

Amputations du membre inférieur et appareillage

D Menager

Résumé. – L'amputation d'un membre inférieur constitue, pour la personne qui la subit, une épreuve à la fois physique et psychologique majeure. L'évidence de la déficience, associée à celle de la perte corporelle, est immédiate, et l'espoir d'une éventuelle récupération de la fonction repose entièrement sur les vertus du futur appareillage.

Celui-ci, cependant, ne peut aboutir au résultat escompté que si l'ensemble des acteurs impliqués dans la prise en charge du sujet agissent d'une manière efficace.

Ces acteurs incluent le chirurgien, le médecin de médecine physique, le kinésithérapeute, le responsable de l'appareillage. Cette équipe doit coordonner son action autour de ce qui constitue son objectif principal, c'est-à-dire le devenir fonctionnel du patient.

La participation de ce dernier à cet objectif est capitale et nécessite une information aussi claire que possible sur le protocole appliqué, ainsi que les résultats attendus.

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

Mots-clés : amputé, amputation, prothèse.

Généralités

Durant de nombreux siècles, les amputations ont été pratiquées dans un contexte d'engagement du pronostic vital. Le sacrifice du membre était le prix à payer pour conserver la vie. Bienheureux étaient ceux qui survivaient au traumatisme ou à la maladie causals.

La pauvreté des moyens techniques dont on disposait alors pour remplacer le membre manquant limitait beaucoup les ambitions. Le statut d'« invalide » tenait lieu de compensation à ces infortunés, pour la plupart blessés au combat.

De nos jours, le contexte est tout autre. Les progrès de la médecine et de la chirurgie ont permis de repousser toujours plus avant les indications d'amputation. Devant des traumatismes, même très sévères, des équipes pluridisciplinaires s'engagent dans des programmes complexes de sauvetage de membre.

La décision d'amputation n'est plus toujours le fait d'une nécessité absolue. En revanche, elle s'inscrit toujours dans une démarche thérapeutique éclairée par les diverses conséquences positives et négatives des différentes solutions envisagées. Dans cette optique, une meilleure connaissance des progrès importants, réalisés récemment en matière de composants prothétiques, est indispensable à la prise de décision du médecin et à l'information du patient.

Le geste chirurgical, réalisé par un opérateur confirmé, respectant des règles simples mais précises, s'inscrivant dans un programme de reconstruction qui vise à la restauration fonctionnelle optimale, retrouve ses lettres de noblesse et permet au patient amputé de tirer le meilleur bénéfice possible d'un appareillage performant, c'est-à-dire réalisé conformément à des règles biomécaniques communément admises.

Doménico Menager : Médecin chef, institut Robert Merle d'Aubigné, 2, rue du Parc, 94460 Valenton, France.

Le rôle des différents acteurs impliqués dans la prise en charge d'un amputé va consister à tout faire pour diminuer les pressions cutanées afin d'optimiser le bilan fonctionnel avec la prothèse.

Le chirurgien doit veiller à garder le maximum de longueur du bras de levier osseux et à rendre ses extrémités mousses. Il doit aussi veiller à ce que les zones cutanées où s'exercent préférentiellement ces pressions aient la meilleure qualité trophique possible, et éviter d'y placer des cicatrices ou des greffes.

Le rééducateur doit veiller à ce que la liberté articulaire permette d'éviter la majoration des contraintes dans l'emboîture provoquées par les flessa. Il a aussi la mission de redonner aux systèmes moteur, cardiovasculaire et respiratoire, leur efficacité maximale.

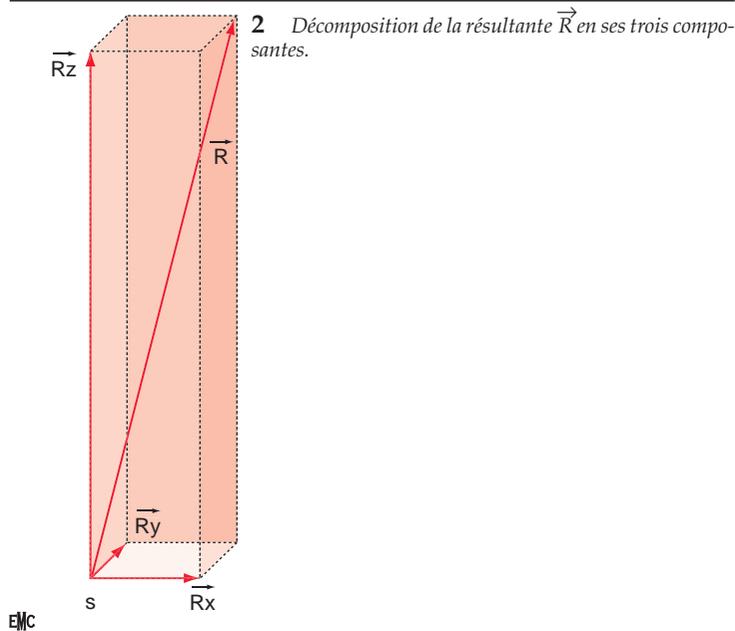
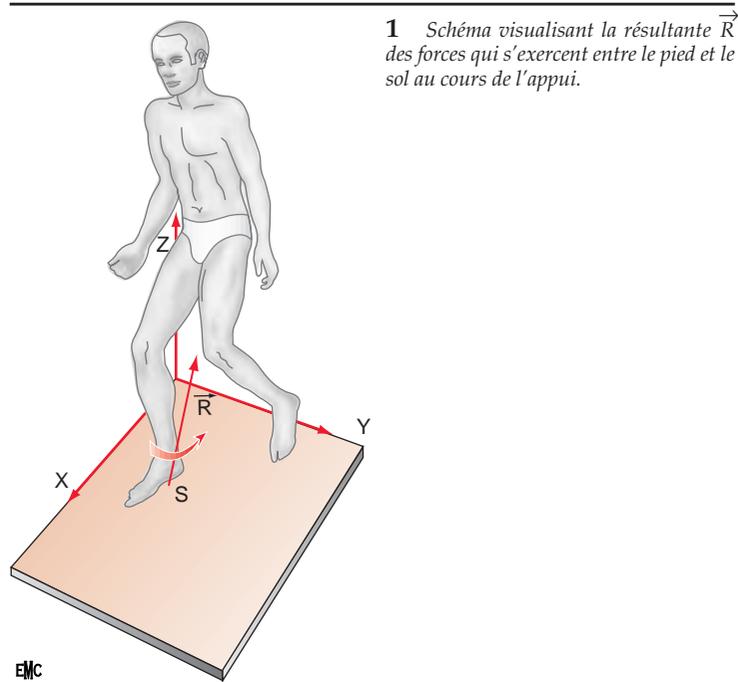
Le responsable de l'appareillage a pour charge d'essayer de répartir, sur la plus grande surface possible, les forces qui s'exercent entre le moignon et l'appareil, grâce à une emboîture de contact bien adaptée et à limiter les contraintes en alignant correctement les éléments prothétiques sous-jacents.

Éléments de biomécanique

Lorsqu'un amputé appareillé se déplace, l'analyse, grâce à un plateau de forces, des variations de la résultante des forces qui s'exercent entre le pied prothétique et le sol lors de la phase d'appui, permet de déduire la valeur des contraintes qui s'exercent entre le moignon et l'emboîture de la prothèse (fig 1).

Ces forces s'appliquent sur l'interface, constituée des parties molles du moignon d'un côté et de l'emboîture de la prothèse de l'autre. Ces pressions sur les parties molles aboutissent, lorsqu'elles sont excessives, à des douleurs, une boiterie et une limitation de la fonction^[14].

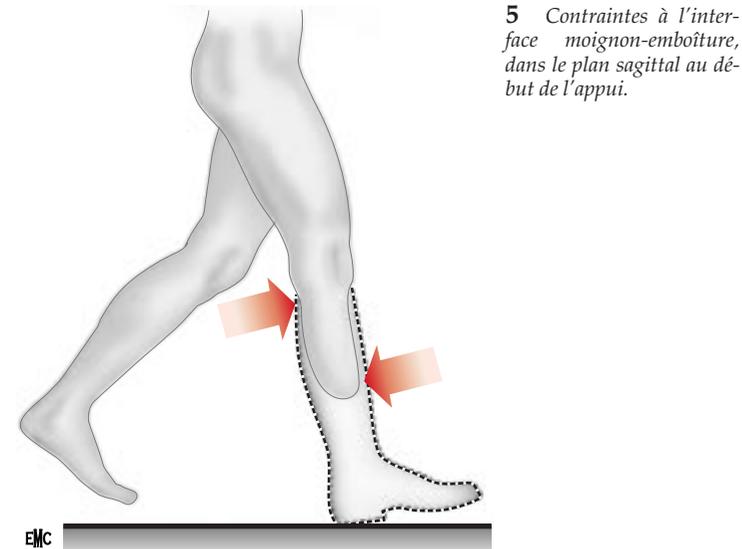
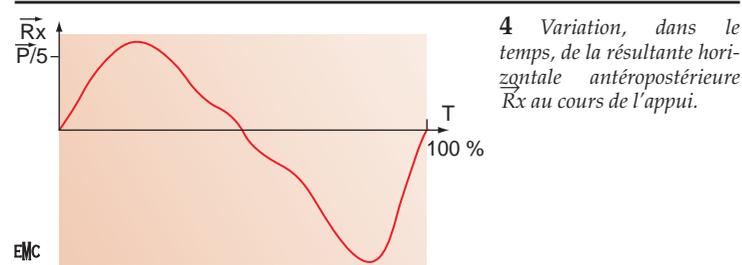
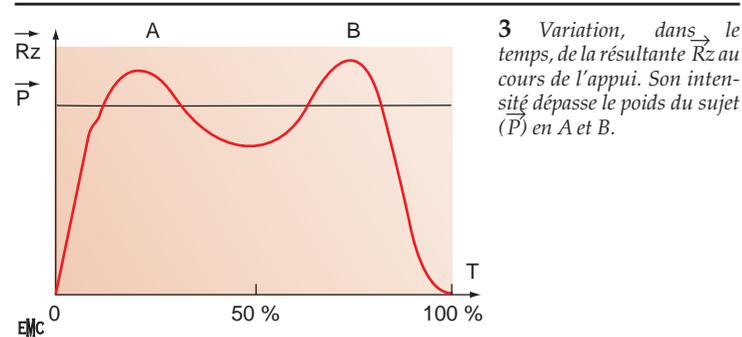
La résultante des forces, qui varie en intensité et en direction et dont le point d'application S se déplace à vitesse constante du bord externe du talon au gros orteil lors du déroulement du pied au sol,



peut être décomposée par rapport au trièdre de référence en trois composantes, l'une verticale \vec{R}_z , les deux autres \vec{R}_x et \vec{R}_y horizontales, antéropostérieure et transversale^[27] (fig 2).

La composante verticale de cette résultante, de loin la plus importante de toutes les forces transmises à l'appareil (1,2 à 1,3 fois le poids du sujet lors de la marche normale ; deux à trois fois lors de la course ou de sauts) passe par deux maxima : le premier peu après le poser du talon, le second peu avant que l'avant-pied ne quitte le sol (fig 3). Les effets de cette composante se manifestent, de façon prédominante, sur le moignon dans des zones privilégiées dont l'orientation et la trophicité les rendent propres à cet usage de façon durable :

- talon en cas d'amputation de Chopart arthrodésée ou de Syme ;
- région fémorale inférieure en cas de désarticulation de genou ou de Gritti, où l'appui distal est possible ;
- région proximale du moignon en cas d'amputation transtibiale où l'appui dit sous-rotulien est préférentiel ;
- région sous-ischiatique en cas d'amputation transfémorale ou de désarticulation de hanche pour lesquelles un appui dit ischiatique est utilisé.

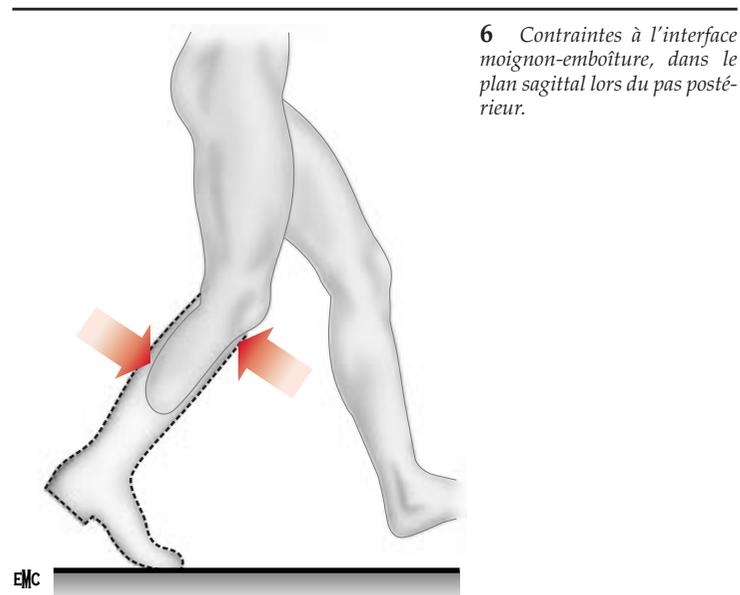


Il faut que les zones correspondantes de l'appareil présentent des dispositions adéquates : extrémité distale de l'emboîture, horizontale et régulière pour les appuis distaux ; rebord au niveau du bord supérieur de l'emboîture, présentant une orientation à composante horizontale importante et zone de contre-appui à la partie diamétralement opposée, pour les appuis ischiatique et sous-rotulien. La composante horizontale antéropostérieure de cette résultante passe, elle aussi, par deux maxima de valeur comparable mais de sens opposé : le premier lors du poser du talon, le second lors du pas postérieur d'élan. La valeur de ces maxima est d'environ le cinquième du poids du sujet (fig 4).

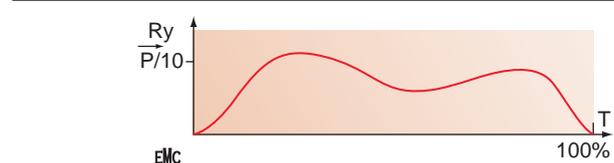
Les zones de l'appareil qui équilibrent ces forces sont le bord postérieur et la partie inférieure de la paroi antérieure de l'emboîture pour le poser du talon (fig 5), le bord antérieur et la partie inférieure de la paroi postérieure pour le pas postérieur d'élan (fig 6).

La composante horizontale transversale de cette résultante a deux maxima de même sens et de valeur, atteignant environ le dixième du poids du sujet (fig 7). Cette résultante génère une contrainte en varus à l'interface moignon-emboîture, qui se localise à la partie supéro-interne et à la partie inféroexterne de cette dernière (fig 8).

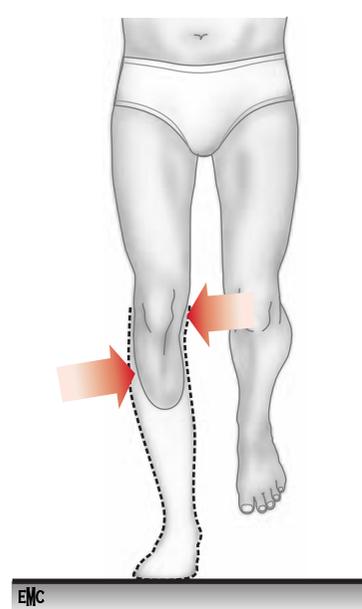
Il faut noter que l'effet de ces forces est majoré à chaque endroit du membre inférieur où l'axe mécanique du membre inférieur est distinct de l'axe de la résultante des forces qui s'exercent entre le pied et le sol et proportionnellement à la distance qui sépare les deux axes.



6 Contraintes à l'interface moignon-embroûture, dans le plan sagittal lors du pas postérieur.



7 Variation, dans le temps, de la résultante horizontale transversale \vec{R}_y au cours de l'appui.

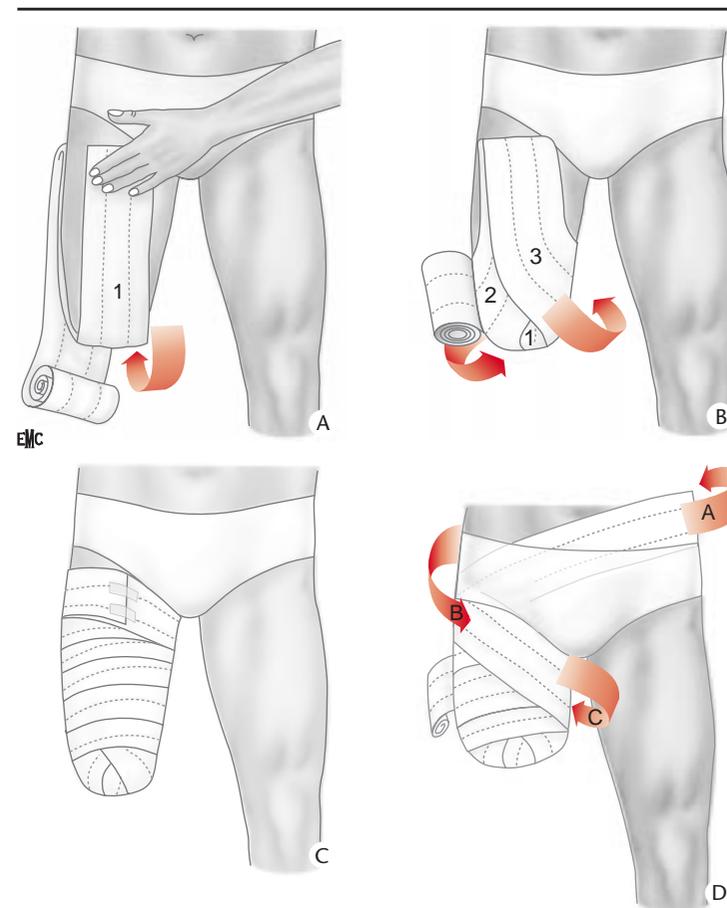


8 Contraintes à l'interface moignon-embroûture, dans le plan frontal.

Toutes les faces du moignon étant en contact étroit avec les parois de l'embroûture participent selon leur orientation et leurs particularités mécaniques à l'équilibre de l'ensemble des forces décrites.

Prise en charge postopératoire

Elle doit être commencée le plus rapidement possible après l'intervention et est d'autant plus efficace qu'elle prévient l'apparition des troubles orthopédiques et des complications du décubitus. Un intérêt tout particulier doit être porté à la réalisation d'une contention grâce à un bandage Velpeau®. Le recours à un moyen de contention plus puissant de type Biflex® doit être proscrit en raison des risques que son utilisation, souvent difficile à contrôler en permanence, est susceptible de faire courir au patient.



9 Schéma montrant la réalisation du bandage pour amputation transfémorale.

En revanche, rarement nocive, la bande Velpeau® doit être utilisée pour réaliser un bandage compressif du moignon dès que l'intervention est terminée (fig 9). Le rôle de ce bandage est capital et son utilisation ne souffre pratiquement aucune exception. Le drainage de l'œdème va limiter, voire faire disparaître les douleurs, faciliter la cicatrisation, permettre l'appareillage ultérieur.

RÉÉDUCATION DE L'INTERVENTION AU PREMIER LEVER

■ Installation du malade

Le malade alité doit être placé en bonne position. Classiquement, le moignon est placé sous traction continue, le sujet étant à plat ou en position déclive en surélevant les pieds du lit. Il s'agit d'une mesure très contraignante qu'il ne faut pas généraliser, mais qui permet d'éviter l'installation ou l'aggravation d'un flessum de hanche et/ou de genou. Ce point est très important car le résultat final de l'appareillage peut être compromis, voire annulé par la présence d'une limitation des amplitudes articulaires du moignon.

■ Récupération

La récupération consiste en soins locaux, intéressant avant tout la récupération de la force musculaire et de l'amplitude articulaire, pour permettre au membre lésé de supporter au mieux les contraintes de l'appareillage. La mobilisation est fréquente, au départ passive, puis assistée, de moins en moins, jusqu'à l'obtention de mouvements actifs. Il faut s'assurer régulièrement que le genou et la hanche sus-jacents à l'amputation puissent s'étendre complètement.

■ Réadaptation

La réadaptation vise essentiellement à prévenir les complications du décubitus et à permettre au malade d'accomplir quelques gestes usuels :

- décompression régulière du siège ;

– adoption de la position assise lors des repas ou de la toilette, en fonction de la tolérance locale.

■ **Réentraînement à l'effort**

Le réentraînement à l'effort, facilité et préparé par la réadaptation, permet à l'amputé de supporter le mieux possible l'effort de la répétition de ces gestes dans la vie de tous les jours. Des mouvements de gymnastique générale peuvent être commencés progressivement et avec prudence, lorsque le malade a récupéré des suites opératoires. Ces exercices se font sous contrôle cardiovasculaire et pulmonaire, fréquents et rigoureux.

RÉÉDUCATION DU PREMIER LEVER AU 20^E JOUR

Lorsque le drainage cesse de donner, le malade peut effectuer son premier lever après son ablation et le démontage de l'éventuelle traction.

■ **Récupération**

Lors du passage à la station debout, l'œdème est souvent augmenté par les brusques variations de pression hydrostatique qui découlent de la verticalisation. Dans le but de remédier à cette augmentation, il est impératif de vérifier la bonne tenue du bandage avant chaque lever. Il était classique de commencer à ce moment les exercices de contraction simultanée des muscles antagonistes du moignon. Ces exercices de « globulisation » sont maintenant abandonnés car d'une part, tous les malades ne pouvaient pas les réaliser et d'autre part, ils réveillaient, voire créaient des douleurs fantômes.

■ **Réadaptation**

La remise debout est très progressive, en passant par la position assise, intermédiaire qui permet d'éviter vertiges et lipothymies éventuels. À ce stade débute l'apprentissage de la déambulation avec des cannes-béquilles, étape importante puisqu'elle amène l'autonomie indispensable immédiatement, et utile par intermittence durant toute la vie, en permettant à l'amputé de se déplacer sans appareil.

■ **Réentraînement à l'effort**

Dès cette phase, le réentraînement à l'effort prend une importance croissante. Le travail des abaisseurs des bras, ainsi que celui du membre inférieur intact sont associés au réentraînement cardiorespiratoire.

Le réentraînement à l'effort du membre amputé se borne à des mouvements actifs, sans résistance, du genou et/ou de la hanche, destinés à entretenir la tonicité musculaire.

RÉÉDUCATION À PARTIR DU 21^E JOUR

■ **Généralités**

L'admission en centre spécialisé doit avoir lieu dès que possible, en pratique 2 à 4 semaines après l'amputation. Le centre de rééducation réunit les ressources humaines et matérielles nécessaires aux besoins de l'amputé, ceux-ci consistant en :

- soins médicaux d'une éventuelle pathologie causale ou annexe ;
- soins locaux des lésions cutanées du moignon ou d'autres localisations, en particulier du membre inférieur opposé, fréquentes chez les patients polytraumatisés ou artéritiques ;
- rééducation, qu'il faut poursuivre et intensifier au fur et à mesure des progrès du patient, selon les modalités exposées précédemment, puis avec la prothèse dès que l'appareillage commence.

■ **Appareillage**

Dès que l'état local, au 21^e jour dans les cas habituels, le permet, l'appareillage est commencé. Dans tous les cas, le moignon, même

correctement bandé, est œdématié. Par ailleurs, les muscles du moignon sont en cours d'atrophie. Le volume et la forme de l'emboîture de la prothèse sont, à chaque fois que nécessaire, réadaptés pour tenir compte de ces modifications. Cette phase d'appareillage provisoire va se poursuivre jusqu'à ce que la stabilité de volume du moignon permette la réalisation de la première prothèse définitive avec laquelle le patient peut habituellement rejoindre son domicile. L'« amaigrissement » du moignon se poursuit de façon moins rapide au cours des mois suivants. La deuxième prothèse définitive est fournie lorsque la première est devenue trop grande, en général au bout de 3 à 6 mois. L'amputé est alors en possession des deux prothèses définitives appelées « mises » dans le vocabulaire administratif et qui lui sont attribuées pour une durée de 5 ans. Dans l'intervalle, l'emboîture peut être changée autant de fois que les circonstances liées à des modifications du moignon ou à des altérations de l'appareillage l'exigent, en moyenne tous les 1 à 2 ans.

Les frais relatifs à la fourniture d'une prothèse pour amputé sont pris en charge à 100 % par la sécurité sociale à condition que les éléments constitutifs de l'appareil soient inscrits au tarif interministériel des prestations sanitaires (TIPS).

Amputations partielles de pied

AMPUTATIONS D'ORTEILS

Les amputations d'orteils s'étendent de l'amputation d'une phalange à la désarticulation de tous les orteils. Le retentissement sur la fonction est généralement modeste et se caractérise par leurs conséquences sur le déroulement du pas postérieur. Celles-ci sont liées essentiellement à une raideur articulaire éventuellement associée à l'amputation ou à la diminution de la propulsion, majeure lorsqu'il s'agit du gros orteil. Le déficit lié à la perte anatomique est parfois majoré par l'existence de zones cutanées cicatricielles adhérentes et/ou greffées entraînant des douleurs.

■ **Chirurgie**

Comme pour tous les niveaux d'amputation, le chirurgien doit veiller à être aussi économe que possible dans la résection, tout en gardant à l'esprit que le moignon doit, comme à tous les autres niveaux, présenter une extrémité osseuse mousse recouverte d'un tissu cutané souple et de bonne qualité.

■ **Appareillage**

La prise en charge prothétique se résume à la fourniture d'objets de petit appareillage de type orthoplastique visant à éviter la déviation latérale, vers l'espace laissé vacant, des orteils restants, et à protéger le ou les moignons d'orteils. Ces petits appareils sont réalisés in situ à l'aide de silicone bicomposant, façonnés sur le pied et introduits dans la chaussette. Dans tous les cas où l'incidence de l'amputation sur la phase propulsive est importante (amputation isolée du gros orteil, amputation de tous les orteils sauf le gros orteil ou désarticulation de tous les orteils), il est possible de compenser partiellement le déficit de propulsion en fournissant au patient une semelle en fibre de carbone introduite dans la chaussure. Ces chaussures doivent cependant avoir un bon contrefort montant, maintenant le talon à sa place de façon à éviter le déchaussement partiel postérieur lors de la phase de poussée. Il faut prendre garde, lors de la réalisation de l'orthoplastie, à ce que, lorsque l'amputation est étendue à plusieurs orteils, le « faux bout » ainsi réalisé ne vienne pas, par son contact avec la partie antérieure du moignon, provoquer d'ulcération.

■ **Éléments de rééducation**

La rééducation doit veiller à prévenir tout enraidissement des articulations métatarsophalangiennes et interphalangiennes des orteils restants, de façon à éviter les conséquences toujours très

préjudiciables pour la fonction que constitue la limitation des amplitudes articulaires et dont le prototype est l'hallux rigidus.

AMPUTATIONS TRANSMÉTATARIENNES

■ Chirurgie

Compte tenu des propriétés mécaniques irremplaçables de la peau plantaire, il est important pour le chirurgien de veiller à pratiquer la section osseuse en préservant le levier osseux de la plus grande longueur possible, et de recouvrir l'extrémité antérieure du moignon avec une peau plantaire rabattue en avant le plus haut possible. Les extrémités osseuses doivent être arrondies en évitant le recours à la pince-gouge, source d'irrégularités agressives. Il est important, dans l'évaluation du bilan fonctionnel prévisionnel, de tenir compte non seulement des éléments osseux mais aussi des parties molles. Une amputation partielle du pied avec un niveau osseux transmétatarien et une peau plantaire ne dépassant pas le Lisfranc doit être considérée, fonctionnellement, comme une amputation de Lisfranc. Le retentissement fonctionnel des amputations transmétatariennes est d'autant plus important que le moignon est court. L'incapacité est le fait d'une déformation en équin et en valgus et d'une insuffisance de poussée lors du pas postérieur d'élan. De façon paradoxale, le patient essaie de lutter contre cette tendance au valgus en prenant un appui préférentiel sur le bord externe du pied, ce qui aboutit à une attitude en varus et à des lésions d'hyperappui externe.

■ Appareillage

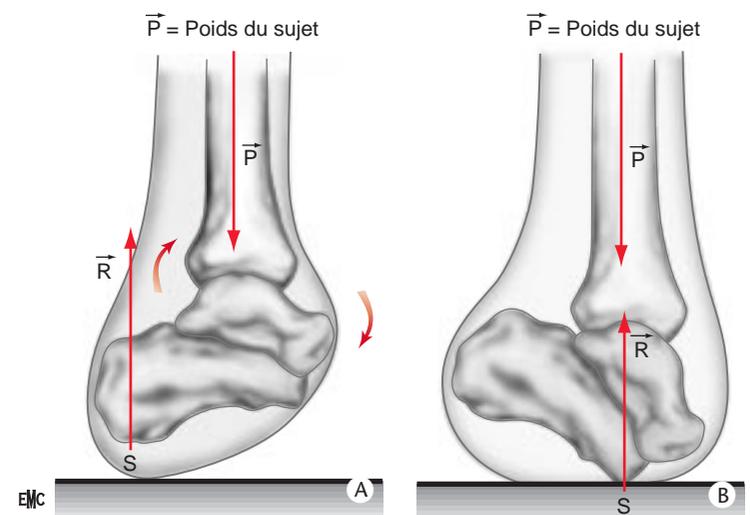
L'appareillage consiste en une semelle plus ou moins rigide, faisant éventuellement appel à de la fibre de carbone si le moignon est suffisamment long. Une orthèse plantaire surélève le premier rayon et lui rend son altitude relative par rapport au cinquième, reconstituant une arche interne et limitant le transfert de charge sur le bord externe du pied. Un faux bout remplit éventuellement l'avant de la chaussure. Ce faux bout doit être arrêté en arrière à une certaine distance de la partie antérieure du moignon de façon à éviter l'apparition de lésion cutanée due au frottement lors du pas postérieur, surtout si la peau plantaire a été peu ou mal rabattue en avant du moignon. Cette orthèse plantaire peut être utilisée soit dans une chaussure du commerce, soit, ce qui est préférable, dans une chaussure orthopédique fabriquée d'après un moulage.

AMPUTATIONS DE LISFRANC

L'amputation de Lisfranc a un retentissement fonctionnel intermédiaire entre celui de l'amputation transmétatarienne et celui de l'amputation de Chopart. La prise en charge thérapeutique fait donc appel, selon les cas, à l'un ou l'autre des modes d'appareillage. Si la peau plantaire est de bonne qualité et si le patient, correctement informé, se contente du bilan fonctionnel obtenu, l'appareillage est du type de celui fourni à l'amputé transmétatarien, amélioré pour tenir compte des contraintes supplémentaires liées à la brièveté du moignon. La semelle, répondant aux principes décrits précédemment, est réalisée en silicone et noyée dans un chausson du même matériau dont l'enveloppe extérieure reproduit les contours d'un pied normal. Ce « chausson », qui remonte dans la région sus-malléolaire, est introduit dans une chaussure du commerce. On peut aussi proposer la réalisation d'une chaussure orthopédique comprenant une orthèse plantaire répondant aux mêmes exigences biomécaniques.

Le bilan fonctionnel est limité, mais la marche sans soutien, sur des distances compatibles avec la vie quotidienne habituelle, est généralement possible. L'activité sportive, en revanche, et notamment la course, s'accompagne d'une boiterie importante liée à l'insuffisance de poussée, lors du pas postérieur d'élan (moment Rd compris entre 2 et 5 m·daN).

On peut, dans la limite de la tolérance à la pression des parties antéro-inférieure et rétroachilléenne du moignon, proposer l'adjonction d'une lame en fibre de carbone dont la dureté est adaptée aux besoins.



10 Amputation de Chopart. Le squelette de l'arrière-pied bascule invinciblement en équin sous l'action des forces liées à l'appui.

Pour les patients jeunes soucieux de la reprise d'une activité intense ou bilatérale, il faut proposer une arthrodèse tibioalcanéenne avec talectomie (ATCT) selon Camilleri.

CAS PARTICULIER DES AMPUTATIONS PARTIELLES LONGITUDINALES ET/OU OBLIQUES

Ce type d'amputation pose des problèmes de prise en charge particulièrement difficiles à résoudre et qui doivent être étudiés au cas par cas. Tout au plus, peut-on dire que le résultat fonctionnel est celui correspondant au niveau d'amputation le plus court (au plan osseux, mais aussi et surtout, au plan cutané plantaire).

Ainsi, un patient amputé des rayons externes obliquement jusqu'à l'interligne de Lisfranc avec un premier rayon amputé en transmétatarien doit être considéré, fonctionnellement parlant, comme un amputé de Lisfranc. En effet, le niveau le plus long ne peut malheureusement que rarement être exploité, et introduit même parfois un déséquilibre gênant qui peut conduire à faire poser, après appareillage d'épreuve, l'indication d'une retouche chirurgicale de régularisation au niveau le plus court.

AMPUTATION DE CHOPART

■ Intérêt

L'amputation de Chopart réalise une désarticulation de l'interligne médiotarsien conservant du pied la coque talonnière, le calcaneus et le talus. Généralement, la partie antérieure du moignon est recouverte d'une plage cutanée fragile, facilement ulcérée. Le patient est gêné à la mise en charge et les résultats d'appareillage sont décevants [17].

Cette situation est due à l'effondrement de l'arrière-pied sous l'action conjuguée de la résultante verticale des forces qui s'applique entre le pied et le sol au niveau de la grosse tubérosité du calcaneus en arrière, et du poids du sujet qui s'applique le long de l'axe mécanique du tibia en avant. Ce couple de forces n'est pas équilibré en raison du désordre architectural induit par la disparition de l'arcature antérieure du pied (fig 10). Le rôle des actions musculaires est accessoire dans l'apparition de ce phénomène mais devient prédominant dans sa pérennisation.

Il ne faut toutefois pas condamner ce niveau d'amputation car il offre des possibilités fonctionnelles potentielles importantes.

La coque talonnière a des qualités mécaniques irremplaçables. Elle permet un appui distal d'autant plus que la conservation des connexions fibreuses avec le calcaneus la met à l'abri du « savonnage » fréquemment constaté chez l'amputé de Syme. Cet appui distal permet le maintien d'une bonne minéralisation du

squelette jambier par sa compression axiale lors de la marche, la déambulation sans appareil sur de courtes distances. Il évite, de plus, les complications inhérentes à la transmission du poids du corps par la région sous-rotulienne des amputés transtibiaux. Cet appui n'est possible que si la coque talonnière a pu être conservée et que sa sensibilité est normale.

D'autre part, la conservation de l'ensemble du squelette jambier garantit un bras de levier osseux de longueur maximale, gage d'une bonne répartition des pressions. Ces avantages ne sont malheureusement que théoriques si l'on tente une mise en charge sans geste complémentaire.

■ Gestes complémentaires

Les diverses solutions envisagées pour sortir de ce marasme doivent impérativement faire l'objet d'une analyse approfondie. La régularisation en amputation transtibiale, proposée par certains, est péjorative puisqu'elle prive définitivement le patient du bénéfice de l'appui distal et qu'elle raccourcit le levier osseux.

Les tentatives de section du tendon d'Achille et/ou de réinsertion tendineuse ont une action insuffisante pour s'opposer aux effets (la bascule) et ne corrigent pas la cause (désordre architectural). Elles permettent un jeu articulaire presque normal en décharge mais n'évitent pas l'équin lors de la mise en charge. Ces interventions ne doivent donc pas être pratiquées ; il ne faut pas non plus pratiquer de chirurgie cutanée complexe. En effet, la fermeture par lambeau libre aboutit à augmenter le volume de la protubérance distale, ce qui va beaucoup compliquer l'appareillage et le lambeau est en grande partie supprimé si une arthrodèse tibio-calcanéenne avec talectomie est pratiquée ultérieurement.

Pour permettre au patient de recouvrer une fonction correspondant à ce niveau d'amputation, c'est-à-dire presque normale, il faut, grâce à une action concertée du chirurgien et du responsable de l'appareillage :

- redonner une possibilité d'appui distal de bonne qualité ;
- permettre à la résultante des forces qui s'exercent entre le pied et le sol de se déplacer jusqu'à l'avant-pied lors du pas postérieur d'élan.

Il n'existe actuellement aucun moyen chirurgical ou d'appareillage de fixer, de façon suffisamment solide pour supporter les contraintes de la marche, un avant-pied prothétique à ce qui reste de l'arrière-pied. Les articulations du médiopied, tibiotarsienne et sous-talienne, qui servent normalement de relais entre les muscles de la jambe et l'avant-pied, sont donc condamnées. Il n'y a donc pas d'arrière-pensée à proposer une solution faisant appel à une arthrodèse chirurgicale tibiotarsienne et sous-talienne, seule à même de redonner au patient une possibilité d'appui distal stable [2, 3, 6, 7, 15, 19, 24, 32, 33, 34, 36]. Le problème de la restauration d'une phase propulsive lors du pas postérieur est, quant à lui, résolu par l'appareillage.

■ Chirurgie

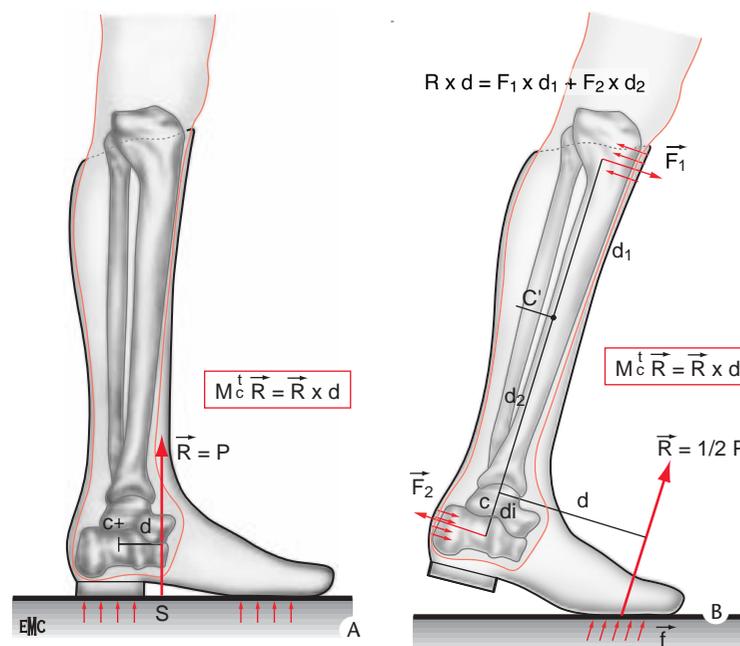
La solution la plus simple consiste à pratiquer une arthrodèse tibiotarsienne et sous-talienne. Il faut veiller à replacer le squelette de l'arrière-pied en position de fonction, c'est-à-dire avec un léger valgus et une inclinaison en haut et en avant de 30° sur l'horizontale du calcaneus (fig 11). Ce geste chirurgical doit impérativement précéder toute tentative d'une amputation de Chopart. Si la coque talonnière n'a pu être conservée ou n'est plus sensible, et/ou si une arthrodèse ne peut être effectuée, l'appui distal ne peut être obtenu. Il faut donc faire une amputation transtibiale basse.

■ Appareillage

En appui bipodal, le pied à plat, les forces qui s'exercent entre celui-ci et le sol admettent une résultante \vec{R} ayant pour point d'application S (fig 12A). Cette résultante passe un peu en avant de l'axe mécanique du membre, créant, par rapport à un point quelconque de celui-ci, un moment $\vec{R}d$ de faible valeur, égale au produit de l'intensité de \vec{R} par la distance d. En revanche, lors du



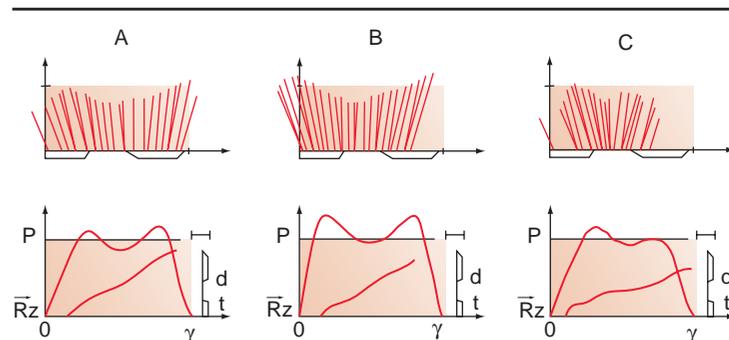
11 Double arthrodèse tibiotarsienne et sous-astragalienne. On note que le calcaneus n'a pas été redressé suffisamment pour retrouver son inclinaison physiologique, ce qui est fréquemment le cas compte tenu de la rétraction du tendon d'Achille qui gêne la réalisation du geste opératoire.



12 A. Situation de la résultante \vec{R} des forces qui s'exercent entre le pied à plat et le sol. Le moment $\vec{R}d$ est faible.
B. Contraintes s'exerçant à l'interface moignon-emboîture d'une prothèse de Syme pendant le pas postérieur d'élan. Le moment $\vec{R}d$ s'accroît.

pas postérieur d'élan, le moment $\vec{R}d$ croît par augmentation de d et de \vec{R} , puisque le point d'application de la résultante se déplace jusqu'à l'avant-pied et qu'au poids du sujet s'ajoute la composante due à l'accélération. Le moment atteint, lors de la marche normale, une valeur de 10 m.daN. Lors de la course, cette valeur est multipliée par trois ou quatre.

Une marche sans boiterie ne peut être obtenue que si les forces qui s'exercent entre le moignon et l'emboîture permettent la création d'un moment égal et de sens contraire à $\vec{R}d$ d'une valeur minimale de 10m.daN et trois à quatre fois plus pour la course. Si le sujet souhaite mener une vie normale, toute tentative de fixation rigide d'un avant-pied prothétique à ce qui reste du pied ou au niveau de la partie basse de la jambe aboutit à des douleurs, voire des ulcérations. Tout assouplissement de la liaison de cet avant-pied prothétique avec le membre résiduel ne permet pas de générer un moment suffisant pour éviter la boiterie. La seule alternative réside



EMC

13 Représentation graphique des forces qui s'exercent entre le pied et le sol enregistrées sur plateau de forces. Ces courbes ont été isolées à partir de l'enregistrement obtenu sur le plateau de forces du centre de recherche du centre de rééducation et d'appareillage de Valenton, et ont été regroupées pour plus de commodité.

A. Sujet non amputé.

B. Amputé de Chopart appareillé avec une prothèse de type Syme.

C. Amputé de Chopart appareillé avec une miniprothèse.

dans la réalisation d'une prothèse de type Syme qui remonte jusqu'à la région de la tubérosité antérieure. En effet, les forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 qui agissent sur les bras de levier d_1 et d_2 de grande longueur et qui s'appliquent sur une surface importante, génèrent des pressions à l'interface moignon-emboîture compatibles avec une utilisation soutenue et prolongée (fig 12B). Des essais, faits avec des chaussures orthopédiques ou des miniprothèses, n'ont pas donné de bons résultats, comme le montrent d'ailleurs les courbes du plateau de forces. Le moment R_d est voisin de 10m-daN chez le sujet sain et chez le sujet utilisant une prothèse de type Syme, alors qu'il varie de 2 à 5m-daN avec un appareillage bas (fig 13).

La prothèse de type Syme à appui distal, fournie aux amputés de Chopart arthrodésés, est malheureusement inesthétique. Elle présente une fenêtre de chaussement la fragilisant et nécessite une compensation sous le pied controlatéral en raison de l'inégalité de longueur des membres inférieurs entraînée par l'encombrement du pied prothétique. De plus, son adaptation est extrêmement laborieuse en raison de la présence de plages cutanées antérieures fragiles difficiles à protéger du frottement de l'appareil.

Toutes ces considérations amènent à limiter les indications de la double arthrodèse tibiotarsienne et sous-talienne. De nombreuses recherches menées conjointement au plan chirurgical et d'appareillage ont permis d'aboutir à un protocole satisfaisant qui doit donc, sauf cas d'espèce, être appliqué devant toute amputation de Chopart traumatique avec coque talonnière intacte et sensible. Ce protocole est décrit au chapitre suivant.

AMPUTATION DE CHOPART COMPLÉTÉE PAR UNE ATCT SELON CAMILLERI ^[9]

Cette amputation de Chopart complétée par une ATCT ^[8] a le mérite de conserver les avantages apportés par l'amputation de Chopart, c'est-à-dire possibilité d'appui distal de bonne qualité et durable, long bras de levier osseux, tout en limitant ses inconvénients. En effet, la diminution du volume distal aux dépens du squelette et des parties molles permet la réduction, voire la suppression, des plages cutanées distales fragiles et donne un moignon sans contre-dépouille qui peut être chaussé dans une prothèse, certes de type Syme, mais sans fenêtre latérale. D'autre part, elle donne un raccourcissement de quelques centimètres, ce qui permet de placer facilement le pied prothétique sans compensation controlatérale.

Le patient est ensuite appareillé avec une prothèse de type Syme (dont nous rappelons qu'elle constitue le seul moyen connu de restaurer une phase propulsive pratiquement normale, en solidarissant un avant-pied prothétique à ce qui reste du squelette jambier) généralement sans fenêtre (en tout cas, à chaque fois que le renflement distal du moignon a pu être suffisamment diminué) à appui distal.



14 Prothèse de type Syme utilisée par un patient présentant une amputation de Camilleri bilatérale et capitaine de l'équipe de France de volley-ball handisport.

Les progrès récents en matière de maîtrise des matériaux composites permettent d'étendre l'utilisation de la fibre de carbone, utilisée pour la confection de l'emboîture, à la réalisation du pied prothétique. En effet, ces matériaux ont la propriété de se déformer sous une charge, proportionnellement à celle-ci, et de revenir à leur forme initiale avec une dissipation d'énergie minimale de l'ordre de 10 %. Par ailleurs, le retour à la position initiale de la lame se fait en un temps très bref. L'association de ces deux propriétés donne au patient une sensation de « dynamisme » très appréciée par les plus actifs. Il est toutefois nécessaire, pour bénéficier de ces avantages, d'adapter précisément les caractéristiques du pied au poids du sujet et au niveau d'activité souhaité. En effet, trop souple, le pied se déforme, voire se brise ; trop rigide, il entraîne une marche inconfortable et soumet le moignon à des contraintes excessives. La difficulté consiste à concevoir et à sélectionner une lame dont les caractéristiques se maintiennent sur une plage suffisamment étendue pour correspondre aux activités de la vie quotidienne. Enfin, un dernier point important, particulièrement à ce niveau d'amputation : l'épaisseur de la lame de carbone permet de loger plus facilement le pied dans le faible espace disponible sous l'emboîture.

Avec ce type de matériel, le sujet mène une vie pratiquement normale, peut marcher sans limitation, courir et pratiquer tous les sports (fig 14). Compte tenu des excellents résultats tant fonctionnels qu'esthétiques obtenus, l'intervention de Camilleri, associée à un appareillage de ce type, doit être proposée à chaque fois que le patient désire exploiter le potentiel théorique que lui permet l'amputation de Chopart.

Pour les amputés de Lisfranc, ce protocole est proposé si le résultat fonctionnel avec une semelle ou un chausson silicone s'avère insuffisant, voire d'emblée dans certains cas où les conditions locales (moignon très court, revêtement cutané plantaire antérieur de mauvaise qualité) ne permettent pas d'envisager un résultat prévisionnel compatible avec les souhaits du patient.

AMPUTATION DE SYME (fig 15)

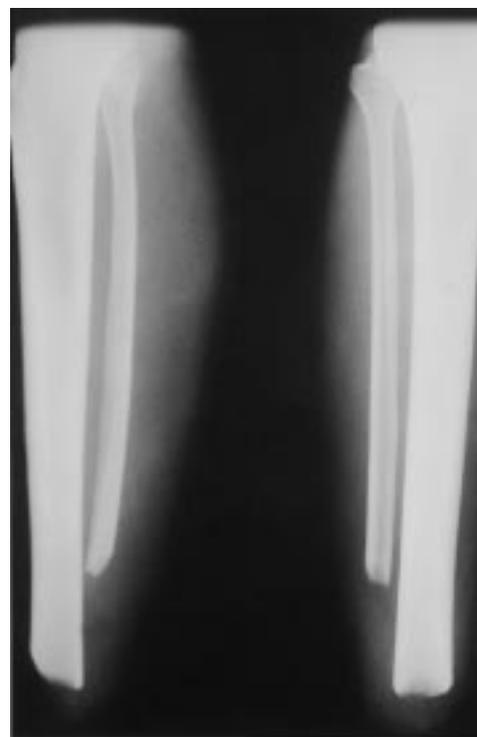
Niveau ultime des amputations partielles du pied, il ne persiste de celui-ci que la coque talonnière. Celle-ci n'est toutefois pas, contrairement aux amputations de Chopart et de Camilleri, fixée au squelette par ses moyens anatomiques, et se luxe donc parfois, faisant perdre à la technique ce qui fait son avantage principal, c'est-à-dire la possibilité d'appui distal.

■ Chirurgie

Le chirurgien doit veiller à obtenir une surface d'appui parfaitement horizontale et à réséquer les malléoles de façon à éviter des saillies



15 Radiographie d'une amputation de Syme ou désarticulation tibiotarsienne. La coupe tibiale n'est malheureusement pas horizontale dans le plan frontal et il existe une saillie distale de la malléole péronière.



16 Radiographie d'un moignon d'amputation transtibiale montrant l'aspect mousse de l'extrémité tibiale et le raccourcissement du péroné.

osseuses en zone d'appui. Compte tenu de l'inconvénient fréquemment rencontré lié à la mobilité de la coque par rapport au plan osseux, il faut soigner tout particulièrement le geste chirurgical, de façon à obtenir une solidarisation aussi étroite que possible de la coque talonnière avec les éléments sous-jacents ^[29].

■ Appareillage

L'appareillage est réalisé avec une prothèse de type Syme, fenêtrée, à appui distal. Le bilan fonctionnel obtenu est excellent, voisin de celui obtenu par les amputés de Chopart ou d'ATCT. Lorsque la coque « savonne » et que l'appui distal devient douloureux et/ou source d'ulcération, il faut adjoindre un appui sous-rotulien à la prothèse. Le résultat fonctionnel est alors similaire à celui d'un amputé transtibial à moignon long. Dans ce cas, il est licite de s'interroger sur l'opportunité de conserver une protubérance distale dont la présence impose la réalisation d'une fenêtre latérale sans la contrepartie que constitue la possibilité d'appui distal. La réalisation d'une amputation transtibiale basse peut alors parfois se justifier.

Amputation transtibiale

À ce niveau d'amputation, l'appui distal est impossible. L'appui prédominant se fait dans la région proximale. L'ostéomyoplastie, intervention difficile à bien réaliser, qui amène à amputer plus haut que ne le justifierait la lésion initiale lorsque celle-ci est bas située et qui se grève volontiers de complications septiques, ne doit plus être réalisée, d'autant plus que toutes choses égales par ailleurs, les résultats fonctionnels que cette technique était supposée procurer ^[22] ne sont pas meilleurs que ceux obtenus avec la technique chirurgicale « standard » ^[4]. Cette technique chirurgicale « standard » donne un moignon qui doit être appareillé avec une prothèse de contact. Il est obsolète de proposer telle ou telle technique chirurgicale pour donner tel ou tel type de moignon appareillable avec tel ou tel type de prothèse.

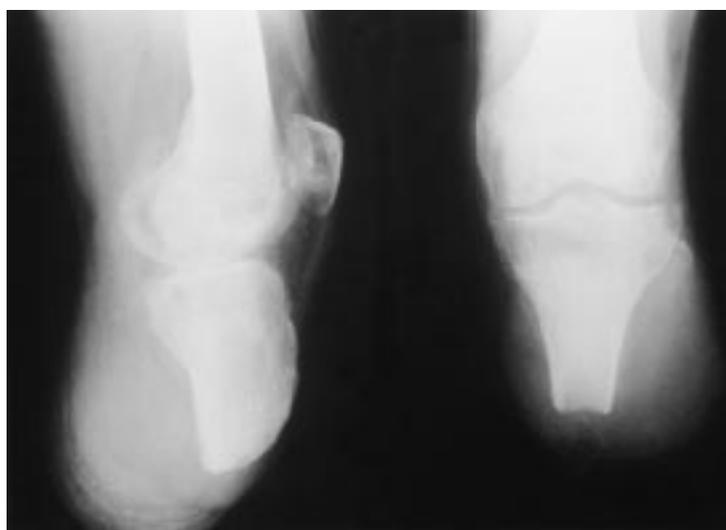
CHIRURGIE

Lors du temps osseux, le chirurgien veille à la régularisation aussi parfaite que possible de l'extrémité du tibia, notamment à sa partie antérieure où viennent se concentrer les contraintes lors de la marche



17 Long moignon transtibial avec cicatrice distale de belle facture, gage d'un excellent bilan fonctionnel prévisionnel.

à l'attaque du talon. Le résultat en est une extrémité tibiale arrondie sur toutes ses faces, présentant un aspect aussi mousse que possible (fig 16). Rappelons que, comme à tous les niveaux d'amputation, la longueur du bras de levier osseux conditionnant le résultat fonctionnel ultérieur, il faut tout faire pour en conserver la plus grande longueur possible. Toutefois, afin d'éviter les difficultés liées à l'insuffisance du capitonnage, la section ne doit pas, en pratique, être effectuée à moins de 8 cm de l'interligne tibiotarsien. La fibula est sectionnée 3 à 4 cm au-dessus du tibia, avec un plan de coupe oblique en bas et en dedans. Les parties molles doivent être suffisantes, sans excès ni défaut, de façon à obtenir un capitonnage des extrémités osseuses (fig 17). Lorsque la fermeture per primam du moignon conduit à un sacrifice osseux en raison de l'absence de revêtement cutané et/ou de parties molles, il faut savoir penser au recours que peut représenter l'apport de la microchirurgie et la réalisation d'un lambeau.



18 Moignon d'amputation transtibial très bref. On note l'ablation du péroné.

Cas particulier des moignons courts.

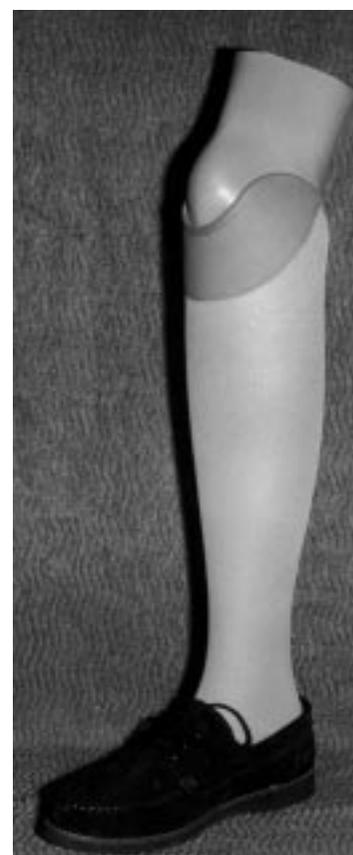
Un moignon transtibial, même très court, donne toujours un meilleur résultat fonctionnel qu'une amputation située au niveau fémoral. Il faut toutefois, pour que ce bénéfice fonctionnel existe, que l'insertion du tendon patellaire ait pu être conservée. Par ailleurs, la nécessité de section plus haute par rapport au tibia conduit, à partir du tiers supérieur, à procéder à l'ablation totale de la fibula de façon à éviter sa mise en abduction sous l'action du biceps femoris (fig 18).

APPAREILLAGE

Au niveau tibial, une partie importante de la transmission des forces verticales (essentiellement le poids du corps) se fait par l'intermédiaire de l'appui sous-rotulien et du contre-appui poplité qui lui est associé. L'appareil, une prothèse tibiale de contact, est composé d'un manchon en mousse qui répartit les pressions sur les reliefs osseux sensibles du moignon, d'une emboîture, d'un segment jambier et d'un pied prothétique (fig 19). Ce pied peut être fixe, articulé, ou maintenant composite ^[12, 18, 25, 28, 39].

Les pieds composites, parfois appelés « à restitution d'énergie », ne comportent aucune articulation. Les mouvements sont obtenus par la déformation, puis par un retour à la position initiale, d'une lame en matériau composite, généralement à base de fibre de carbone. Ces pieds sont très légers, robustes et leur faculté de restituer, lorsque le pied quitte le sol, une partie de l'énergie accumulée lors de la phase d'appui, leur donne un avantage fonctionnel précieux ^[25, 30]. L'énergie restituée est de 30 % avec un pied prothétique traditionnel et de plus de 90 % avec les pieds composites les plus performants (fig 20).

Lorsque le moignon est très court, il faut adjoindre un cuissard qui stabilise l'appareil dans le plan frontal mais n'entrave pas les mouvements dans le plan sagittal (fig 21). Cette stabilisation dans le plan frontal permet au sujet d'utiliser sa prothèse de façon plus intensive, notamment en terrain varié, et influe favorablement sur la fonction dans des proportions considérables. Une sangle postérieure relie le cuissard à l'emboîture, empêche l'hyperextension du genou, permet une phase propulsive plus importante en répartissant les efforts sur l'ensemble de l'appareil, cuissard compris, et évite l'évolution vers le genu recurvatum. La gêne occasionnée par la présence du cuissard est souvent invoquée par certains pour en bannir l'utilisation. Très souvent aussi, la présence du cuissard évoque, dans l'esprit des gens peu informés, l'époque révolue des prothèses classiques. Il est important de rappeler qu'il s'agit bien d'une prothèse tibiale de contact adaptée selon les règles de l'art, à laquelle, en raison de la brièveté du moignon, on adjoint un cuissard. En ce qui concerne la gêne, il est vrai que le chaussement

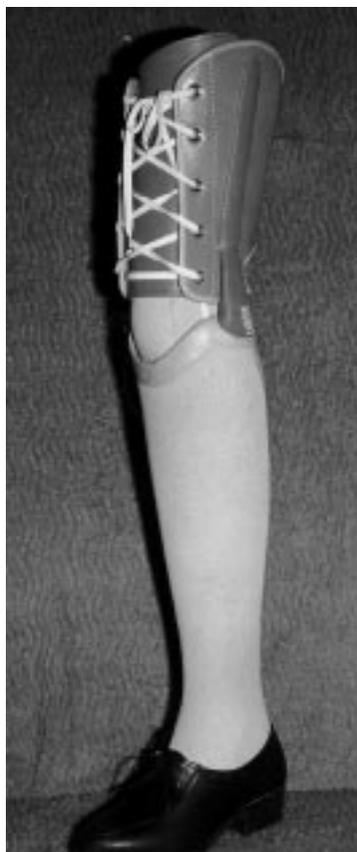


19 Prothèse tibiale de contact avec son manchon de protection du moignon.



20 Pied composite dit « à restitution d'énergie ». L'événement de ce type de pied a permis aux amputés de participer à des activités sportives avec des résultats peu éloignés des sujets valides.

du cuissard et son laçage sont plus longs qu'avec une prothèse de contact simple. Par ailleurs, il est exact aussi que le volume de la cuisse diminue après utilisation prolongée d'un cuissard. Cette diminution de volume est le fait de la fuite du tissu cellulograisieux sous-cutané sous l'effet de la pression du cuissard et non d'une amyotrophie induite par la présence du cuissard. L'amyotrophie constatée chez les patients au moignon transtibial brevissime, même lorsqu'ils sont appareillés sans cuissard, est en relation avec la brièveté du levier osseux. Le volume du muscle est proportionnel à l'effort développable, et ne diminue jamais, en raison de la présence du cuissard qui permet un meilleur résultat fonctionnel. De plus, il protège la région sus-condylienne des contraintes qui, en son



21 Prothèse tibiale de contact avec ad-jonction de cuissard pour amputé transtibial à moignon très court.



22 Radiographie d'une fracture sus-condylienne au-dessus d'un moignon transtibial très court. On note l'aspect très déminéralisé du squelette.

absence, pourraient être responsables d'une fracture toujours catastrophique (fig 22). Il doit donc systématiquement être proposé au patient lorsque le moignon est très court.

Le résultat fonctionnel d'un amputé transtibial utilisant une prothèse tibiale de contact est directement lié à :

- la qualité du moignon (longueur du bras de levier osseux, état des extrémités osseuses, état des parties molles, liberté articulaire) ;
- l'état général du patient ;
- la qualité de l'appareillage.

Lorsque le moignon est long, le sujet peut mener une vie pratiquement normale, pratiquer un sport comme le tennis et conduire sans aménagement spécial^[20], sous réserve, bien entendu, de l'accord des services préfectoraux concernés. Le port de charges

est toutefois pénible puisque les contraintes de l'appui se localisent préférentiellement dans la région supérieure du moignon.

Désarticulation de genou

À partir de ce niveau, l'amputé est privé d'une structure anatomique, mais surtout fonctionnelle, irremplaçable, le genou. Actuellement, il n'existe aucun composant prothétique permettant une extension active du genou, ni même un maintien en charge en position semi-fléchie. La crainte d'une chute par dérobement, et l'impossibilité de monter une marche ou de se relever du sol sur le membre amputé sont les situations pluriquotidiennes auxquelles a à faire face le sujet et qui rendent compte de l'importance du déficit fonctionnel par rapport aux amputations transtibiales. La désarticulation de genou offre toutefois de nombreux avantages par rapport à l'amputation transfémorale. La présence des condyles, si la peau est de bonne qualité, permet un appui distal. Le bras de levier osseux, constitué par le fémur restant, est de longueur maximale. Enfin, et ceci particulièrement chez le sujet âgé, le chaussement de l'appareil est extrêmement facile et peut s'effectuer en position assise. Sur le plan chirurgical, il s'agit d'une intervention peu choquante, ne nécessitant aucune section osseuse et qui peut donc être proposée à un sujet même en mauvais état général. Chez l'enfant, la désarticulation a, de plus, l'immense mérite de respecter la région épiphysaire inférieure du fémur. Ce dernier point est important car il préserve le potentiel de croissance et évite les incidents cutanés récidivants^[16].

CHIRURGIE

Pour pouvoir bénéficier de l'avantage principal que constitue la possibilité d'un appui distal, la zone portante constituée par l'extrémité des condyles doit être couverte d'une peau d'excellente qualité, exempte d'adhérence et de cicatrice.

En pratique, cette intervention n'est pas possible en l'absence de parties molles suffisamment longues pour permettre le report de la cicatrice en dehors de la zone d'appui et qui peut être, selon les techniques, longitudinale ou transversale^[5, 31, 40]. Si l'état des extrémités osseuses ou des parties molles ne permet pas d'envisager un appui distal, il faut faire une amputation transfémorale.

Pour de nombreux auteurs, l'ablation de la patella qui, sous l'action de la rétraction du quadriceps, se positionne au-dessus du massif condylien en avant et n'est pas gênante, n'est pas nécessaire.

APPAREILLAGE

L'appareil est constitué d'un manchon plus ou moins haut et d'une emboîture qui doit souvent être ouverte à sa partie antérieure pour permettre le chaussement, mais qui reste, à sa partie supérieure, à distance de la région génitocrurale sensible. Il peut être chaussé aisément, y compris en position assise, ce qui constitue un énorme avantage chez le sujet âgé. Cependant, l'asymétrie des segments cruraux, surtout remarquable en position assise, et l'aspect inesthétique lié à la présence des renflements condyliens, font réserver cette amputation au sujet âgé, chez qui elle doit être préférée à l'amputation de cuisse, ou aux sujets très actifs. Chez les sujets soucieux de leur apparence, il faut préférer une amputation de Gritti. Les possibilités fonctionnelles sont importantes, comparables à celles de l'amputé fémoral. L'avantage apporté par l'appui distal et la longueur du levier osseux est toutefois notable.

Amputation de Gritti

Comme pour la désarticulation du genou, elle autorise l'appui distal. Le raccourcissement fémoral en supprime les inconvénients.

CHIRURGIE

Elle consiste à fixer la patella à l'extrémité du fémur. Après avoir pratiqué une désarticulation classique, on sectionne le fémur immédiatement au-dessous du tubercule du troisième adducteur. La

face postérieure de la patella est avivée et appliquée sur le plan de section fémoral. Des vis maintiennent en contact les deux os. Cette fixation est complétée par la suture des éléments aponévrotiques et musculaires. Le problème essentiel résulte dans la difficulté de synthèse de la rotule qui, si elle n'est pas solidement fixée, a tendance à se luxer en arrière. Le matériel d'ostéosynthèse qui est utilisé doit être non traumatisant afin de ne pas compromettre l'appui distal sur la face antérieure de la rotule. En matière de valve cutanée, les considérations biomécaniques, étant identiques à celles de la désarticulation de genou, conduisent à appliquer les mêmes règles que pour cette dernière intervention, c'est-à-dire à positionner la cicatrice en arrière à distance de la zone d'appui. Si l'état des extrémités osseuses ou des parties molles ne permet pas d'envisager un appui distal, il faut faire une amputation transfémorale.

APPAREILLAGE

La prothèse est du même type que celle utilisée pour les désarticulations de genou. Cependant, l'aspect esthétique est bien meilleur du fait de la forme conique du moignon et il est plus facile de loger le genou prothétique grâce au raccourcissement lié à la disparition des condyles.

Ces considérations font de l'amputation de Gritti une indication de choix chez le sujet jeune et chez la femme à chaque fois qu'une désarticulation de genou est possible. Les possibilités fonctionnelles sont intermédiaires, comme pour la désarticulation de genou dont elle est une variante, entre l'amputation transtibiale et l'amputation transfémorale.

Toutefois, la surface d'appui sur la patella étant plus faible, l'appui distal complet n'est pas toujours possible et ne permet pas toujours à un sujet jeune et très actif d'exprimer le même niveau fonctionnel qu'avec une désarticulation de genou.

Amputation transfémorale

GÉNÉRALITÉS

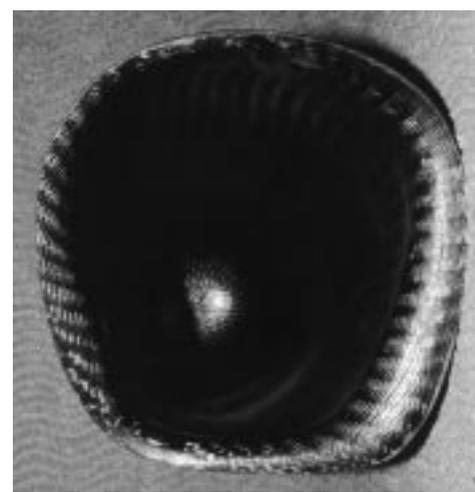
Il s'agit, sur le plan fonctionnel, d'une sanction lourde, en particulier chez le sujet âgé chez qui le chaussement de la prothèse est parfois un obstacle insurmontable. L'appui se fait dans la région ischiatique et non plus en extrémité du moignon comme pour la désarticulation du genou ou de Gritti. Enfin et surtout, la perte du genou constitue un handicap important et il ne faut se résoudre à amputer à ce niveau qu'après avoir épuisé toutes les possibilités de conservation de cet article. L'utilisation des genoux prothétiques à contrôle de phase d'appui et de phase pendulaire, surtout lorsqu'ils sont associés aux nouveaux pieds à restitution d'énergie, a sensiblement amélioré les résultats. Lorsque le moignon est suffisamment long, la marche rapide, la course et la pratique d'activités sportives sont possibles. Toutefois, l'impossibilité d'effectuer une extension active du genou prothétique limite certaines activités. Par exemple, la montée des escaliers s'effectue asymétriquement. Par ailleurs, en règle générale (comme pour les désarticulations du genou), la conduite d'une voiture nécessite un aménagement (embrayage automatique et changement de côté de la pédale d'accélérateur pour les amputations droites).

CHIRURGIE

Comme au niveau transtibial, le chirurgien doit veiller à conserver le levier osseux le plus long possible et à émousser son extrémité [26]. Le capitonnage est effectué grâce à la suture des muscles antagonistes. Certains auteurs préconisent la réinsertion des adducteurs grâce à des points transosseux [11]. L'opérateur doit veiller à reporter la position de la cicatrice à distance des zones de contrainte, en pratique dans la région distale et postérieure du moignon. Ceci ne doit toutefois pas constituer un dogme et ne doit pas amener le chirurgien à envisager un raccourcissement injustifié du levier osseux pour souscrire à ce principe.



23 Prothèse fémorale de contact avec (A) et sans (B) son revêtement esthétique montrant ses éléments constitutifs : emboîture en fibre de carbone, genou à contrôle de phase d'appui par biellette et de la phase pendulaire par vérin pneumatique, pied composite.



24 Bord supérieur d'une emboîture fémorale de contact quadrangulaire.

APPAREILLAGE

La prothèse fémorale est constituée d'une emboîture de contact à appui préférentiel dans la région du massif ischiatique, d'un genou et d'un pied prothétiques (fig 23).

■ Emboîture de contact

La transmission des forces verticales qui s'exercent entre l'amputé et le sol se fait essentiellement grâce à un appui dans la région du massif ischiatique, associé à un contre-appui diamétralement opposé. Les autres forces transitent par les parois de l'emboîture qui sont en contact avec toute la surface du moignon (fig 24) [14, 35]. Cet appui se fait sur une tablette répondant à la tubérosité ischiatique pour les emboîtures quadrangulaires et se répartit sur le bord postéro-interne plus évasé des emboîtures dites « à ischion inclus » [37].



25 Genou prothétique hydraulique à axe simple.

Chez le sujet âgé, où la sécurité prime avant toute autre considération, le genou est à verrou. Un dispositif permettant le verrouillage automatique, grâce à un dispositif hydraulique, lors de l'appui, constitue un des progrès remarquables de ces dernières années.

■ Pied prothétique

Il est du même type que celui utilisé pour l'amputé transtibial. Chez le sujet très âgé, il peut être remplacé par un pilon, beaucoup plus léger et moins encombrant.

CAS PARTICULIERS DES MOIGNONS COURTS

Lorsque le moignon transfémoral est très court ^[21], en pratique 3 à 4 cm sous le petit trochanter, l'appareillage avec une prothèse fémorale peut être impossible ou donner un résultat fonctionnel inférieur à celui obtenu avec une prothèse canadienne qui représente l'alternative. Dans ce cas, toutefois, la nécessité de fléchir le moignon dans la coque de l'appareil entraîne une importante protubérance à la partie antérieure de l'hémibassin, responsable d'un aspect esthétique peu flatteur, surtout chez les femmes et les gens minces, et peut faire poser l'indication d'une retouche chirurgicale par désarticulation de la hanche.

Désarticulation de hanche

La désarticulation de hanche est une intervention extrêmement mutilante pratiquée généralement pour des tumeurs de mauvais pronostic ou des traumatismes très sévères du membre inférieur ^[21, 38]. Son retentissement fonctionnel et surtout psychologique est majeur ^[13]. Son appareillage a fait l'objet de recherches très actives et fructueuses à Toronto au début des années 1950. Cette prothèse, appelée depuis lors « prothèse canadienne », a la lourde tâche de pourvoir au remplacement de l'ensemble du membre inférieur et notamment de ses trois articulations, hanche, genou et cheville, dont la stabilité et la mobilité se manifestent lors de la marche sous l'effet des contraintes alternées auxquelles est soumis l'appareil.

CHIRURGIE

L'importance des contraintes, en qualité et en quantité, auxquelles est soumise la région ischiatique, dans l'appareil, doit faire porter une attention toute particulière à cette région au chirurgien. Il ne doit impérativement exister aucune zone greffée ou adhérente, non plus d'ailleurs que dans la région de la crête iliaque sur laquelle « s'accroche » la partie haute de l'appareil. Les parties molles, suffisantes pour obtenir un capitonnage, ne doivent pas être trop abondantes pour limiter les effets de « pseudarthrose » avec la prothèse.

APPAREILLAGE

La prothèse canadienne (fig 27) est constituée :

– d'une *coque*, permettant, lors de la marche, la transmission du poids du corps pendant la phase d'appui, le guidage et la contention de l'appareil. Son rôle est capital. Il s'agit d'une pièce obtenue par moulage « orienté » du moignon pelvien. Elle est construite en résine armée de fibre de carbone. Elle comporte :

- une zone d'appui ischiatique qui doit être aussi mince que possible pour ne pas provoquer de surépaisseur gênante en position assise ;
- un accrochage supérieur correspondant à la dépression de la région du flanc au-dessus de la partie postérieure de la crête iliaque ;
- deux « mains d'appui », l'une antérieure, l'autre postérieure. Comprimant les parties molles des régions correspondantes du moignon, elles stabilisent l'emboîture et évitent notamment les mouvements de rotation ;



26 Genou prothétique à biellette.

■ Genou prothétique

Le genou prothétique doit offrir un compromis entre une grande stabilité lors de la phase d'appui et une mobilité contrôlée lors de la phase pendulaire ^[23]. La stabilité, donnée au cours de la phase d'appui par les systèmes hydrauliques, s'accompagne malheureusement d'une résistance lors de la phase pendulaire qui limite la mobilité et qui peut donc s'avérer fatigante en utilisation prolongée. Les systèmes associant des biellettes ^[35] (assurant une relative stabilité lors de la phase d'appui) à un contrôle pneumatique de la phase pendulaire (permettant de marcher vite et longtemps avec une moindre fatigue) semblent représenter le meilleur compromis actuel pour une utilisation quotidienne (fig 26). À l'avenir, la possibilité, grâce à un microprocesseur, de modifier la résistance à la flexion et à l'extension du genou prothétique tout au long du cycle de marche, paraît séduisante (fig 26). Elle fait l'objet de recherches actives. La commercialisation est encore, compte tenu du prix prohibitif, malheureusement confidentielle.



27 Prothèse canadienne avec (A) et sans (B) revêtement esthétique proposée pour les désarticulés de hanche et les amputations de voisinage (amputés transfémoraux à moignons très courts et désarticulés inter-ilio-abdominaux).

- d'une *ceinture*, participant à la rétention et équilibrant les contraintes en varus de l'appareil lors de la mise en charge pendant l'appui unipodal. Elle est en cuir moulé. Elle croise le tronc et prend appui sur la crête iliaque opposée à l'amputation. Elle est fixée à la coque en deux points, un antérieur et un postérieur ;

- de la *hanche*, articulation métallique à axe simple ou à biellette. Elle est située à la partie inférieure de la coque en avant. Cette disposition est indispensable pour permettre : la stabilité en extension lors de la phase d'appui ; la flexion contrôlée lors de la phase pendulaire ; d'éviter toute surépaisseur dans la région ischiatique en position assise.

Cependant, elle ne doit pas être située trop en avant pour faciliter le passage du pied prothétique au-dessus du sol lors de la phase pendulaire. Cet axe doit posséder de bonnes qualités mécaniques pour résister aux contraintes en varus lors de l'appui unipodal ;

- du *segment crural*, composé d'un tube reliant l'articulation de la hanche à celle du genou et parfois d'un béquillon escamotable. Celui-ci sert de butée d'extension de hanche en position érigée et entraîne en haut et en avant la mousse d'habillage lors du passage en position assise.

- du *genou*, reliant la cuisse à la jambe. La présence ou non d'un verrou dépend de l'habileté du mutilé. Si un genou libre est utilisé, ce qui est généralement le cas pour les jeunes, la stabilité en extension est obtenue en construisant l'appareil de telle façon que la droite qui contient la résultante des forces s'exerçant entre le pied et le sol reste en avant de l'axe de rotation du genou prothétique pendant toute la durée de l'appui ;

- de la *cheville* qui n'offre aucune particularité. Tous les types de cheville commercialisés sont à utiliser indifféremment ;

- du *revêtement esthétique*, sculpté, en prenant comme modèle le membre inférieur opposé, à partir d'un bloc de mousse alvéolée ; sa réalisation demande un véritable sens artistique. Il est recouvert d'un bas synthétique lui donnant une bonne résistance mécanique.

Les possibilités fonctionnelles des désarticulés de hanche sont abordées plus loin avec celles des désarticulés inter-ilio-abdominaux puisque ces deux types de patients utilisent le même type de prothèse.

Désarticulation inter-ilio-abdominale

La désarticulation inter-ilio-abdominale, plus encore que la désarticulation de hanche, hypothèque lourdement l'avenir personnel et social de celle ou celui chez qui elle est pratiquée.

L'extension du geste chirurgical aux parties molles du petit bassin aboutit parfois à la création de stomie digestive et/ou urinaire dont la présence constitue une complication supplémentaire pour l'appareillage.

CHIRURGIE

Le pronostic fonctionnel dépend des possibilités d'appui sur un moignon plus ou moins fuyant en fonction des nécessités auxquelles le chirurgien a dû faire face lors de la réalisation de son geste. La persistance d'un relief osseux constitue parfois une aide précieuse pour un appui, le plus souvent partiel, et même quelquefois pour simplement maintenir la prothèse.

APPAREILLAGE

L'appareillage est identique à celui de la désarticulation de hanche [21]. Toutefois, la forme de la coque et la position de la ceinture doivent tenir compte des particularités, liées à l'importance de la résection osseuse, à la qualité du revêtement cutané parfois greffé, souvent fragile, et à l'existence éventuelle d'une ou plusieurs stomies.

Les possibilités fonctionnelles des sujets amputés, appareillés avec une prothèse canadienne, sont variables selon le niveau d'amputation et selon l'âge.

La première catégorie de patients, la plus importante, est constituée par les amputés par désarticulation de hanche, et par les amputés au quart supérieur du fémur. Leurs possibilités fonctionnelles diminuent avec l'âge :

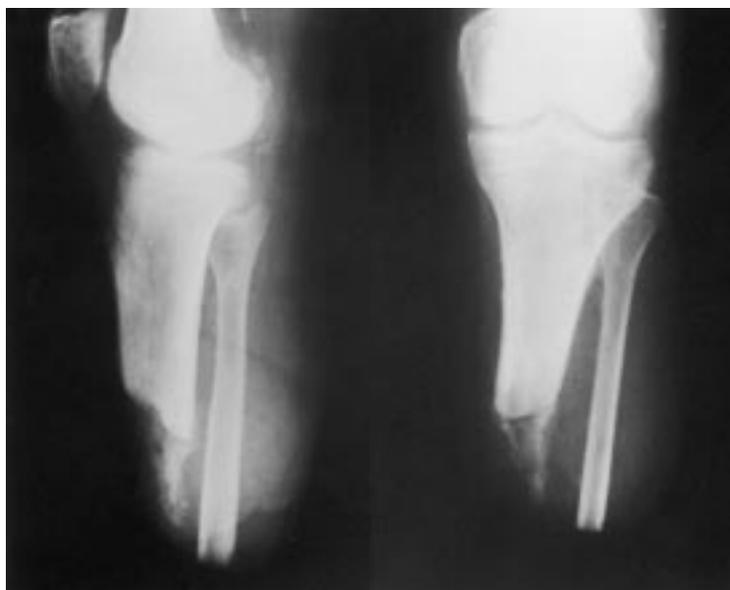
- avant 40 ans, les déplacements ne sont pas limités dans la vie courante et s'effectuent sans soutien. Le genou de la prothèse est libre ;

- entre 40 et 60 ans, le périmètre de marche est limité à 500 m. L'utilisation d'une canne simple est la règle. Le genou de l'appareil est libre dans 50 % des cas ;

- après 60 ans, la distance parcourue d'une traite n'est plus que de 100 à 200 m. Les cannes-béquilles s'imposent et le genou de la prothèse est à verrou.

La deuxième catégorie de patients, composée des amputés inter-ilio-abdominaux, a des possibilités fonctionnelles très inférieures. Des différences individuelles importantes existent. Dans les meilleurs cas chirurgicaux, lorsqu'un relief osseux a pu être conservé et permet l'appui dans l'appareil, les résultats fonctionnels sont voisins de ceux de la première catégorie de patients, mais aucun amputé à ce niveau ne se déplace sans au moins un soutien. L'évolution avec l'âge suit le schéma précédemment décrit. Dans les moins bons cas, la prothèse a une visée essentiellement esthétique et les déplacements s'effectuent avec deux cannes-béquilles.

Pour tous les niveaux, et pour les tranches d'âge concernées, la reprise d'une activité professionnelle est quasi constante. La nécessité d'un reclassement professionnel apparaît plus pour les inter-ilio-abdominaux que pour les désarticulés de hanche et les quarts supérieurs du fémur. La conduite d'une automobile est possible selon des modalités exposées à propos des amputations crurales.



28 Radiographie d'un moignon transtibial déficitaire avec la fibula plus longue que le tibia.

Cas particuliers

MOIGNONS DÉFECTUEUX

Les circonstances liées au climat de l'urgence ne permettent pas toujours de mettre en pratique les règles que nous venons de décrire ; le chirurgien laisse volontairement le moignon déficitaire. Par ailleurs, un défaut de technique, ou l'apparition de phénomènes locaux indésirables, peut compromettre la qualité finale du moignon ; il s'agit de moignons déficitaires proprement dits. Dans les deux cas, ces déficiences posent des problèmes ardues, voire insurmontables d'appareillage^[1] :

- les extrémités osseuses sont agressives pour la peau (fig 28) ;
- des exostoses se sont développées en extrémité (fig 29) ;
- les parties mortes sont insuffisantes ou excédentaires.

■ Moignons laissés volontairement déficitaires

Lorsqu'il est impossible, sauf à consentir un sacrifice osseux préjudiciable ou à prendre un risque septique important, d'obtenir la fermeture per primam du moignon, celui-ci est laissé ouvert. La période de soins locaux et de cicatrisation dirigée est mise à profit pour élaborer, en concertation avec les responsables de l'appareillage, la meilleure stratégie médicochirurgicale possible. La très grande variabilité des situations et des solutions à mettre en œuvre rend impossible la systématisation d'une conduite à tenir.

■ Moignons déficitaires proprement dits

En dehors des cas flagrants, lorsque la protrusion osseuse par exemple ne permet pas de tenter l'appareillage, le recours à une chirurgie de retouche ne se conçoit qu'après épuisement de toutes les solutions d'appareillage, qui est alors qualifié d'épreuve. Cette période préparatoire à une éventuelle retouche a, de plus, le mérite par son action trophique favorable sur les téguments, d'optimiser le futur geste chirurgical.

NOTIONS SUR LES ALLONGEMENTS DE MOIGNON

La brièveté du moignon entraîne toujours une restriction importante des possibilités fonctionnelles. Depuis quelques années, certaines équipes chirurgicales très spécialisées réalisent des allongements de moignon^[10]. Progressifs ou extemporanés, ils peuvent, dans des mains expertes, être proposés à deux moments distincts de l'évolution.



29 Radiographie d'un moignon transtibial déficitaire avec développement d'exostoses agressives pour les parties molles.



30 Allongement « fémoral » extemporané par tibia autologue ascensionné et enfiché dans l'extrémité inférieure du fémur restant.

Au moment de l'amputation, la technique de choix est l'utilisation de l'autogreffe en utilisant un segment osseux laissé indemne par le processus pathologique et qui est réimplanté. L'allongement procuré est souvent très important et l'utilisation d'un fixateur externe mis en compression, associé en postopératoire à un protocole de mise en contrainte progressive du greffon, permet presque toujours la consolidation (fig 30). Cependant, cette technique doit faire partie

d'un protocole de reconstruction de moignon appliqué par des chirurgiens expérimentés, même dans un contexte d'urgence.

À distance de l'amputation, les allongements progressifs donnent un résultat constant, mais toutefois, la présence prolongée d'un fixateur externe est rarement supportée au-delà de 6 mois, ce qui limite

l'allongement à quelques centimètres. L'utilisation d'une prothèse interne réalise un allongement extemporané intéressant, pour peu qu'il existe un excès de parties molles. L'absence de matériel conçu à cet usage confine toutefois, pour l'instant, cette technique à quelques cas mais constitue une voie de recherche intéressante.

Références

- [1] Bachot B. À propos des moignons défectueux de jambe. [thèse], Paris, 1978
- [2] Bingham J. The surgery of partial foot amputation the mid-tarsal amputation. In : Murdoch G ed. Prosthetic and orthotic practice. Amputation et désarticulation. London : E Arnold, 1970 : 141-143
- [3] Bombart M. Amputation et désarticulation. In : Merle d'Aubigné R, Mazas F éd. Nouveau traité de technique chirurgicale. Tome VIII : Membres et ceintures. Membres inférieurs. Lésions septiques. Paris : Masson, 1976 : 687-692, 697-703
- [4] Bombart M. Amputation et désarticulation. In : Merle d'Aubigné R, Mazas F éd. Nouveau traité de technique chirurgicale. Tome VIII : Membres et ceintures. Membres inférieurs. Lésions septiques. Paris : Masson, 1976 : 709-711
- [5] Bombart M. Amputation et désarticulation. In : Merle d'Aubigné R, Mazas F éd. Nouveau traité de technique chirurgicale. Tome VIII : Membres et ceintures. Membres inférieurs. Lésions septiques. Paris : Masson, 1976 : 719-721
- [6] Boyd HB. Amputation of the foot with calcaneo-tibial arthrodesis. *J Bone Joint Surg* 1939 ; 21 : 997-1000
- [7] Burgess EM. Prevention and correction of fixed equinus deformity in mid-foot amputations. *Bull Prosth Res* 1966 ; 5 : 45-47
- [8] Camilleri A. L'arthrodèse tibio-calcaneenne avec astragalectomie (ATCA) dans les écrasements du pied. Justification. Protocole opératoire. Indications. In : Cahiers d'enseignement de la SOFCOT. Sauvetage des membres en traumatologie. Paris : Expansion Scientifique Publications, 2000
- [9] Camilleri A, Anract P, Misenard G, Larivière JY, Menager D. Amputations et désarticulations des membres. Membre inférieur. *Encycl Méd Chir* (Éditions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris), Techniques chirurgicales - Orthopédie-Traumatologie, 44-109, 2000 : 1-28
- [10] Chiesa G, Menager D. Technique et résultat des allongements de moignon chez l'amputé de membre inférieur. In : Amputation du membre inférieur - Appareillage et rééducation. Paris : Masson, 1996 : 86-94
- [11] Gottschalk F. Transfemoral amputation. Biomechanics and surgery. *Clin Orthop* 1999 ; 361 : 15-22
- [12] Kabra SG, Narayanan R. Equipment and methods for laboratory testing of ankle foot prostheses as exemplified by the Jaipur foot. *J Rehabil Res Dev* 1991 ; 28 : 23-24
- [13] Kirsch JM. La désarticulation de hanche. [thèse], Paris, 1980
- [14] Krouskop A, Brown J, Goode B, Wittingham D. Interface pressures in above-knee sockets. *Arch Phys Med Rehabil* 1987 ; 68 : 713-714
- [15] Lindquist C, Rska EB. Chopart, Pirogoff and Syme amputations. A survey of 21 cases. *Acta Scand* 1966 ; 37 : 110-116
- [16] Loder RT, Herring JA. Disarticulation of the knee in children. A functional assessment. *J Bone Joint Surg Am* 1987 ; 69 : 1155-1160
- [17] MacDonald A. Chopart's amputation. The advantage of a modified prosthesis. *J Bone Joint Surg* 1955 ; 37 : 468-470
- [18] MacFarlane PA, Nielson DH, Shurr DG. Perception of walking difficulty by below-knee amputees using a conventional foot versus the flex-foot. *J Prosthet Orthot* 1991 ; 3 : 114-119
- [19] Maurer M, Bombart M, Michaut E, Rabeaux L, Lefevre B. Amputations de l'arrière-pied. *Rev Chir Orthop* 1957 ; 53 : 685-703
- [20] Mazas Y. L'amputé de jambe. [thèse], Paris, 1972
- [21] Menager D. La prothèse canadienne. À propos de 131 cas traités au CRA de Valenton. [mémoire], Paris, 1983
- [22] Menager D. Faut-il encore faire des ostéomyoplasties dans les amputations de jambe en 1985 ? [thèse], Créteil, 1985
- [23] Menager D, Chiesa G. L'appareillage des amputés du membre inférieur. *J Réadapt Méd* 1995 ; 15 : 95-105
- [24] Menager D, Chiesa G, Van GH, Lefevre B, Camilleri A. Conduite à tenir devant une amputation de Chopart traumatique. *Méd Chir Pied* 1988 ; 4 : 35-39
- [25] Michael J. Energy storing feet: a clinical comparison. *Clin Prosthet Orthot* 1987 ; 11 : 154-168
- [26] Michaut E. L'amputé de cuisse. [thèse], Paris, 1970
- [27] Michaut E, Pelisse F. Le travail mécanique de l'amputé appareillé en marche. Approche de la mesure par le plateau de force. *Ann Méd Phys* 1980 ; 4 : 526-533
- [28] Miller LA, Childress DS. Analysis of a vertical compliance prosthetic foot. *J Rehabil Res Dev* 1997 ; 34 : 52-57
- [29] Murdoch G. Amputation surgery and lower limb prosthetics. Oxford : Blackwell, 1988
- [30] Nielson DH, Shurr DG, Golden JC, Nieier K. Comparison of energy cost and gait efficiency during ambulation using different below-knee amputees of different prosthetic feet: a preliminary report. *J Prosthet Orthot* 1988 ; 1 : 24-31
- [31] Pinzur MS, Bowker JH. Knee disarticulation. *Clin Orthop* 1999 ; 361 : 23-28
- [32] Pouliquen JC, Judet TH, Sigulier M, Beneux J. Physiopathologie de l'arrière-pied. In : Conférence d'enseignement. Cahier d'enseignement de la SOFCOT. Paris : Expansion Scientifique Française, 1976 : 115-132
- [33] Pouyane L, Honton JL. Amputation de Chopart, complétée par arthrodèse tibio-tarsienne. *Bordeaux Chir* 1959 ; 2 : 141-144
- [34] Prost JL. Amputations partielles du pied et arthrodèse tibio-tarsienne. [thèse], Bordeaux, 1959
- [35] Radcliffe CW. Above-knee prosthetics. *Prosthet Orthot Int* 1977 ; 1 : 146-160
- [36] Ricard A. Sur un procédé de désarticulation du pied avec conservation partielle du calcaneum. *Lyon Chir* 1948 ; 43 : 299-303
- [37] Schuch CM, Pritham CH. Current transfemoral sockets. *Clin Orthop* 1999 ; 361 : 48-54
- [38] Trezain B. Les désarticulés de hanche. À propos de 53 cas. [thèse], Nancy, 1976
- [39] Van Jaarsveld HV, Grootenboer HJ, De Vriest J, Koopman HF. Stiffness and hysteresis properties of some prosthetic feet. *Prosthet Orthot Int* 1990 ; 14 : 117-124
- [40] Vaucher J, Blanc Y. La désarticulation du genou. Technique opératoire-appareillage. *Rev Chir Orthop* 1982 ; 68 : 395-406