

Pieds creux

G Curvale
A Rochwerger

Résumé. – La principale caractéristique du pied creux est l'exagération de la hauteur de l'arche longitudinale du pied qui est fréquemment associée à des griffes d'orteils et à une malposition dans le plan frontal du calcaneus de degré variable, le plus souvent liée à une pronation de l'avant-pied compensée par une varisation de l'arrière-pied. La réduction de la surface d'appui plantaire explique les métatarsalgies et les callosités douloureuses sous une ou plusieurs têtes métatarsiennes.

Le pied creux varus est fréquemment d'étiologie neurologique. La maladie de Charcot-Marie-Tooth en représente le diagnostic le plus fréquent. Tout pied creux varus impose un examen neurologique spécialisé.

Les moyens médicaux conservateurs peuvent permettre de prolonger la tolérance du pied creux. Leur insuffisance peut conduire à des interventions chirurgicales correctrices comportant des transferts et allongements tendineux, une libération plantaire, des ostéotomies extra-articulaires, métatarsiennes, tarsiennes ou calcanéennes, voire des arthrodèses dans les cas les plus évolués.

Les indications thérapeutiques dépendent de l'âge, de l'évolutivité du pied creux, ainsi que des associations lésionnelles et de leur réductibilité.

© 2002 Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : pied creux, cavus, tarsectomie, Charcot-Marie-Tooth.

Introduction

Le pied creux est communément caractérisé par l'accentuation de la voûte plantaire, correspondant à l'augmentation de hauteur des arches longitudinales du pied.

Il s'y ajoute fréquemment d'autres anomalies morphostatiques telles que des griffes des orteils, une désaxation de l'arrière-pied et une torsion hélicoïdale du pied qui s'intègre dans un trouble de torsion du membre inférieur. L'ensemble de ces troubles plus ou moins associés détermine de nombreux tableaux cliniques, évoluant avec l'âge, et s'exprimant par des modifications induites sur les diverses fonctions du pied. La répartition des appuis au sol est perturbée par le rapprochement des appuis plantaires antérieurs et postérieurs, ainsi que par la diminution des surfaces d'appui, principalement aux dépens du bord latéral du pied, qui sert de base à la classification podoscopique des pieds creux. Les conflits apparaissent avec le chaussage, l'instabilité est plutôt la conséquence des déformations frontales.

Bien que les pieds creux modérés, relativement bien tolérés, soient relativement communs, la fréquence et la sévérité des étiologies neurologiques nécessitent de considérer que tout pied creux est a priori d'origine neurologique, jusqu'à la preuve du contraire, laquelle doit être apportée par un examen neurologique approfondi.

La littérature française sur le pied creux est riche [15, 32, 37, 43, 45], témoignant de l'évolution vers une conception dimensionnelle du pied creux. Le symposium dirigé par Robert Meary en 1967 reste une référence essentielle [34].

Georges Curvale : Professeur des Universités de la Méditerranée, chirurgien.
Alexandre Rochwerger : Chirurgien.
Hôpital de la Conception, centre hospitalier universitaire de Marseille, 147, boulevard Baille, 13385 Marseille cedex 05, France.

Les modalités thérapeutiques fondées sur les conceptions biomécaniques du pied et les répercussions fonctionnelles de la déformation dépendent essentiellement de l'âge, de l'évolutivité du processus causal et du caractère encore souple ou déjà enraidit des déformations.

Épidémiologie

Les séries publiées en milieu chirurgical sont relativement modestes, de l'ordre de quelques dizaines de cas [13, 35, 36, 51], traduisant la relative rareté des pieds creux décompensés, le plus souvent d'origine neurologique, par rapport à la grande fréquence des pieds creux modérés. Gonzales de Aledo, sur un groupe de 948 enfants de plus de 4 ans non sélectionnés, trouve à l'examen podoscopique 16,3 % de pieds creux majoritairement chez les filles ; 60 % d'entre eux présentaient un antécédent familial de pieds creux [20]. Chez l'adulte jeune, Braun [7] dans une étude comparable notait 44,4 % de pieds creux chez les hommes et 52 % chez les femmes, en dehors de tout symptôme lié au pied creux.

Mécanisme d'apparition du pied creux

ARCHES DU PIED NORMAL

La voûte longitudinale du pied repose en arrière sur le calcaneus et en avant sur les appuis métatarsiens. Elle est constituée classiquement d'une arche externe, la plus basse, formée d'arrière en avant par le calcaneus, le cuboïde et les deux derniers métatarsiens et une arche interne plus élevée comportant d'arrière en avant le calcaneus, le talus (astragale), l'os naviculaire (scaphoïde), les cunéiformes et les trois premiers métatarsiens. Ces

arches sont sous-tendues par l'ensemble des parties molles plantaires et Lapidus et De Doncker^[14] ont proposé de les comparer à une ferme qui, en termes d'architecture, correspond à une charpente triangulaire, destinée à supporter le faîtage du toit. Cette ferme est constituée de deux arbalétriers (un postérieur oblique en bas et en arrière : l'arrière-pied, et un arbalétrier antérieur oblique en bas et en avant : le médiopied et l'avant-pied), sous-tendus par un entrait constitué de l'ensemble des formations musculotendineuses et ligamentaires de la plante du pied qui se tendent lorsque le pied est en charge, évitant ainsi l'aplatissement de la ferme. Dans le pied creux, l'accourcissement de l'entrait s'accompagne de la verticalisation des arbalétriers qui rehausse la ferme et approfondit sa concavité.

Cette conception purement longitudinale de la voûte plantaire est insuffisante pour décrire la structure architecturale du pied qui comporte une torsion hélicoïdale entre la colonne d'appui postérieure qui est verticale et l'antérieure qui est horizontale.

Le pied normal en charge subit une légère détorsion hélicoïdale qui met en tension les ligaments plantaires. Une détorsion excessive en charge correspond au pied plat valgus alors qu'un excès de torsion hélicoïdale aboutit au pied creux varus.

CONSTITUTION DU PIED CREUX

La progression du pied creux au cours de la croissance a été parfaitement explicitée par Schnepf^[14, 43] « tout se passe comme si, de l'enfance à l'adolescence, les parties molles plantaires agissaient comme la corde trop courte d'un arc osseux ». La croissance osseuse est plus rapide que celle de la corde plantaire. La voûte osseuse ainsi bridée augmente de courbure vers le haut. Initialement, la déformation est réductible et la croissance s'accompagne d'une cunéiformation des os de la voûte (principalement du scaphoïde) qui, conjointement à la rétraction des parties molles plantaires, aboutit à l'irréductibilité du cavus. Celle-ci est progressive de 5 à 11 ans, plus rapide de 12 à 16 ans et se stabilise et se fixe entre 16 et 18 ans.

Différents types de pied creux

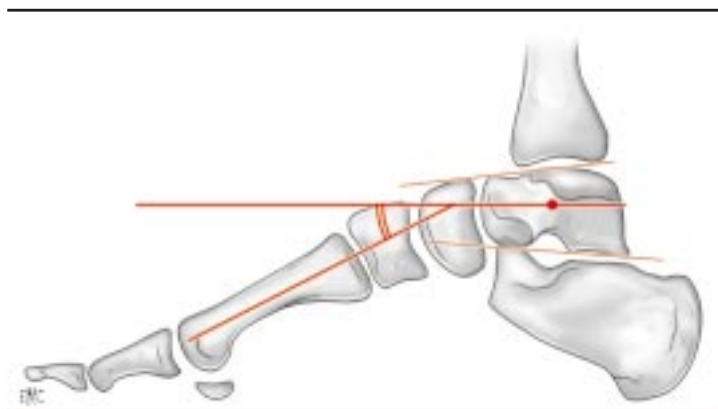
PIED CREUX DIRECT

Le pied creux direct correspond à une déformation exclusivement longitudinale de la voûte plantaire. La verticalisation de l'avant-pied intéresse de façon égale les deux arches interne et externe, il n'y a donc ni pronation, ni supination de l'avant-pied. L'arrière-pied reste axé de façon physiologique, en léger valgus. On distingue trois formes de pieds creux directs :

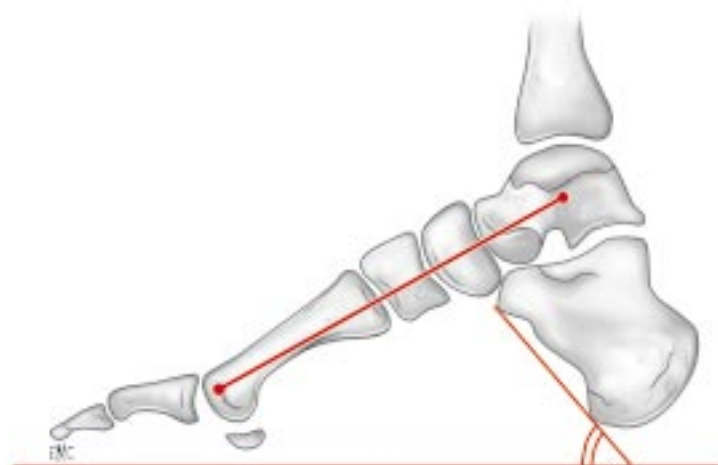
- le pied creux antérieur comporte une verticalisation de l'avant-pied et une cassure dans le médiopied. En décharge (fig 1), il existe une dénivellation^[32] vers le bas de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied. En charge, la correction de cette dénivellation aboutit à une horizontalisation du talus par flexion dorsale relative de la cheville ;
- le pied creux postérieur comporte une verticalisation du calcaneus (par insuffisance ou pour paralysie du triceps) (fig 2). Il n'y a pas de cassure du médiopied. En décharge, il existe une dénivellation vers le bas du calcaneus par rapport à l'avant-pied. En charge, il n'y a pas d'horizontalisation du talus, la cheville se portant en flexion plantaire relative ;
- le pied creux direct mixte comporte à la fois une flexion plantaire de l'avant-pied sur l'arrière-pied et une verticalisation du calcaneus (fig 3).

PIED CREUX ANTÉRO-INTERNE

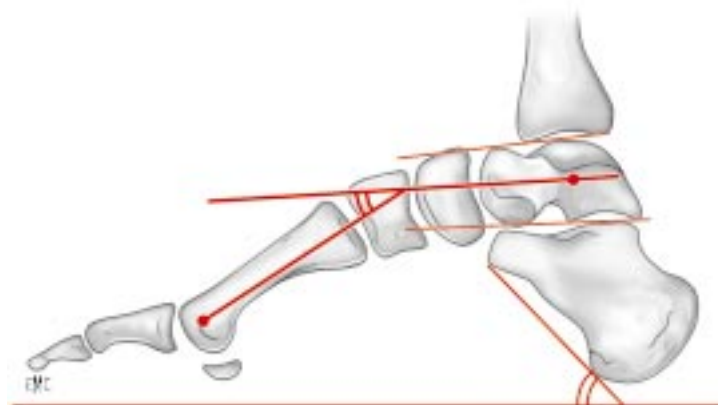
C'est une exagération de la forme hélicoïdale du pied qui comporte une pronation excessive de l'avant-pied sur le médiopied, la



1 Schéma d'un pied creux direct antérieur, caractérisé par une verticalisation de l'avant-pied. Le sommet de la déformation se situe ici dans l'articulation scapho-cunéenne.

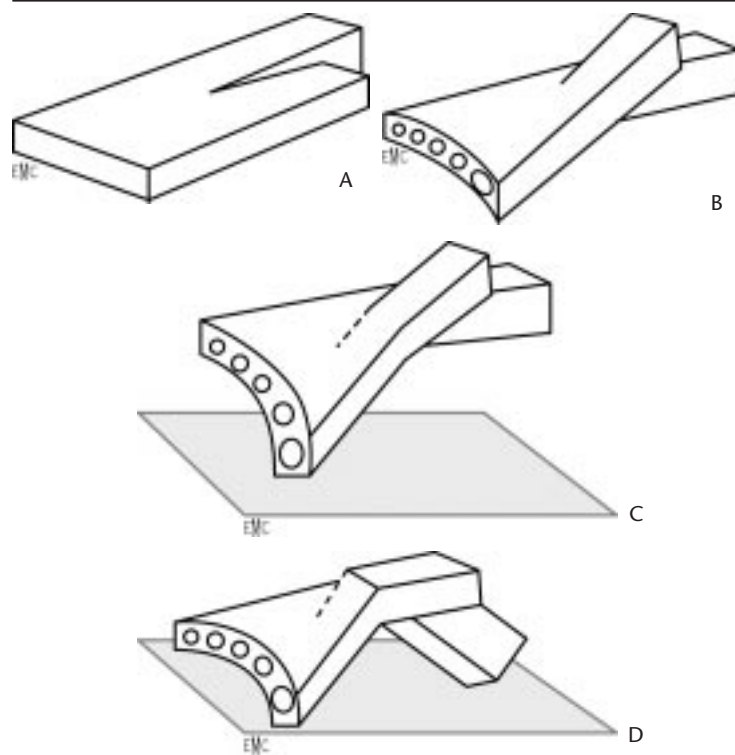


2 Pied creux postérieur direct par verticalisation du calcaneus.

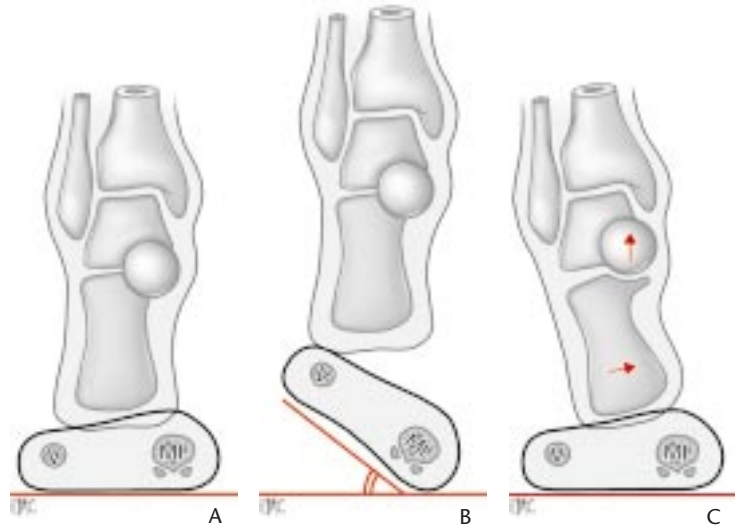


3 Schéma d'un pied creux direct mixte comportant à la fois une flexion plantaire de l'avant-pied sur l'arrière-pied et une verticalisation du calcaneus.

verticalisation des métatarsiens prédominant sur les rayons internes du pied, décroissante de dedans en dehors. L'appui transversal horizontal de l'avant-pied nécessite une compensation en supination de l'arrière-pied, portant le calcaneus en varus (fig 4, 5). Il s'ensuit un creusement de l'arche interne du pied alors que la surélévation de l'arche externe est modérée, voire absente. La supination de l'arrière-pied, autour de l'axe de la sous-taliennne, induit selon le schéma d'Inman^[14] une rotation automatique en dehors du segment jambier par rapport au pied (fig 6). À l'inverse, l'avant-pied se place en adduction dans un plan horizontal par rapport à l'arrière-pied fixé par la pince bimalléolaire. Le varus de l'arrière-pied est initialement réductible, dévoilant la pronation fixée de l'avant-pied.

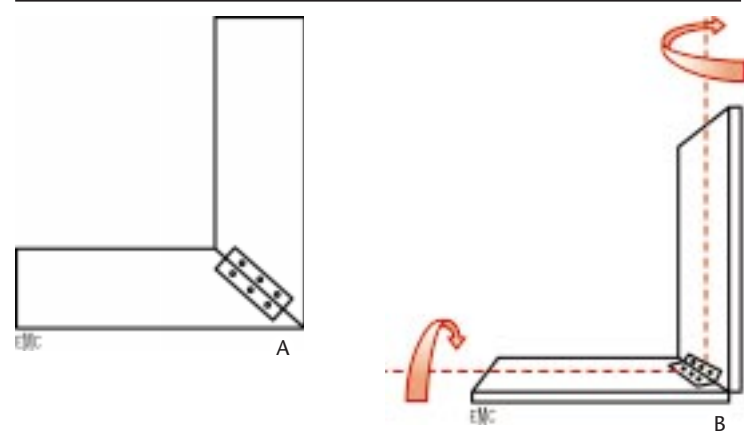


- 4 A. Représentation schématique spatiale d'un pied qui peut être obtenue aisément à partir d'un parallélépipède en mousse que l'on incise longitudinalement dans sa moitié postérieure.
 B. La superposition des deux éléments postérieurs ainsi obtenus schématise celle du talus sur le calcaneus faisant apparaître les arches longitudinales (l'arche interne étant la plus élevée) et les arches transversales du médiopied et de l'avant-pied.
 C. Verticalisation de l'arche interne représentant schématiquement un pied creux antéro-interne en décharge.
 D. Pour prendre appui au sol, l'avant-pied subit une supination relative entraînant une varisation de l'arrière-pied et une horizontalisation du talus.



- 5 A. Schéma de face d'un pied normal montrant l'appui horizontal de l'avant-pied (symbolisé par la tête du premier métatarsien : MI, et du cinquième métatarsien : V), et le valgus physiologique de l'arrière-pied.
 B. Schéma d'un pied creux antéro-interne en décharge, montrant la pronation de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied normalement axé.
 C. Lors de l'appui, pour restituer un appui transversal équilibré sous l'avant-pied, il apparaît une supination relative de l'arrière-pied portant le calcaneus en varus et entraînant une horizontalisation du talus.

Il s'enraidit habituellement progressivement au cours de l'évolution pour devenir irréductible. Il s'y associe fréquemment une griffe des orteils avec flexion des articulations interphalangiennes et verticalisation des premières phalanges, pouvant aboutir à une perte



- 6 A. Le schéma d'Inman représente des planchettes perpendiculaires assemblées par une charnière sur la bissectrice de l'angle droit symbolisant l'axe de Henke de l'articulation sous-astragalienne.
 B. La rotation axiale d'une des deux planchettes entraîne nécessairement une rotation dans le même sens de l'autre. C'est ce qui se passe lors de la position debout en charge, toute rotation externe du membre inférieur tendant à faire apparaître une supination du pied autour de son axe antéropostérieur. Dans le pied creux antéro-interne en charge, le varus de l'arrière-pied s'accompagne d'une rotation externe du membre inférieur autour de son axe vertical.

de l'appui pulpaire des orteils. Cette flexion dorsale métatarsophalangienne prédomine habituellement sur les rayons internes, augmentant ainsi la verticalisation des métatarsiens correspondants, ce qui majore la pronation de l'avant-pied. Cette verticalisation des rayons internes du pied, secondaire à la rétraction des métatarsophalangiennes en flexion dorsale entraînant une mise en tension de l'aponévrose plantaire selon les travaux de Hicks^[23], est actuellement considérée comme le mécanisme principal de l'apparition du pied creux (fig 7). La cause première en serait la faiblesse relative des muscles interosseux par rapport aux muscles fléchisseurs et extenseurs des orteils (fig 8), le varus compensateur de l'arrière-pied et la rotation externe du segment jambier n'en seraient que la conséquence. La verticalisation progressive de l'avant-pied détermine en charge une horizontalisation du talus correspondant à une flexion dorsale compensatrice de la cheville. Un excès de chute de l'avant-pied par rapport aux possibilités de flexion dorsale compensatrice de la cheville détermine un aspect d'équin du pied par rapport à la jambe, mais qui se consomme uniquement dans l'avant-pied alors que l'arrière-pied est en flexion dorsale par rapport à la jambe. Une rétraction relative du triceps peut participer à la fixation du varus calcaneen. Cependant, la verticalisation habituelle du calcaneus traduit habituellement l'absence de rétraction réelle du triceps.

PIED CREUX VALGUS

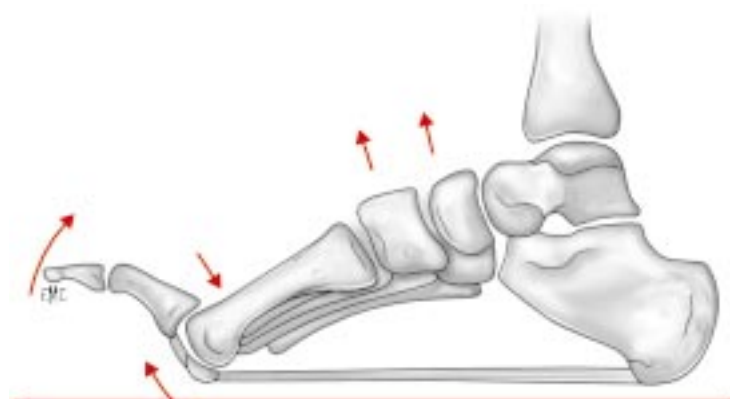
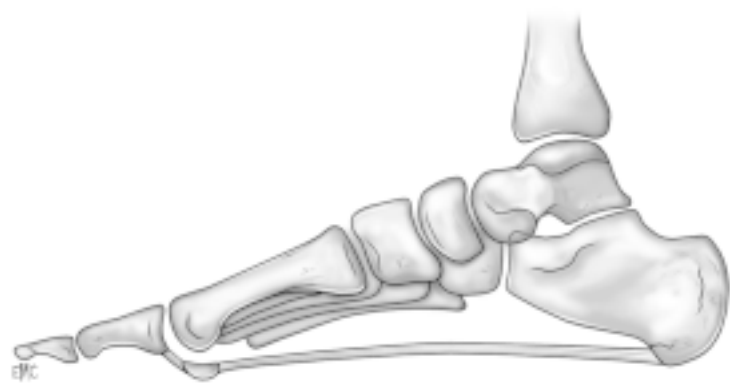
Il comporte une pronation de l'arrière-pied (calcaneus en valgus), soulevant l'arche externe qui peut être aussi concave que l'arche interne^[27]. L'avant-pied est en supination compensatrice de la pronation de l'arrière-pied. Selon un schéma inverse par rapport à ce qui se passe dans le pied creux varus, la rotation externe du segment jambier par rapport au pied est ici diminuée : l'avant-pied apparaît en abduction dans le plan horizontal par rapport à l'arrière-pied fixé dans la pince bimalléolaire. En décharge, ce pied peut passer pour un pied plat, mais l'examen podoscopique confirme qu'il s'agit bien d'un pied creux.

Examen clinique du pied creux

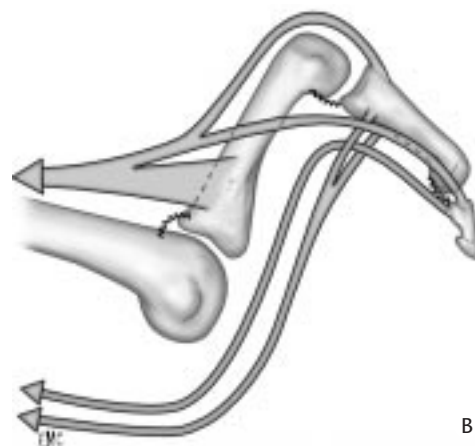
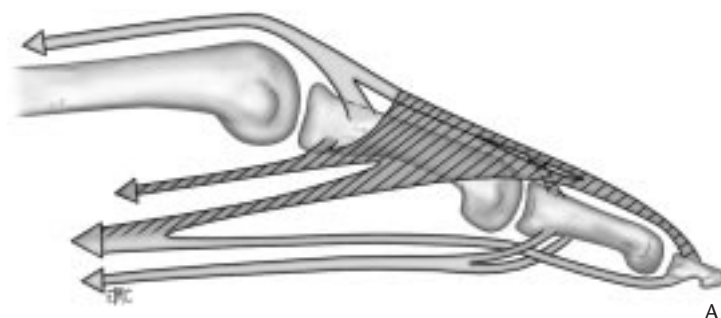
SIGNES FONCTIONNELS

■ Chez l'adulte

Les doléances concernant la déformation du pied et les difficultés au chaussage sont secondaires par rapport aux douleurs qui sont le motif principal de la consultation^[18] :



7 Selon le schéma de Hicks, la flexion dorsale métatarsophalangienne du gros orteil, par un effet de poulie, entraîne un raccourcissement de l'aponévrose plantaire et une flexion plantaire du premier métatarsien creusant l'arche interne et entraînant une pronation de l'avant-pied qui, en charge, nécessite une supination compensatrice de l'arrière-pied (d'après Hicks ^[23]).



8 Les griffes d'orteils peuvent participer à la genèse du pied creux.
A. Normalement, les muscles interosseux et lombricaux (en hachuré) stabilisent les métatarsophalangiennes, permettant l'action des muscles longs, fléchisseurs et extenseurs.
B. L'insuffisance relative des muscles interosseux et lombricaux entraîne une verticalisation de la première phalange au dos du métatarsien correspondant, entraînant l'apparition d'une griffe de l'orteil d'abord souple et réductible, puis enraidie par les rétractions musculaires et capsulaires.

– les métatarsalgies concernent habituellement l'ensemble des têtes métatarsiennes pouvant prédominer sous la première et la cinquième tête métatarsienne quand il s'agit d'un avant-pied transversalement creux ;

– les talalgies, volontiers en couronne, traduisent la rétraction du système suro-achilléo-plantaire faisant relais sur le calcaneus. Elles prédominent également souvent dans le pied creux postérieur ;

– des douleurs du dos du pied, au sommet de la déformation, sont souvent la conséquence d'un conflit avec le chaussage ;

– l'hyperappui douloureux peut siéger au bord externe du pied, surtout sous la styloïde du cinquième métatarsien, quand la pronation compensatrice de l'arrière-pied est majeure ;

– les douleurs sont très fréquentes aux orteils, en regard des durillons dorsaux interphalangiens proximaux ;

– l'instabilité en varus de la cheville avec entorses à répétition et douleurs sous-malléolaires externes est d'autant plus fréquente que le varus de l'arrière-pied et l'adduction de l'avant-pied sont importants (fig 9) ;

– la gêne au chaussage est dominée par un conflit sur les griffes d'orteils. Il peut s'y ajouter une douleur compressive sur la saillie du dos du pied, et une dégradation en varus de la coque talonnière de la chaussure. Les chaussures à talons plats sont habituellement mal supportées, à l'inverse des chaussures à talons surélevés.

■ Chez l'enfant

Les douleurs sont plus rares que les doléances concernant les difficultés du chaussage et l'usure rapide des chaussures, la déformation du pied, les troubles de la marche les pieds « en

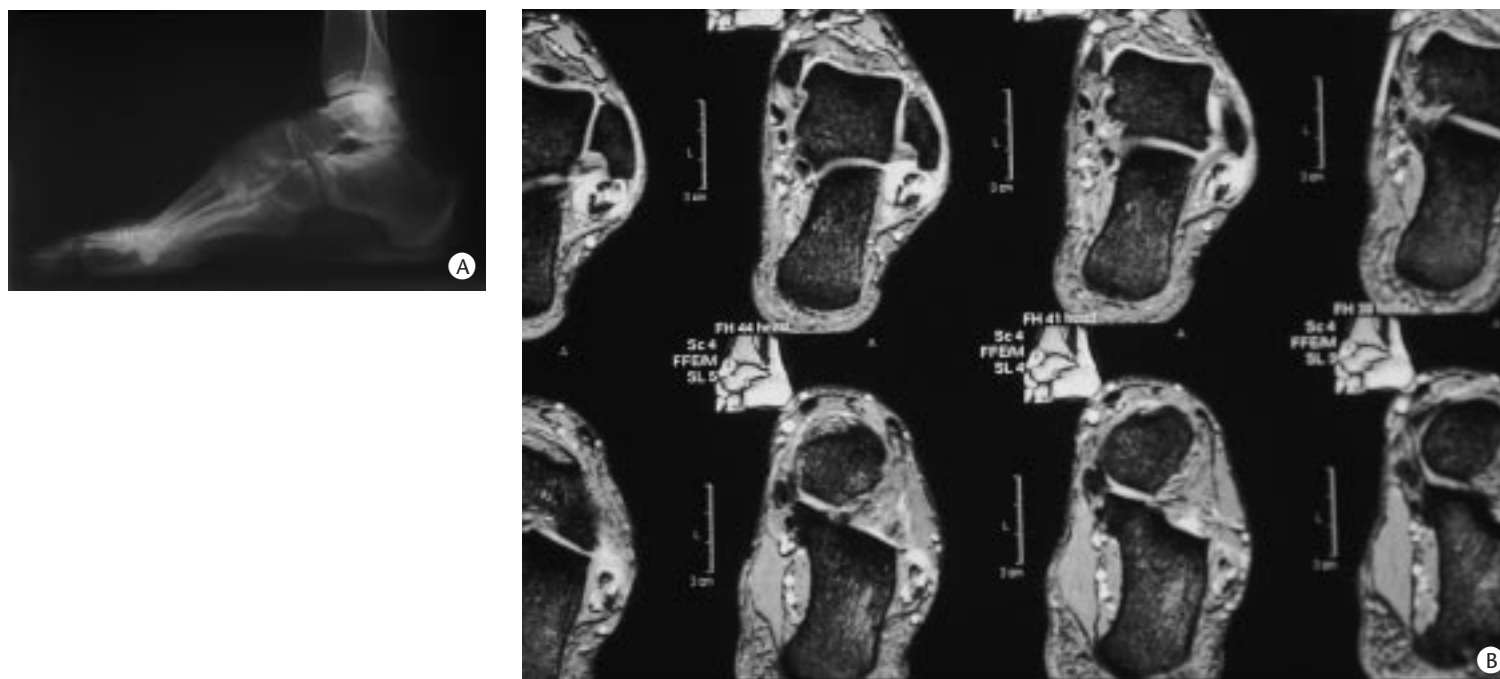
dedans », la fréquence des chutes et des entorses de cheville. À ce stade de l'examen, il faut évoquer une origine neurologique et s'enquérir des antécédents familiaux.

EXAMEN LOCAL

L'examen des chaussures est souvent édifiant, témoignant de leur déformation et de l'usure du bord externe de la semelle.

L'examen du pied déchaussé note la saillie dorsale du dos du pied, la concavité de la plante, les griffes d'orteils, les durillons siégeant sous les métatarsiens et au dos des orteils, éventuellement un effacement postérieur du talon correspondant à la verticalisation du calcaneus, le varus de l'arrière-pied et sa réductibilité, ainsi que celle de la pronation de l'avant-pied et celle des griffes d'orteils (fig 10, 11, 12). On évalue également la dénivellation en décharge entre l'avant-pied et l'arrière-pied et les amplitudes de flexion dorsale de la cheville, la fuite dorsale du pied étant souvent limitée par l'horizontalisation du talus.

L'examen podoscopique ^[4, 18] (fig 13) révèle la diminution ou la disparition de la bandelette externe d'appui permettant le classement podoscopique en trois degrés (fig 14). La disparition de la bandelette externe d'appui peut être absente si le pied creux comporte une supination importante du calcaneus. On note la disparition de l'appui pulpaire sur les griffes très évoluées. L'examen du patient vu de dos debout sur le podoscope permet également d'évaluer l'axe des arrière-pieds, la convergence des talons vers le bas et l'écartement des malléoles internes définissant le varus. Debout de face, les pieds étant joints, le strabisme divergent des rotules rend compte de la rotation externe des segments jambiers par rapport au pied quand la supination de l'arrière-pied est importante. L'impossibilité de s'accroupir sans décoller les talons traduit la limitation de la flexion dorsale des chevilles.



9 Radiographies d'un homme de 45 ans présentant un pied creux.
 A. Cliché en charge de profil avec varus de l'arrière-pied responsable d'une instabilité avec entorse récidivante et ténosynovite fissuraire des péroniers.
 B. Imagerie par résonance magnétique montrant les lésions des tendons péroniers.



10 Déformation fixée d'un pied creux très évolué d'origine neurologique chez un jeune patient de 16 ans atteint d'une maladie de Charcot-Marie-Tooth avec important creusement de l'arche interne, saillie dorsale du dos du pied, effacement du talon, griffe des orteils et dénivellation entre avant-pied et arrière-pied.



11 Même patient que celui de la figure 10 : vue antérieure du pied montrant la déformation hélicoïdale du pied avec pronation de l'avant-pied et varus de l'arrière-pied.



12 Même patient que celui des figures 10 et 11 : noter le durillon d'appui sous le premier métatarsien et les griffes d'orteils.

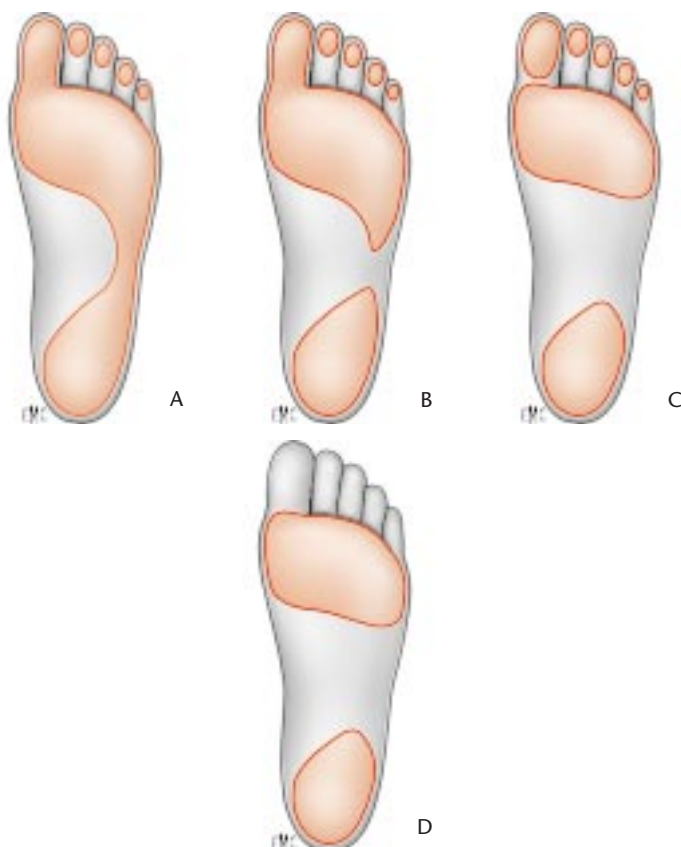


13 Examen podoscopique d'un patient présentant un pied creux bilatéral avec disparition de la bandelette d'appui latérale reliant l'avant- et l'arrière-pied.

en dedans, et une sortie de pas sur l'extrémité antéroexterne de l'avant-pied. La marche sur la pointe des pieds est habituellement possible à l'inverse de la marche sur les talons, limitée par le défaut de flexion dorsale des chevilles.

À la marche, à la phase oscillante, selon l'état neurologique, on peut noter un certain degré de steppage, une accentuation de l'inversion du pied, une contraction compensatrice des extenseurs des orteils s'il existe une insuffisance du jambier antérieur. À la phase d'appui, on peut noter une attaque du talon en varus exagéré, une varisation dynamique du calcaneus dans le pas postérieur, une démarche pieds

Le test de la planchette, décrit par Coleman^[9], consiste à placer une planchette oblique sur le bord antéroexterne du pied, portant l'avant-pied en pronation par soulèvement des rayons externes. Il permet d'évaluer la réductibilité du varus de l'arrière-pied et la réapparition d'un valgus calcaneen physiologique si le couple de torsion est resté souple.



- 14** Empreintes plantaires du pied creux.
 A. Pied creux du premier degré avec diminution de l'isthme entre les appuis antérieur et postérieur, devenu inférieur à un tiers de la largeur du pied.
 B. Pied creux du deuxième degré : l'isthme d'appui latéral est interrompu avec persistance partielle des prolongements des appuis antérieurs et postérieurs.
 C. Pied creux du troisième degré avec perte complète de la bandelette latérale d'appui.
 D. Pied creux du troisième degré avec perte d'appui pulpaire des orteils liée aux griffes.

EXAMEN NEUROLOGIQUE

Il est essentiel. Il est au mieux réalisé au cours d'une consultation spécialisée et comporte l'étude des réflexes, la recherche d'une amyotrophie locorégionale des membres supérieurs, des troubles du tonus, un testing musculaire centré sur les muscles de la jambe et du pied, l'étude de la sensibilité profonde et une enquête familiale pouvant déboucher sur la mise en évidence d'une étiologie neurologique dominée chez l'adulte par la maladie de Charcot-Marie-Tooth^[2]. Des examens complémentaires à visée étiologique sont éventuellement demandés en milieu spécialisé.

Radiologie du pied creux

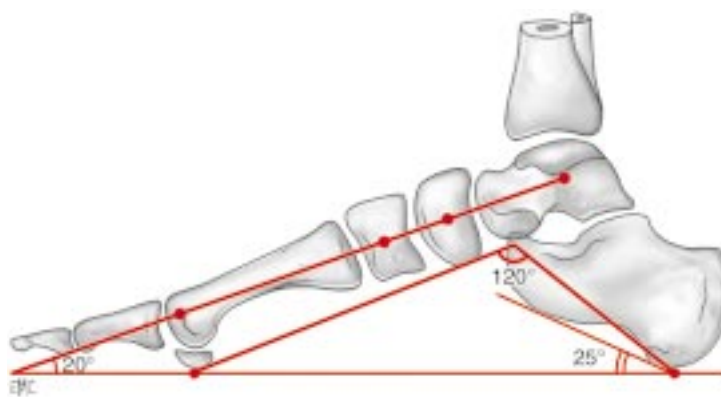
Comme pour toute pathologie statique du pied, les simples clichés « pieds de face et de profil » n'ont aucun intérêt. Seul un bilan radiographique en charge permet d'apprécier les déformations, de les quantifier et d'en suivre l'évolution. Ce bilan doit comporter un cliché de profil en charge des orteils au talon, une incidence dorsoplantaire centrée sur l'avant-pied et un cliché de Meary (arrière-pied de face en charge avec cerclage métallique du talon)^[5, 16].

CLICHÉ DE PROFIL EN CHARGE^[38, 45]

Il permet d'affirmer le pied creux, d'en mesurer l'importance et les modalités architecturales (fig 15).

■ Angle de Djian-Annonier

Il est tracé à partir des points les plus bas du calcaneus, de la tête du talus et des sésamoïdes (angle de l'arche médiale). Son sommet à



- 15** Schéma des repères radiologiques appréciant une arche interne normale à partir d'un cliché radiographique de profil en charge. L'axe du premier métatarsien est superposé à celui du talus. L'angle de Meary-Tomeno est nul, réalisant la ligne de Meary-Tomeno. L'angle de Djian-Annonier, tracé à partir des points les plus bas du sésamoïde interne, de la tête du talus et de la grosse tubérosité du calcaneus, mesure normalement 120 à 125°. Un angle inférieur définit un pied creux. L'angle d'attaque du premier métatarsien et la pente du calcaneus, par rapport au sol, mesurent respectivement 20° et 25°.

sinus inférieur mesure normalement 120 à 125°. Un angle inférieur définit un pied creux, indépendamment du siège antérieur, postérieur ou mixte de la déformation. L'angle de Djian-Annonier apprécie la hauteur de l'arche interne, celle de l'arche externe s'apprécie par la hauteur de la styloïde du cinquième métatarsien par rapport au sol. Sur un pied creux valgus, l'arche externe peut être très accentuée, alors même que l'arche interne est normale, voire abaissée (fig 16).

■ Angle de Meary-Tomeno

Il est formé par l'axe du premier métatarsien et celui du talus (bissectrice entre les tangentes supérieure et inférieure du talus). Sur un pied normal, cet angle est égal à 0° (ligne de Meary-Tomeno) ; lorsqu'il est positif, l'axe du talus passant en avant et au-dessus de celui du métatarsien, il caractérise un pied creux antérieur. Il permet d'en évaluer directement l'importance et de localiser le sommet de la déformation qui peut varier entre l'articulation taloscaphoïdienne et la cunéométatarsienne.

■ Angle d'attaque des métatarsiens ou pente des métatarsiens

Il est mesuré entre l'axe de chacun des métatarsiens et le plan du sol diminue normalement régulièrement du premier métatarsien (20°) au cinquième métatarsien (5°). L'angle d'attaque du premier métatarsien est augmenté dans le pied creux. Il ne préjuge en rien du caractère antérieur ou postérieur de la déformation du fait de la compensation dans l'articulation de la cheville pour rétablir l'appui horizontal antéropostérieur de la plante du pied.

■ Pente du calcaneus

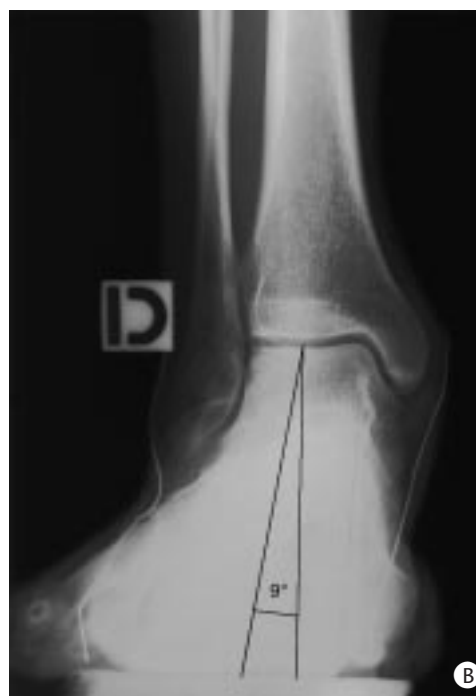
C'est l'angle d'inclinaison entre la tangente plantaire du calcaneus et le sol. Il mesure normalement 15 à 25°. Il est augmenté dans le pied creux.

■ Angle tibioastragalien

Il se mesure entre l'axe du tibia et celui du talus et est normalement de 110°, sa diminution correspondant à une horizontalisation du talus venant limiter les amplitudes de flexion dorsale de la cheville et expliquer le défaut de fuite dorsale du pied dans les pieds creux antérieurs et mixtes.

■ Autres repères

Plusieurs repères permettent d'apprécier, sur le cliché de profil, les autres déformations associées dans le pied creux varus (fig 17, 18) :



16 Radiographies en charge du pied droit d'un patient de 40 ans, sportif (coureur de demi-fond) présentant depuis quelques semaines une déformation évolutive du pied secondaire à une rupture récente du tendon distal du jambier postérieur. L'aspect clinique est celui d'un pied plat valgus alors que l'empreinte podoscopique est celle d'un pied creux.

A. Cliché de profil en charge montrant une arche interne de hauteur subnormale, une importante élévation de l'arche externe avec disparition du cuboïde et du cinquième métatarsien. L'avancée de la malléole externe témoigne de la rotation interne relative de la jambe.

B. Arrière-pied de face en charge montrant un valgus important de l'arrière-pied.

C. Cliché dorsoplantaire de face en charge de l'avant-pied montrant du côté droit une découverte relative de la moitié interne de la tête astragaliennne, témoignant de l'adduction du pied en avant de l'articulation médiotarsienne.



– la diminution de la superposition du bec de la grande apophyse du calcaneus sur la partie inférieure de la tête du talus traduit le varus de l'arrière-pied ;

– le recul du péroné par rapport au tibia permet de visualiser la rotation externe de la jambe par rapport au pied ;

– la supination de l'arrière-pied et du médiopied, dans la sous-talienne, se traduit par un élargissement vertical du médiopied, pouvant aller jusqu'à la disparition de la superposition de la partie haute du cuboïde sur le bas du scaphoïde ; la supination est d'autant plus évidente que l'arche interne est élevée et l'arche externe abaissée, voire annulée ;

– la pronation de l'avant-pied peut être évaluée par l'augmentation de la divergence des axes des métatarsiens ;

– la griffe des orteils.

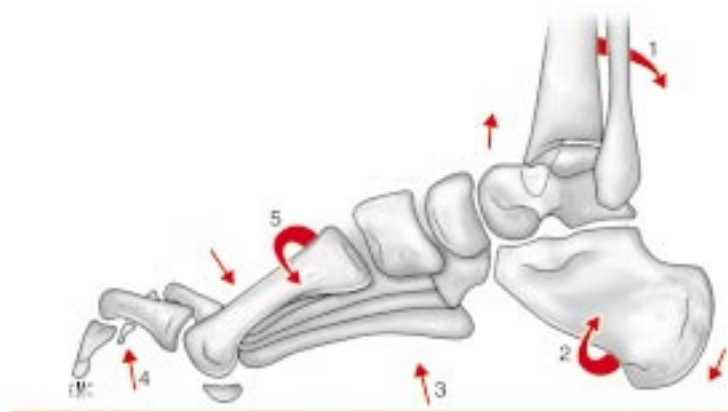
CLICHÉ DE FACE EN CHARGE DU PIED ET DE LA CHEVILLE AVEC CERCLAGE MÉTALLIQUE DU TALON

Il permet d'apprécier la position du talon dans le plan frontal. L'axe du tibia coupe normalement la zone d'appui du talon à l'union du tiers interne et des deux tiers externes, matérialisant le valgus

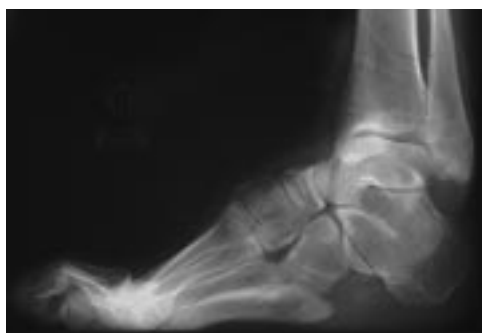
physiologique. Une médialisation de la zone d'appui du talon par rapport à cet axe définit le varus. Il faut s'assurer que la cheville est parfaitement de face pour que cette mesure soit fiable, et que le cerclage métallique passe bien par le talon et non par le plan des malléoles, ce qui en diminue l'amplitude. L'adjonction d'une talonnette radiotransparente sous le talon permet de supprimer la superposition du calcaneus sur l'avant-pied et de mieux apprécier des appuis métatarsiens et sésamoïdiens. Ce cliché permet également de visualiser l'adduction de l'avant-pied dans le plan horizontal par rapport à la cheville. L'adjonction d'un coin radiotransparent surélevant le bord antéroexterne du pied (équivalant au test clinique de la planchette) permet d'apprécier la réductibilité du varus calcaneen (fig 19).

CLICHÉ DORSOPLANTAIRE EN CHARGE DE L'AVANT-PIED

Il permet d'apprécier l'ouverture de la palette métatarsienne et l'adduction de l'avant-pied. Un faux aspect de varisation des métatarsiens traduit la pronation de l'avant-pied par rapport au médiopied.



17 Schéma d'un pied creux complexe associant une pronation de l'avant-pied compensée par le varus de l'arrière-pied, une horizontalisation du talus, une rotation externe du segment jambier et des griffes des orteils.



18 Radiographie de profil en charge d'un pied creux complexe d'origine neurologique : la disparition de la superposition du bec du calcaneus sur la tête du talus traduit le varus sous-astragalien ; le recul de la malléole externe, la rotation externe de la jambe par rapport au pied. L'élargissement vertical du médiopied indique sa supination : le cinquième métatarsien est en contact avec le sol alors que l'arche interne est très élevée. L'augmentation de la divergence des métatarsiens d'avant en arrière traduit la pronation relative de l'avant-pied.

Étiologie des pieds creux

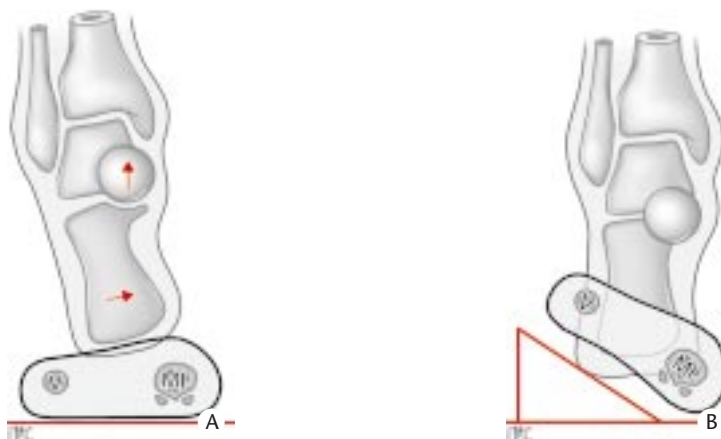
Les étiologies des pieds creux se répartissent en plusieurs groupes largement dominés, pour leur fréquence et leur gravité, par les causes neurologiques.

PIED CREUX PAR HYPERTROPHIE DE LA FONCTION [7]

Il est classique de rappeler le pied creux du tireur de pouce-pousse. En pathologie sportive, les pieds creux sont fréquents chez les athlètes, en particulier les *sprinters*.

PATHOLOGIES OSTÉOARTICULAIRES DIVERSES

Certaines peuvent aboutir à un pied creux. En traumatologie du pied, on peut rencontrer des pieds creux après fracture méconnue ou mal traitée du médiopied et, plus particulièrement, après fracture-luxation tarsométatarsienne. En traumatologie du membre inférieur, et plus particulièrement de la jambe, on observe des pieds creux après fractures graves, soit par défaut d'appui prolongé avec insuffisance de rééducation, soit à la suite d'un syndrome des loges après un traumatisme musculaire grave [28]. Une rétraction du système suro-achilléo-plantaire peut se voir après une immobilisation prolongée par plâtre en position vicieuse ou après simple alitement prolongé avec défaut de rééducation. Le creux est ici habituellement associé à un équin. Les cicatrices rétractiles de brûlures, en particulier plantaires, peuvent être en cause. Le pied creux est plus rare en rhumatologie : la polyarthrite rhumatoïde génère beaucoup plus de pieds plats que de pieds creux.



19 A. Schéma d'un pied creux varus en charge.

B. L'adjonction d'une cale sous le bord antéroexterne de l'avant-pied corrige le varus de l'arrière-pied si l'articulation sous-taliennne est souple. Ce test clinique (test de Coleman) peut être reproduit radiographiquement sur un cliché de face en charge du pied et de la cheville avec cerclage métallique du talon.

PIED CREUX D'ORIGINE NEUROLOGIQUE

Les causes neurologiques dominent les étiologies du pied creux par leur gravité et leurs risques évolutifs sinon par leur fréquence [13, 37]. Cela implique, devant tout pied creux, d'évoquer une cause neurologique, de réaliser un examen neurologique approfondi et d'orienter le patient vers une consultation spécialisée : « le pied creux est d'origine neurologique jusqu'à preuve du contraire ». Contrairement au pied rhumatologique qui est un organe diagnostique dont la sémiologie peut orienter vers une cause étiologique, le diagnostic de l'étiologie neurologique d'un pied creux ne peut être fait que par un examen neurologique systématique. Par ordre de fréquence décroissante, ces étiologies sont dominées par la maladie de Charcot-Marie-Tooth, les séquelles d'infirmité motrice cérébrale, les myopathies, et les dysraphismes spinaux [2, 45].

■ Myopathies

Dans le cadre des dystrophies musculaires progressives dominées par la myopathie de Duchenne, l'atteinte sévère débute chez l'enfant avec une pseudohypertrophie rétractile du triceps associée à un déficit des muscles de la loge antéroexterne de jambe. Le pied creux est associé à un équin puis à un varus avec steppage.

La rétraction tend secondairement à fixer les déformations. Une prise en charge chirurgicale est rare du fait de la gravité évolutive de la maladie ; le *nursing* et l'appareillage visent à préserver autant que possible les possibilités de station debout et de marche.

■ Neuropathies périphériques

Les atteintes du motoneurone périphérique aboutissent à des tableaux très polymorphes selon les combinaisons des diverses atteintes musculaires élémentaires. La poliomyélite représentait autrefois une cause fréquente de pieds creux neurologiques qui reste majeure dans les zones d'endémie. Les lésions tronculaires du sciatique poplitée externe (SPE) (nerf fibulaire commun) donnent un pied tombant et un steppage dans la phase oscillante qui peuvent évoluer vers un pied creux, de même que celles du nerf tibial postérieur (nerf tibial) qui peuvent aboutir à un pied creux par prédominance du long péronier latéral (long fibulaire). Les polynévrites, quelles que soient leurs origines, peuvent donner tardivement des pieds creux.

■ Lésions des racines spinales ou de la moelle lombosacrée

Elles peuvent aboutir à un pied creux, qu'il s'agisse des atteintes de L5 ou de S1 d'origine tumorale compressive ou post-traumatique,

que leur atteinte soit évidente (sciatique paralysante) ou occulte révélée par l'enquête étiologique d'un pied creux. Il en est de même des atteintes malformatives de la moelle lombosacrée telles que les séquelles de spina bifida et les différentes expressions d'un dysraphisme spinal occulte.

L'examen du rachis lombaire doit faire partie du bilan étiologique d'un pied creux.

■ **Hérédodégénérescences du système nerveux périphérique**

Les neuropathies héréditaires sensitivomotrices (NHSM) représentent actuellement la principale étiologie des pieds creux varus décompensés de l'adulte, en particulier dans les séries chirurgicales^[1]. Leur caractère bilatéral et les antécédents familiaux de pied creux sont fortement évocateurs. La neuropathie sensitivomotrice de Charcot-Marie-Tooth (NHSM types I et II) débute dans l'enfance ou l'adolescence. L'amyotrophie neurogène distale progresse lentement, le déficit débutant habituellement aux muscles interosseux et s'étendant aux muscles de la loge antérolatérale de la jambe, entraînant steppage et entorses à répétition. Le déséquilibre des balances musculaires aboutit à l'accentuation des déformations^[33, 39, 49]. La faiblesse du jambier antérieur (tibial antérieur) par rapport au long péronier latéral (long fibulaire) creuse l'arche interne. Celle du court péronier latéral par rapport au jambier postérieur (tibial postérieur) accentue le varus ; la faiblesse du court péronier latéral (court fibulaire) laisse s'abaisser l'arche externe par supination de l'arrière-pied, alors que le long péronier latéral, plus tardivement déficitaire, accentue la pronation compensatrice de l'avant-pied. La maladie de Déjerine-Sottas (NHSM type III) peut aboutir à un pied creux varus, voisin dans son tableau clinique de celui de la maladie de Charcot-Marie-Tooth avec des troubles sensitifs plus marqués. Dans la maladie de Friedreich, la plus fréquente des hérédodégénérescences spinocérébelleuses, le pied creux s'associe à un syndrome neurologique plus complexe.

■ **Neuropathies centrales**

Le pied creux est fréquent dans les atteintes pyramidales, d'origine corticale (hémipariétales, encéphalopathies) et dans les lésions médullaires spasmodiques (d'origine traumatique, tumorale ou infectieuse). Il s'intègre habituellement dans un tableau de pied creux varus équin spastique. Il est plus rare dans les syndromes extrapyramidaux tels que la maladie de Parkinson où le pied creux varus équin peut être le syndrome inaugural.

PIED CREUX ESSENTIEL

Le caractère idiopathique du pied creux est défini par l'absence de résultat de l'enquête étiologique. Son existence même est discutée. Sa fréquence semble diminuée par la qualité du bilan neurologique effectué. Ainsi, le pied creux essentiel doit rester un diagnostic d'élimination. Bien que sa fréquence dans diverses séries varie de 10 à 50 %, la présence très fréquente d'antécédents familiaux conduit à le considérer comme le symptôme d'une pathologie neurologique occulte, voire comme le prodrome d'une pathologie non encore identifiable.

Traitement du pied creux

BUTS

Que le traitement soit médical (orthétique ou rééducatif) ou chirurgical, son but est avant tout de répondre aux doléances fonctionnelles du patient, essentiellement liées aux douleurs plantaires par défaut de répartition d'appui, aux douleurs dorsales liées aux conflits des orteils et du dos du pied avec le chaussage, et à l'instabilité responsable de chutes et d'entorses à répétition.

Les moyens mis en œuvre visent à prévenir la progression des déformations dans les stades précoces, à corriger les déformations

osseuses des pieds creux plus évolués dont les lésions sont fixées, et à diminuer les déséquilibres musculaires du pied et de la cheville^[6].

MOYENS

■ **Moyens médicaux**

Orthèses plantaires

Elles ont pour but de corriger pour partie les déformations réductibles, de soulager les hyperappuis plantaires par répartition d'appui sur les pieds fixés et, d'une manière générale, de stabiliser la colonne d'appui et de freiner l'évolutivité des déformations. Le talon de la semelle peut comporter un coin pronateur postérieur pour réduire un varus réductible^[41] (coin pronateur ou sous-calcanéen externe) ; il est mal supporté si le varus est fixé. Dans ce cas, une simple cuvette peut participer à la stabilisation transversale de l'arrière-pied. Une surélévation modérée peut participer à la compensation d'un équin. Elle ne doit pas être trop importante (8 à 10 mm) afin de ne pas favoriser le déchaussage du talon dans le pas postérieur. Au-delà, il est préférable que la surélévation soit réalisée sous la chaussure ou dans une chaussure à tige montante. L'appui rétrocapital soulage les hyperappuis des têtes métatarsiennes ; il s'agit le plus souvent d'une barre rétrocapitale transversale, principalement adaptée en arrière des callosités.

Les matériaux doivent être aussi confortables et amortissants que possible afin de compenser le défaut d'amortissement du pied, lié pour une bonne part à la verticalisation des appuis.

Adaptation des chaussures

D'une manière générale, un chaussage adapté comporte une chambre antérieure de volume suffisant pour soulager les conflits au dos des orteils et au dos du pied, une surélévation modérée du talon pour compenser le défaut de fuite dorsale du pied et éventuellement une tige montante pour le stabiliser transversalement. Un chaussage sur mesure peut être envisagé dans les cas évolués afin d'obtenir un volume intérieur suffisant pour loger à la fois les déformations et la semelle adaptée et de réaliser une tige montante suffisamment rigide pour stabiliser le varus de l'arrière-pied avec élargissement du talon en dehors pour établir un aplomb nécessaire à la distribution verticale des contraintes et pour obtenir la stabilité en varus. Une discrète surélévation de l'avant de la chaussure, en barquette, peut aider au déroulement du pas mais doit rester modérée afin de ne pas déstabiliser l'appui dans le sens antéropostérieur sur un pied déjà raccourci.

Kinésithérapie

Elle a pour but d'entretenir les amplitudes articulaires passives du pied et des orteils et de réaliser des étirements des muscles évoluant vers la rétraction. Elle n'a pas fait la preuve de son efficacité à titre curatif, mais peut être utile dans les phases particulièrement évolutives. Plus globalement, elle peut aider à l'entretien des stratégies de marche et d'équilibre.

■ **Moyens chirurgicaux**

Plusieurs gestes chirurgicaux sont réalisés, éventuellement associés, selon des modalités différentes, qu'ils s'adressent au pied creux de l'enfant ou au contraire à celui de l'adolescent en fin de croissance ou à celui de l'adulte^[6, 30, 47].

Les *libérations plantaires*^[34, 40] ont pour but de détendre les rétractions plantaires ; elles peuvent être, soit élargies (*fig 20*), comportant la section des formations aponévrotiques et capsuloligamentaires plantaires, geste considéré comme difficile à doser car source d'hypercorrection et d'hypocorrection^[45], soit sélectives, intéressant essentiellement l'aponévrose plantaire et les éléments s'insérant sur le calcaneus, habituellement associées à des gestes osseux (*fig 21*).

Les *transpositions tendineuses*, dont les techniques sont nombreuses, visent à restaurer les balances musculaires pour rééquilibrer le pied et freiner l'évolution des déformations.



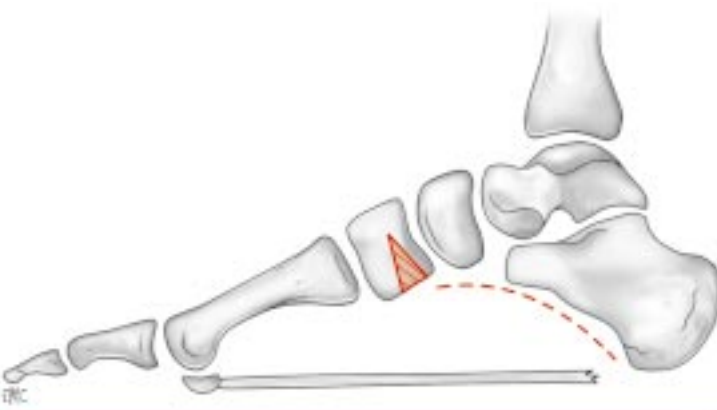
20 Schéma d'une libération élargie des parties molles plantaires.



22 Schéma d'ostéotomies extra-articulaires en correction d'un pied creux modéré associant ici une ostéotomie de valgisation et d'horizontalisation du calcaneus et une ostéotomie basimétatarsienne de soustraction.



23 Ostéotomie basimétatarsienne en chevron pour correction d'un pied creux antéro-interne modéré par verticalisation élektive du premier métatarsien.

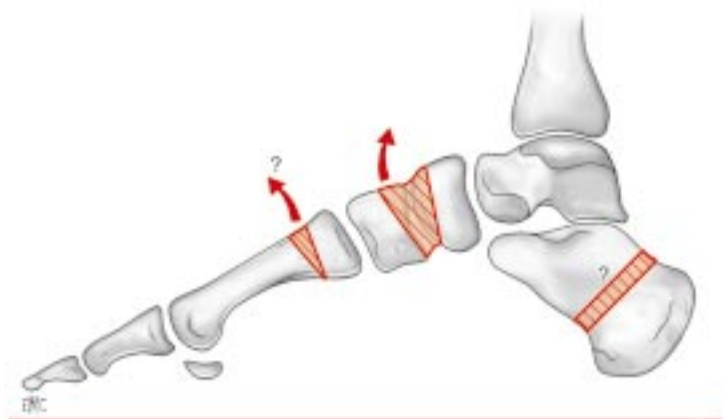


21 Libération sélective des parties molles plantaires intéressant essentiellement l'aponévrose plantaire et les éléments s'insérant sur le calcaneus associée ici à une ostéotomie d'ouverture du premier cunéiforme par addition d'un coin osseux.

Les ostéotomies du calcaneus : les ostéotomies de varisation par soustraction externe selon Dwyer^[12, 17, 22, 31] ont été largement

utilisées, mais donnent des résultats décevants lorsqu'elles sont utilisées isolément. Elles sont actuellement proposées comme des gestes d'appoint en association à une ostéotomie du médiopied ou de l'avant-pied, au même titre que les ostéotomies d'horizontalisation du calcaneus^[42] (fig 22).

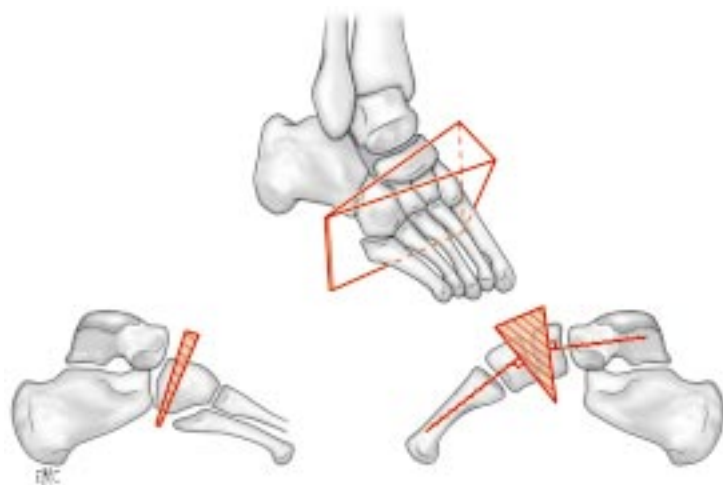
Les ostéotomies basimétatarsiennes de relèvement par soustraction cunéiforme ont l'avantage de ne pas supprimer d'interligne articulaire^[3, 32, 51]. Elles sont actuellement habituellement associées dans cet esprit à une ostéotomie calcanéenne et éventuellement à une libération plantaire sélective (fig 22). Les ostéotomies de relèvement isolées des métatarsiens internes sont proposées essentiellement en appoint, associées aux ostéotomies ou arthrodèses majeures des pieds creux très évolués^[21] ou plus rarement isolément pour un pied creux modéré à nette prédominance antéro-interne (fig 23).



24 Tarsectomie cunéiforme de soustraction corrigeant le pied creux dans le médio-pied en conservant les articulations de l'avant-pied et de l'arrière-pied. Un complément de correction peut être associé par ostéotomie extra-articulaire, calcanéenne ou métatarsienne.



25 La tarsectomie de Meary comporte une résection cunéiforme à base dorsale plus large sur le versant interne du pied que sur le versant latéral. Elle comporte certes une arthrodèse scaphocunéenne mais préserve la mobilité des articulations de l'arrière-pied et de l'avant-pied. Elle a l'inconvénient d'augmenter l'adduction de l'avant-pied (d'après Meary^[35]).



Les tarsectomies visent à corriger la déformation dans le tarse antérieur préservant la mobilité des interlignes médiotarsiens et tarsométarsiens (fig 24). La technique la plus utilisée est celle de Meary^[35] (fig 25), dérivée de la technique originale de Cole^[8]. Elle comporte une résection cunéiforme à base dorsale passant dans l'interligne scaphocunéen en dedans et à travers le cuboïde en dehors. Elle a l'inconvénient d'augmenter l'adduction de l'avant-pied (fig 26). Japas^[26] a proposé une ostéotomie en « chevron » à pointe proximale dans le scaphoïde limitant ainsi les arthrodèses dans le tarse antérieur.



26 Radiographie avant (A) et après (B) traitement chirurgical d'un pied creux par résection médiotarsienne selon Meary associée à une ostéotomie du calcaneus.



27 Radiographie d'un pied creux direct compliqué d'arthrose médiotarsienne traité par résection cunéiforme et arthrodèse de l'articulation médiotarsienne.

Les résections-arthrodèses tarsométarsiennes^[25, 29, 32] sont intéressantes quand il existe une importante déformation fixée dans cette articulation.

La résection-arthrodèse médiotarsienne^[24, 46] (fig 27), réalisant une soustraction cunéiforme à base dorsale et latérale centrée sur l'interligne de Chopart, autorise à la fois la correction du pied creux et celle du varus calcaneen quand l'articulation sous-talienne a gardé sa mobilité.

La double arthrodèse du couple de torsion associée à la précédente une arthrodèse sous-talienne permettant la correction des pieds creux varus fixés très évolués^[10, 19] (fig 28, 29).

La correction des griffes d'orteils est un geste associé mais indispensable à la qualité du résultat fonctionnel ; elle nécessite le plus souvent une arthrodèse interphalangienne proximale, permettant ainsi aux fléchisseurs des interphalangiennes de restaurer la flexion métatarsophalangienne. Sur des griffes souples, ce même geste de restauration de la fonction déficiente des muscles intrinsèques peut être obtenu par transfert d'un fléchisseur distal sur la première phalange^[11, 44, 50].



28 Schéma d'une double arthrodèse sous-talienne et médiotarsienne, permettant de corriger l'ensemble des déformations du médiopied et de l'arrière-pied, éventuellement complétée, dans les pieds creux très évolués, par une ostéotomie de relèvement du premier métatarsien.



29 Radiographie d'un pied creux antéro-interne évolué avec varus de l'arrière-pied.
A. Noter, en préopératoire, le recul de la malléole externe témoignant de la rotation externe de la jambe par rapport au pied, l'abaissement de l'arche externe par supination de l'arrière-pied et du médiopied et la divergence exagérée des métatarsiens témoignant de la pronation de l'avant-pied.
B. Sur le cliché postopératoire, la ligne de Meary-Tomeno est restaurée, l'avancée de la malléole externe traduit la correction de l'adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied ; l'ascension de la styloïde du cinquième métatarsien et la diminution de la hauteur du médiopied témoignent de la correction de la supination du médiopied. La pronation de l'avant-pied a été corrigée par ostéotomie métatarsienne. Les griffes des orteils ont été traitées dans le même temps.

L'allongement du tendon d'Achille permet de compenser une brièveté rétractile du triceps, participant ainsi à la correction de l'équin quand il existe. En présence d'un défaut de fuite dorsale par horizontalisation de l'astragale, il ne peut autoriser qu'un gain de quelques degrés de flexion dorsale, mais participe à la libération du varus calcanéen.

INDICATIONS

Chez l'enfant, les indications chirurgicales ne se conçoivent que si la déformation a fait la preuve de son évolutivité et s'accompagne d'une gêne fonctionnelle non maîtrisée par le chaussage et les orthèses. Le geste chirurgical associe des libérations plantaires et des ostéotomies extra-articulaires préservant les interlignes articulaires, éventuellement en association avec des gestes tendineux pour rééquilibrer les balances musculaires.

En fin de croissance puis chez l'adulte, les indications chirurgicales ne s'adressent qu'au pied creux décompensé avec hyperappui douloureux et/ou instabilité, si les moyens médicaux restent insuffisants, et pour améliorer les possibilités de chaussage^[47]. Dans les rares cas où la gêne fonctionnelle est importante avec des déformations peu évoluées et non évolutives, les ostéotomies extra-articulaires de l'avant-pied et de l'arrière-pied sont la technique de choix. La tarsectomie reste la technique la plus utilisée, mais n'aboutit qu'à une correction de 15 à 20° et nécessite que l'arrière-pied soit souple^[13]. Dans les pieds creux varus évolués avec déformations importantes et fixées ou si les risques évolutifs sont très importants du fait d'une grande dysharmonie des balances musculaires, la double arthrodèse médiotarsienne et sous-talienne doit être préférée car elle permet à la fois de plus grandes corrections angulaires, une meilleure stabilité de l'arrière-pied à la marche et s'accompagne de moins de risques d'évolutivité du pied creux.

Références

- [1] Alexander II, Johnson KA. Assessment and management of pes cavus in Charcot-Marie-Tooth disease. *Clin Orthop* 1989 ; 246 : 273-281
- [2] Bardot A, Curvale G. Le pied neurologique. In : Bouysset M éd. Le pied en rhumatologie. Paris : Springer-Verlag, 1998 : 81-101
- [3] Barouk S, Rippstein P, Toulllec E. Nouvelle ostéotomie oblique proximale métatarsienne dans le traitement des métatarsalgies et du pied creux (ostéotomie BRT). *Rev Chir Orthop* 2001 ; 87 (suppl 6) : 2534
- [4] Bouysset M, Lejeune E, Bouvier M, Schnepf J, Carret JP. L'examen de l'empreinte plantaire est-il désuet ? *Méd Chir Pied* 1987 ; 3 : 89-91
- [5] Bouysset M, Tavernier T. La radiographie du pied. In : Bouysset M éd. Le pied en rhumatologie. Paris : Springer-Verlag, 1998 : 38-44
- [6] Bradley GW, Coleman SS. Treatment of the calcaneocavus foot deformity. *J Bone Joint Surg Am* 1981 ; 63 : 1159-1166
- [7] Braun S. Formes cliniques du pied creux antérieur. In : Claustre J, Simon L éd. Troubles congénitaux et statiques du pied : orthèses plantaires. Paris : Masson, 1982 : 70-83
- [8] Cole WH. The treatment of claw-foot. *J Bone Joint Surg* 1940 ; 22 : 895-908
- [9] Coleman SS, Chesnut WJ. A simple test for hindfoot flexibility in the cavovarus foot. *Clin Orthop* 1977 ; 123 : 60-62
- [10] Curvale G, Godchaux JC, Bataille JF, Rochwerger A, Groulier P. Place de l'arthrodèse du couple de torsion dans le traitement des pieds neurologiques de l'adulte. À propos de 50 doubles arthrodèses revues avec un recul moyen de 5 ans. *Rev Chir Orthop* 1997 ; 83 (suppl 2) : 805

- [11] Curvale G, Mattei JP, Piclet-Legre B, Jouve JL, Groulier P. Pathologie non traumatique des orteils. *Encycl Méd Chir* (Éditions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris), 1996 : Appareil locomoteur, 14-130-A-10, 1-10
- [12] Curvale G, Tracol P, Devred P, Groulier P. Les ostéotomies du calcaneus dans les troubles statiques du pied de l'adulte. In : Claustre J, Simon L éd. Monographie de podologie : pathologie du talon. Paris : Masson, 1986 : 93-97
- [13] Dauplat G. La tarsectomie antérieure dans le traitement du pied creux de l'adulte. [thèse], Université de Lille II, 2001 : 1-138
- [14] De Doncker E, Kowalski C. Le pied normal et pathologique. Notions d'anatomie, de physiologie et de pathologie des déformations du pied. *Acta Orthop Belg* 1970 ; 36 : 383-559
- [15] Delagoutte JP, Bonnel F. Le pied. Pathologie et techniques chirurgicales. Paris : Masson 1989 :
- [16] Djian A, Annonier C. Mesures des déviations angulaires du pied. In : Coussemont A, Faure C éd. Repères et mesures en imagerie médicale. Paris : Expansion Scientifique Française, 1991 : 216-221
- [17] Dwyer FC. Osteotomy of the calcaneum for pes cavus. *J Bone Joint Surg Br* 1959 ; 41 : 80-86
- [18] Eulry F, Flaceat J, Bloch JG, Chetut P, Magnin J, Boulard N et al. Étude de corrélations clinique et radiographique dans le pied creux décompensé du jeune adulte. *Méd Chir Pied* 1987 ; 3 : 151-155
- [19] Godchaux JC. Les arthrodèses du couple de torsion. Considérations techniques et résultats à propos de 110 cas. [thèse], Université de la Méditerranée. Aix-Marseille II, 1996 : 1-118
- [20] Gonzalez De Aledo Linos A, Rollan Rollan A, Bonilla Miera C, Montes Conde A, Diego Santamaria MC, Obeso Garcia M. Results of podoscope screening in 948 non selected children, with special reference to cavus foot. *An Esp Pediatr* 1996 ; 45 : 579-582
- [21] Groulier P, Curvale G, Franceschi JP. L'ostéotomie en chevron du premier métatarsien avec mise en charge immédiate dans le traitement des pieds creux antéro-internes de l'adulte. *Rev Chir Orthop* 1991 ; 77 : 205-207
- [22] Groulier P, Vérola J, Sassoon D, Poitout D. Ostéotomie du calcaneus dans les troubles statiques de l'arrière-pied de l'adulte. SOFCOT, Réunion annuelle. *Rev Chir Orthop* 1982, 68 (suppl 2) : 144-147
- [23] Hicks JH. The function of the plantar aponeurosis. *Arch Anat* 1946 ; 88 : 25-27
- [24] Imhauser G. The constant relationship between forefoot and hindfoot as a basis for treating foot deformities. *Arch Orthop Trauma Surg* 1979 ; 94 : 205-208
- [25] Jahss MH. Tarsometatarsal truncated-wedge arthrodesis for pes cavus and equinovarus deformity of the fore part of the foot. *J Bone Joint Surg Am* 1980 ; 62 : 713-722
- [26] Japas LM. Surgical treatment of pes cavus by tarsal V-osteotomy. Preliminary report. *J Bone Joint Surg Am* 1968 ; 50 : 927-944
- [27] Kapandji IA. Physiologie articulaire. Paris : Maloine, 1985
- [28] Karlstrom G, Lonnerholm T, Olerud S. Cavus deformity of the foot after fracture of the tibial shaft. *J Bone Joint Surg Am* 1975 ; 57 : 893-900
- [29] Kelikian H. Hallux valgus. In : Allied deformities of the fore foot and metatarsalgia. Philadelphia : WB Saunders, 1965 : 313-314
- [30] Kummer FJ, Jahss MH. Mathematic analysis of foot and ankle osteotomies. In : Jahss MH ed. Disorders of the foot and ankle. Medical and surgical management. Philadelphia : WB Saunders, 1991 : 541-563
- [31] Larivière JY, Miladi L, Dubouset JF, Seringer R. Les échecs de l'opération de Dwyer dans le pied creux interne de l'enfant. Considérations physiopathologiques et déductions thérapeutiques. *Rev Chir Orthop* 1985 ; 71 : 563-573
- [32] Lelièvre J. Le pied creux antérieur. In : Lelièvre J éd. Pathologie du pied. Paris : Masson, 1981 : 401-425
- [33] Mann RA, Missirian J. Pathophysiology of Charcot-Marie-Tooth disease. *Clin Orthop* 1988 ; 234 : 221-228
- [34] Meary R. Le pied creux essentiel, 19^e réunion annuelle de la SOFCOT. *Rev Chir Orthop* 1967 ; 53 : 389-467
- [35] Meary R, Mattei CR, Tomeno B. Tarsectomie antérieure pour pied creux. Indications et résultats lointains. *Rev Chir Orthop* 1976 ; 62 : 231-243
- [36] Melka J, Buscayret C, Brahin B, Paran M, Vidal J. Traitement chirurgical du pied creux antérieur. In : Claustre J éd. Troubles congénitaux et statiques du pied. Podologie II. Paris : Masson, 1982 : 85-89
- [37] Mestdagh H, Maynou C, Butin E, Durieu I. Le pied creux de l'adulte. In : Bouysset Méd. Le pied en rhumatologie. Paris : Springer-Verlag, 1998 : 199-209
- [38] Montagne J, Chevrot A, Galmiche JM. Troubles statiques de l'avant-pied. *Encycl Méd Chir* (Éditions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris), 1986 : Radiodiagnostic - Squelette normal-Neuroradiologie-Appareil locomoteur, 31-390-A-10, 1-15
- [39] Olney D. Treatment of the cavus foot. Deformity in the pediatric patient with Charcot-Marie-Tooth. *Foot Ankle Clin* 2000 ; 5 : 305-315
- [40] Paulos L, Colemann SS, Samuelson KM. Pes cavovarus. *J Bone Joint Surg Am* 1980 ; 62 : 946-953
- [41] Piera JB. Appareillage et rééducation des affections podologiques non traumatiques de l'adulte. In : Held JP, Dizien O éd. Traité de médecine physique et de réadaptation. Paris : Médecine-Sciences-Flammarion, 1998 : 443-456
- [42] Sammarco GJ, Taylor R. Cavovarus foot treated with combined calcaneum and metatarsal osteotomies. *Foot Ankle Int* 2001 ; 22 : 19-30
- [43] Schnepf J. Le pied creux essentiel. Rappel anatomoclinique. Méthodes et indications thérapeutiques. In : Cahiers d'enseignement de la SOFCOT n° 10. Paris : Expansion Scientifique Française, 1979 : 73-82
- [44] Schnepf J. Orteils en griffe, traitement chirurgical. *Encycl Méd Chir* (Éditions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris), 1996 : Techniques chirurgicales - Orthopédie-Traumatologie, 44-934, 1-8
- [45] Seringe G, Tomeno B. Pied creux. *Encycl Méd Chir* (Éditions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris), 1992 : Appareil locomoteur, 14-002-A-10, 1-8
- [46] Steinhäuser J. Le rôle de l'interligne de Chopart dans la correction chirurgicale des déformations graves du pied creux de l'adulte. *Méd Chir Pied* 1987 ; 3 : 59-78
- [47] Tomeno B. Point de vue sur le traitement du pied creux de l'adolescent et de l'adulte. In : Bouysset M éd. Le pied en rhumatologie. Paris : Springer-Verlag, 1998 : 211-214
- [48] Tomeno B, Filipe G. Ostéotomies du tarse antérieur et postérieur. *Encycl Méd Chir* (Éditions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris), 1990 : Techniques chirurgicales - Orthopédie-Traumatologie, 44-920, 1-13
- [49] Tynan MC, Klenerman L, Helliwell TR, Edwards RH, Hayward M. Investigation of muscle imbalance in the leg in symptomatic fore foot pes cavus: Multidisciplinary study. *Foot Ankle* 1992 ; 13 : 489-501
- [50] Valtin B. La pathologie des petits orteils : clinique et traitement chirurgical. In : Duparc J éd. Chirurgie de l'avant-pied. Cahiers d'enseignement de la SOFCOT n° 54. Paris : Expansion Scientifique Française, 1996 : 118-131
- [51] Watanabe RS. Metatarsal-osteotomy for the cavus foot. *Clin Orthop* 1990 ; 252 : 217-230