stabilní držení, nicméně je byli schopni udržet po dobu poměrně krátké zkoušky.

Některé práce využívající 3D kinematickou analýzu chůze ukazují, že vzájemná závislost pohybů segmentů dolní končetiny roste s rychlostí chůze či běhu (Hamill, Bates & Holt, 1992; De Wit & De Clerq, 2000). Pohl, Messenger a Buckley, (2007) uvádějí, že při chůzi je závislost rotace bérce a pronace/supinace zánoží neprokazatelná (viz 3.1). Tyto nálezy lze vysvětlit metodologickými problémy 3D analýzy a také tím, že nebyly brány v úvahu různé funkční typy nohy (viz 4.3) a individuálně různý průběhu osy subtalárního kloubu (viz 1.3.4). Pohl, Messenger a Buckley (2007) připomínají zjištění Arndta, Wesbladta, Winsona, Hashimota a Lundberga (2004), že talus do určité míry může rotovat vzhledem k bérce. Z anatomické stavby talokrurálního kloubu je vyplývá, že tato volnost bude větší při nulovém postavení či plantární flexi (viz 1.3.3). Výraznější vzájemná závislost pohybu segmentů při běhu je zřejmě dána většími momenty sil působících v kratším čase, takže jsou pohyby více svázané a je omezena variace opakovaných pohybů. Vazy a šlachy kládou při rychlém nástupu tahové síly větší odpor než při pomalejším protažení, obdobně na protažení či stlačení reagují i další měkké tkáně. Také

řídící systém (CNS) má zřejmě tendenci při energeticky náročnějším pohybu co nejvíce omezit jeho variabilitu a provést jej co nejúčelněji včetně využití energie uložené v elastickém protažení tkání.

### 1.3.12 Hyperpronační syndrom

Hyperpronační syndrom je spojení hyperpronace v subtalárním kloubu během prvních 2/3 fáze opory (viz 3.1.1) se strukturálními anebo funkčními poruchami funkce nohy a dalších proximálních kloubů a segmentů dolní končetiny i trupu. Hyperpronace v subtalárním kloubu si vynucuje výraznější anebo déle trvající vnitřní rotaci bérce, kompenzační semiflexi kolene a vnitřní rotaci femuru, která vede k anteverzii pánve a hyperlordózu bederní páteře. Protože postavení pánve zásadně ovlivňuje celkovou posturu dochází k dalším změnám také v kranálních partiích trupu. V závislosti na konkrétní individuálně různé kompenzační strategii dochází k biomechanickému konfliktu v kloubech hlezenním, kolenním, kyčelním, sakroiliakálním a intervertebrálních. Důsledkem bývají funkční i strukturální změny v daných kloubech, okolních měkkých tkáních a příslušných svalech. Vzhledem k bipedálnímu zajištění vzpřímeného stoje postihuje zřetězení poruch funkce (Vařeka & Dvořák, 2001) i druhostrannou dolní končetinu.

Hyperpronační syndrom je obvykle spojován s tzv. disto-proximálním řetězením poruchy. Prvotní příčinou bývá kompenzované varózní zánoží (viz 4.3.1) či kompenzované varózní předonoží (viz 4.3.2). Tyto běžné deformity vyžadují zvýšenou pronaci zánoží k zajištění plného kontaktu zánoží, a především přemnoží, s povrchem během fáze opory krokového cyklu.

Při opačném proximo-distálním řetězení může být příčinou např. strukturální či funkční porucha postavení pánve či funkce kyčelního kloubu, která si vynutí změny v distálních kloubech a segmentech dolní končetiny. Současně ovšem dochází ke změně držení trupu, resp. celkové postury obdobně jako u disto-proximálního řetězení. Případné ortézování na úrovni nohy musí v tomto případě brát ohled na fakt, že „patologické“ postavení nohy je ve skutečnosti kompenzací strukturální či funkční poruchy ležící mimo danou nohu.

**Tabulka 8 Funkční vztahy dolní končetiny při supinaci a pronaci nohy v otevřeném a uzavřeném řetězci**

	Otevřený řetězec		Uzavřený řetězec	
noha	supinace nohy	pronace nohy	supinace zánoží	pronace zánoží
předonoží	supinace plantiflexe addukce vzhledem k zánoží	pronace dorziflexe abdukce vzhledem k zánoží	(relat.) pronace (relat.) plantiflexe (addukce v T rovině) vzhledem k zánoží	(relat.) supinace (relat.) dorziflexe (abdukce v T rovině) vzhledem k zánoží
kalkaneus	supinace plantiflexe addukce vzhledem k talu	pronace dorziflexe abdukce vzhledem k talu	supinace dorziflexe (abdukce v T rovině)	pronace plantiflexe (addukce v T rovině)
talus	plantiflexe vzhledem k bérci	dorziflexe vzhledem k bérci	abdukce v T rovině (resp. zevní rotace) vzhledem ke kalkaneu	addukce v T rovině (resp. vnitřní rotace) vzhledem ke kalkaneu
bérec			zevní rotace mediální inklinace vzhledem k noze	vnitřní rotace laterální inklinace vzhledem k noze
koleno			extenze	flexe
kyčel			zevní rotace	vnitřní rotace
pánev			retroverze	anterverze
bederní páteř			oploštění	lordotizace

### 1.3.13 Plantární aponeuróza

*Plantární aponeuróza* je silný vazivový útvar na plantární ploše nohy, který se dělí na centrální, mediální a laterální část. Nejrozsáhlejší je *centrální část* jdoucí od hrbolu patní kosti až do úrovně metatarzofalangeálních kloubů, kde se dále dělí na povrchovou a hlubokou vrstvu. *Povrchová vrstva* se upíná do kůže v oblasti hlaviček metatarzů, *hluboká vrstva* se spojuje s pochvami šlach flexorů prstů. Tenčí *laterální a mediální části* běží do stran a splývají s dorzální fascií (Dungl, 1989a; Bolgla & Malone, 2004). Ačkoliv anatomicky jde o aponeurózu, bývá v anglosaské podiatrické a biomechanické literatuře obvykle označována jako *plantární fascie*. Hraje významnou roli v zajištění nožní klenby (viz 2) i při zpevnění nohy v období střední opory a odrazu tzv. *kladkovým mechanismem* (viz 3.1.1 a 4.3.8.4).

#### **1.3.14 Subkutánní vazivově-tuková vrstva**

Rozložení tlakových sil pod ploskou nohy se projevuje i ve stavbě měkkých tkání. Debruner (1985) odkazuje na dřívější práce Tietze z roku 1921 a Blechschmidta z roku 1934, kteří zdůraznili význam oblasti pod hrbolem patní kosti pro přenos sil. Na dobře vyvinutou subkutánní vrstvu pravouhle nasedají silná spirálovitě uspořádaná vazivová septa spojená se skeletem. Tato septa tvoří tlakové komory vyplněné tukovou tkání. Uvedená konstrukce zaručuje pevné a přitom elastické spojení mezi skeletem a podložkou, při zatížení se tloušťka měkkých tkání pod hrbolem patní kosti redukuje na polovinu. Významně se uplatní především při tlumení nárazu během dopadu paty na začátku krokového cyklu (viz 3.1.1). Obdobnou stavbu mají i měkké tkáně pod hlavičkami metatarzů, vrstva je ale slabší (Aerts, Ker, De Clerq & Ilsley, 1996).

byly použity především práce autorů Zrzavý (1976), Kapandji (1987), Travell a Simons (1992) a Michaud (1997b).