UNIVERSITE JOSEPH FOURIER

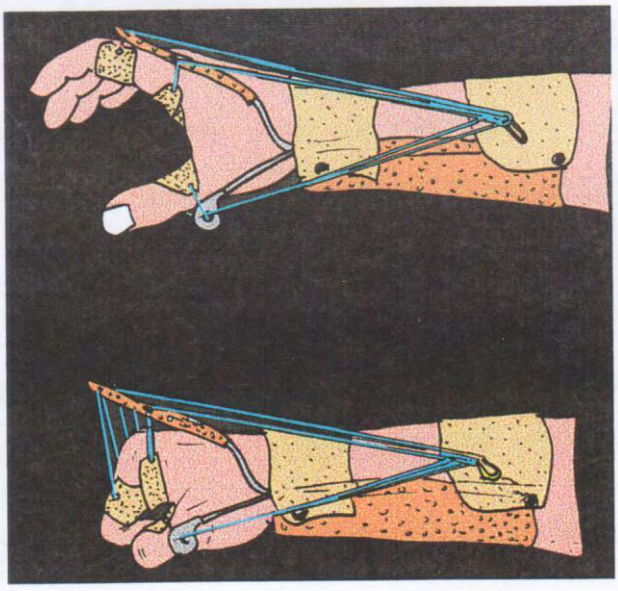
FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE

ANNEE 1997

TRAITEMENT ORTHETIQUE PALLIATIF DES LESIONS NERVEUSES AU NIVEAU DE LA MAIN

MEMOIRE PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME INTERUNIVERSITAIRE DE REEDUCATION ET D'APPAREILLAGE EN CHIRURGIE DE LA MAIN.

Par Dominique THOMAS



PLAN DU MEMOIRE

INTRODUCTION

I. LE NERF, LES LESIONS DU NERF, LA DEGENERESCENCE ET LA REGENERATION NERVEUSE.

1. LE SYSTEME NERVEUX PERIPHERIQUE

A. LE PROBLEME

B. LE TRONC NERVEUX

C. CLASSIFICATION DES LESIONS NERVEUSES

D. THEORIE DE LA REGENERATION NERVEUSE

2. ASPECTS CLINIQUES DE LA REPARATION NERVEUSE

A. Techniques chirurgicales

B. Les greffes nerveuses

C. Les lésions nerveuses partielles

II. TRAITEMENT ORTHETIQUE PALLIATIF DES LESIONS NERVEUSES AU NIVEAU DE LA MAIN

1. HISTORIQUE ET DEFINITIONS

2. CLASSIFICATION DES ATTELLES

A. Position anatomique de l'attelle,

B. Mode d'action

C. Fonction de l'attelle

3. CLASSIFICATION DES ATTELLES DE L'ASSOCIATION AMERICAINE DES REEDUCATEURS DE LA MAIN

III. TRAITEMENT ORTHETIQUE DE LA MAIN AU COURS DE LA RECUPERATION DES LESIONS NERVEUSES

1. ROLE DES ATTELLES AU COURS DES TROIS PHASES DE LA RECUPERATION D'UNE LESION NERVEUSE

A. LA PREMIERE PHASE

B. LA SECONDE PHASE

C. LA TROISIEME PHASE

IV. ATTELLES DE SUPPLEANCE UTILISEES A LA SUITE DES PARALYSIES BASSES DES NERFS MOTEURS DE LA MAIN

1. LE NERF ULNAIRE

A. ANATOMIE

B. PARALYSIE DU NERF ULNAIRE

a. La paralysie basse

b. La paralysie haute

C. L'ATTELLE DE SUPPLEANCE

Rôle de l'attelle de suppléance.

D. ATTELLE DYNAMIQUE DE WYNN PARRY

1. Avantages de cette conception:

2. Inconvénients

E. ATTELLE STATIQUE EN CUIR

1. Avantages de cette conception

2. Inconvénients

F. ATTELLE STATIQUE EN THERMOPLASTIQUE

1. Avantage de cette conception

2. Inconvénients

2. LE NERF MEDIAN

A. ANATOMIE

B. PARALYSIE DU NERF MEDIAN

a. La paralysie basse

b. La paralysie haute

C. L'ATTELLE DE SUPPLEANCE

Rôle de l'attelle de suppléance

D. ATTELLE STATIQUE EN CUIR" DE WYNN PARRY

1. Avantages de cette conception

2. Inconvénients

E. ATTELLE STATIQUE EN THERMOPLASTIQUE

1. Avantages de cette conception

2. Inconvénients

3. PARALYSIE DES NERFS MEDIAN ET ULNAIRE

A. ATTELLE DYNAMIQUE DE WYNN PARRY

1. Avantages de cette conception

2. Inconvénients

B. ATTELLE STATIQUE EN THERMOPLASTIQUE

4. LE NERF RADIAL

A. ANATOMIE

B. PARALYSIE DU NERF RADIAL

a. La paralysie basse,

b. La paralysie haute

C. L'ATTELLE DE SUPPLEANCE

Rôle de l'attelle de suppléance

D. ATTELLE RADIALE BIS

1. Avantages de cette conception

2. Inconvénients

E. ATTELLE DE CHAPEL HILL

1. Avantages de cette conception

2. Inconvénients

5. ATTEINTE ISOLEE DE L'EXTENSEUR COMMUN DES DOIGTS

6. ATTEINTES COMPLEXES

A. Atteinte haute des nerfs médian et ulnaire

B. Atteinte haute des nerfs Radial et du médian

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Les lésions des nerfs périphériques sont lourdes de conséquences.

Lorsque l'on considère la main comme un organe sensoriel, la perte de la sensibilité signifie une diminution des capacités d'exploration de l'environnement et de communication avec le monde, l'arrêt de la rétroinformation sensorielle qui permet d'adapter le geste au milieu extérieur, une diminution voire l'abolition des réflexes de défense de la main.

La dénervation des muscles entraîne l'atrophie, la diminution de la force, la rupture de l'équilibre entre muscles agonistes et antagonistes et ainsi le dysfonctionnement des gestes de la main.

La lésion des fibres neurovégétatives est responsable de l'atteinte de la trophicité tissulaire qui conjuguée à la paralysie peut entraîner fibrose et rétractions.

A ces phénomènes purement périphériques, vont s'ajouter des modifications du système nerveux central qui se réorganise en fonction des nouvelles données, au niveau sensitif et au niveau moteur, par l'apparition de suppléances et de schémas moteurs paradoxaux.

Nos connaissances et nos capacités de traitement sont malheureusement encore limitées. Nous ne savons pas encore prévenir l'atrophie musculaire, nous ne sommes pas encore capables de rétablir toute la sensibilité. Nous ne sommes pas capables de rétablir l'intégralité de la fonction.

En attendant la récupération nerveuse, c'est cependant au niveau de la fonction que nous pouvons être le plus utile et efficace, grâce à la confection, à la demande, en fonction du déficit clinique, d'attelles de suppléance.

Les attelles de suppléance, du moins celles que nous avons sélectionnées, constituent le sujet de ce mémoire.

La présentation de ce travail procède de l'histoire naturelle de la dysfonction entraîne une lésion nerveuse périphérique.

Nous ferons un rappel rapide sur:

le nerf, les lésions du nerf, la dégénérescence et la régénération nerveuse.

Puis nous étudierons successivement les trois nerfs assurant l'innervation de la main et les phénomènes qui découlent de leur lésion à savoir:

la paralysie musculaire,

la rupture de l'antagonisme des groupes musculaires synergiques,

les rétractions et à la longue, les déformations du squelette fibreux .

Finalement, nous verrons comment, soit en se servant de l'action des muscles restants, soit en neutralisant certaines articulations, ou bien en recréant un ersatz de fonction par des systèmes élastiques, il est possible, grâce à une sélection d'attelles conçues sur des principes de cinésologie et réalisées sur mesure, d'améliorer l'utilisation de la main dans la vie quotidienne,

I. LE NERF, LES LESIONS DU NERF, LA DEGENERESCENCE ET LA REGENERATION NERVEUSE.

Adapté de LUNDBORG G. Peripheral nerve injuries: J.O H. T. july- september 1993 (11)

1. LE SYSTEME NERVEUX PERIPHERIQUE

A. LE PROBLEME

La fibre nerveuse est le plus souvent un axone entouré de cellules de Schwann. Un axone est une extension du corps de la cellule nerveuse, situé dans la moelle épinière pour les cellules des nerfs moteurs, ou dans le ganglion dorsal pour les cellules des nerfs sensitifs

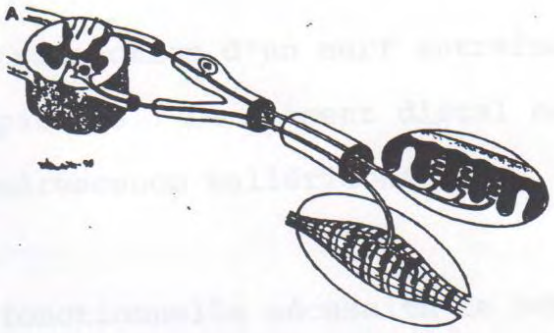


Figure: I. A, dessin schématique d'un neurone sensitif (en haut) et d'un neurone moteur (en bas), innervant respectivement un récepteur cutané et un muscle. Chaque neurone est une extension de la cellule, le corps cellulaire étant situé dans un ganglion de la racine dorsale (neurone sensitif) ou dans la corne antérieure de la moelle épinière (neurone moteur)

Le corps cellulaire et son axone est appelé un neurone. Ainsi, chaque neurone représente une cellule de très grande longueur - jusqu'à 100 cm. de la colonne lombaire au pied. Un tronc nerveux étant constitué de centaines de milliers de neurones, sa section a forcément des conséquences périphériques sérieuses en termes de perte sensitive et motrice.

Du fait de la lésion chaque neurone est divisé en deux parties: un segment proximal et un segment distal qui dégénère.

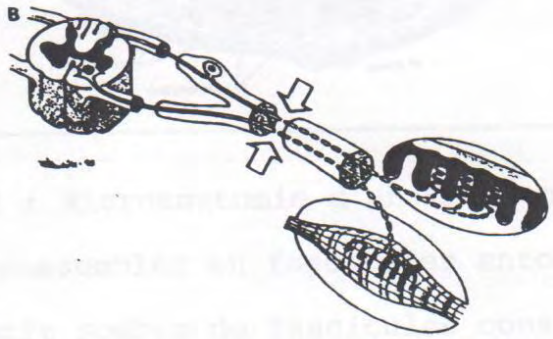


Figure: I B, la transection d'un nerf entraîne la division du nerf en deux parties . Le segment distal ne peut survivre et subit la dégénérescence Wallérienne.

La récupération fonctionnelle nécessite le remplacement de la partie distale perdue par une repousse de nouveaux axones, s'orientant pour atteindre leurs destinations périphériques originelles. Ce phénomène est extrêmement complexe. Il nécessite non seulement une extension de l'appendice axonal, mais aussi un haut degré de précision dans l'orientation des bourgeons.

B. LE TRONC NERVEUX

Les axones sont rassemblés en fascicules reliés par un tissu conjonctif lâche, **l'épinèvre** (cf. fig.2)

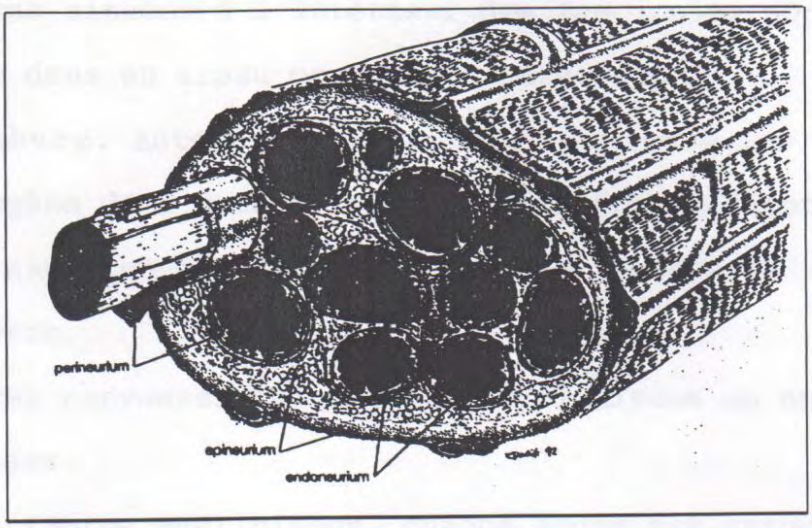


Figure 2 : Microanatomie d'un tronc nerveux.

Les axones sont rassemblés en fascicules entourés par le périnèvre. Un petit nombre de fascicules constitue souvent un groupe fasciculaire bien défini.

Plusieurs fascicules constituent un groupe de fascicules, entourés par l'épinèvre qui les protège et qui contient en particulier un plexus bien développé de vaisseaux à orientation longitudinale.

La quantité d'épinèvre est variable selon les nerfs et selon le niveau du membre. En surface, l'épinèvre se condense et forme une gaine, tandis que en profondeur elle maintient ensemble les groupes fasciculaires mais de façon lâche.

Chaque fascicule est entouré par une gaine multilamellaire à forte résistance mécanique - **le périnèvre.** Celui-ci est constitué de cellules aplaties qui agissent comme une

barrière de diffusion, permettant de préserver un microenvironnement spécialisé à l'intérieur des fascicules Le périnèvre présente lui aussi une forte résistance mécanique. Un certain nombre de vaisseaux le parcourt Les fibres situées à l'intérieur des fascicules sont incluses dans un tissu conjonctif lâche appelé **l'endonèvre.** Autour de chaque fibre nerveuse les fibrilles de collagène de l'endonèvre sont ordonnées de façon serrée formant ainsi un mur de soutien appelé le tube de l'endonèvre.

les fibres nerveuses peuvent être myélinisées ou non myélinisées.

Dans les fibres myélinisées, chaque axone est entouré par une chaîne longitudinale de cellules de Schwann dont Les lames basales forment avec les fibres collagènes de l'endonèvre, le tube de l'endonèvre. Les grandes fibres myélinisées constituent, entre autre, les fibres motrices efférentes et les fibres afférentes conductrices du toucher et des vibrations.

Dans les fibres amyélinisées de petit diamètre, chaque cellule de Schwann contient un grand nombre d'axones, mais aussi des fibres sympathiques et des fibres de la douleur.

C. CLASSIFICATION DES LESIONS NERVEUSES

La compression ou l'étirement d'un tronc nerveux est suivie rapidement par une gêne fonctionnelle. L'engourdissement du pied résultant du croisement des jambes lors d'une position assise prolongée en est un exemple bien connu.

Cette gêne sensorielle est provoquée par la compression du tronc nerveux entraînant une ischémie segmentaire due à la compression des vaisseaux. Comme la transmission de l'influx est dépendante des conditions locales, un"**bloc de conduction métabolique**" se crée, responsable d'une perte sensitive et d'une paralysie. Cet état est rapidement réversible dès que la compression est levée.

Par contre si une compression de plus forte intensité est appliquée ou maintenue longtemps sur le tronc nerveux, le bloc de conduction local peut cependant ne pas être immédiatement réversible dès la levée de la compression. Dans ce cas, une telle compression peut endommager les gaines de myéline et entraîner alors un bloc local de conduction étendu mais généralement réversible après quelques semaines voire quelques mois. Il s'agit d'une **Neurapraxie** -" non action"- (Type I de Sunderland) Dans ce cas la continuité des axones est préservée et les structures nerveuses proximales aussi bien que distales par rapport au bloc de conduction répondent normalement à la stimulation électrique.

Sur le plan fonctionnel, il en résulte une perte de la sensibilité et une paralysie. Une telle lésion se révèle par exemple à la suite de la compression du nerf radial consécutive à une fracture de l'humérus ou à l'utilisation d'un garrot pneumatique gonflé à une pression trop élevée.

Le traitement d'une neurapraxie est en général conservateur.

Une compression plus importante encore peut provoquer une perte de la continuité axonale au niveau de la lésion, alors même que les tubes de l'endonèvre sont préservés.

Dans un tel cas de figure, les axones distaux à la lésion dégénèrent; mais comme les tubes de l'endonèvre restent en continuité, la régénération axonale se produit. Grâce à la continuité des gaines les axones finissent par atteindre leur destination périphérique correcte. Ce type de lésion est appelé **axonotmésis** (Type II de Sunderland)

Lors de compressions encore plus graves, les lésions destructrices peuvent englober les tubes de l'endonèvre (Type III de Sunderland) ou le périnèvre (Type IV de Sunderland) . Dans de tels cas la cicatrice à l'intérieur du tronc nerveux peut bloquer la régénération axonale ou au minimum contribuer à une mauvaise orientation.

Il faut alors réséquer le segment fibrotique du tronc nerveux. La section complète du tronc nerveux ou **Neurotmèsis** (Type V de Sunderland) requiert toujours la réparation chirurgicale

D. THEORIE DE LA REGENERATION NERVEUSE

A la suite d'une lésion grave par écrasement d'un tronc nerveux, les axones de la partie proximale du nerf produisent un grand nombre de bourgeons. Après un délai initial court les bourgeons traversent l'espace situé entre les moignons proximaux et distaux du nerf, dans le but de rejoindre leur colonne originelle de cellules de Schwann. Cette croissance au travers de la déhiscence est influencée par de nombreux facteurs.

Des filets de fibrine, des fibres collagènes, et la surface des cellules vont produire un guidage de contact.

En outre il a été démontré dans des études expérimentales que des substances diffusées par le segment distal du nerf peuvent exercer une action chimiotactile, une "attraction à distance", sur les fibres en voie de régénération en plaçant un gradient de concentration dans les tissus .

Dans l'extrémité distale du nerf les axones subissent la dégénérescence Wallérienne (Fig.I B.) Elles sont phagocytées par des macrophages et disparaissent. La perte de la continuité axonale est suivie par une intense prolifération de cellules de Schwann, les cellules s'alignent en colonnes (bandes de Bügner) et commencent à produire des protéines spécifiques (facteur de croissance). Corrélativement avec une augmentation du contenu de collagène de l'extrémité distale.

Les bourgeons qui poussent vers la partie distale du nerf généralement se rapprochent et suivent les colonnes de cellules de Schwann, étant guidés ainsi vers la périphérie. Parfois ils poussent dans le tissu conjonctif à l'intérieur ou à l'extérieur du nerf pour former des névromes, c'est à dire des formations terminales axonales en forme de bulbe, souvent douloureuses. Du fait du très grand nombre de bourgeons, le nombre total d'axones au niveau distal peut être très élevé initialement, il diminue toutefois avec le temps car les bourgeons qui ne font pas de connections périphériques correctes peuvent disparaître.

Ainsi le processus de régénération, aussi complexe soit-il, peut donc être divisé en 3 étapes principales:

1) restauration dans le neurone à la suite des effets rétrogrades consécutifs à la lésion du nerf.

2) régénération axonale comprenant une croissance et un bourgeonnement dans le tronçon proximal, la traversée de la zone lésée, une croissance et un bourgeonnement dans le segment distal, le rétablissement de connexions appropriées avec les organes terminaux.
3) "maturation" des fibres régénérées, c'est à dire restauration de leurs caractéristiques anatomiques et de leurs propriétés fonctionnelles.

2. ASPECTS CLINIQUES DE LA REPARATION NERVEUSE

La section d'un tronc nerveux est suivie par la dégénérescence de toute la partie de l'axone distale à la lésion. Cependant, les éléments de tissu conjonctif de la partie distale de l'axone sont préservés.
L'acte chirurgical consiste à réparer les gaines du nerf en suturant les moignons proximaux et distaux de sorte que les axones en voie de régénération puissent pousser dans l'extrémité distale le long des colonnes de cellules de Schwann.
La taille d'un axone en voie de régénération peut varier de 1 à 10 microns. Un fascicule peut contenir des milliers d'axones. Un gros tronc nerveux contient de 5 à 15 fascicules ou groupes fasciculaires. Par comparaison un fil de suture de 10-0 communément utilisé pour suturer les nerfs, a un diamètre de 20 à 30 microns, et celui de l'aiguille de 100-130 microns.
Ainsi même en utilisant le matériel le plus fin disponible, il n'est pas possible de travailler au niveau de l'axone; au

mieux, peut on rapprocher les fascicules ou groupes fasciculaires. Le but de la chirurgie des nerfs est de réparer les gaines du tronc nerveux coupé (périnèvre ou épinèvre) pour assurer aux axones les meilleures conditions de repousse distale au travers de la zone lésionnelle dans un alignement aussi correct que possible. S'il est justifié d'effectuer une réparation aussi précise que possible il faut également prendre en compte les effets néfastes en terme de réactions intratissulaires qu'apportent l'oedème et le tissu cicatriciel à la suite d'une dissection trop étendue.

A. Techniques chirurgicales

La technique classique est d'anastomoser les extrémités du nerf en plaçant les points de suture dans l'épinèvre. Cette technique est relativement simple et atraumatique mais ne donne pas un grand contrôle sur l'orientation des structures internes des fascicules du nerf.

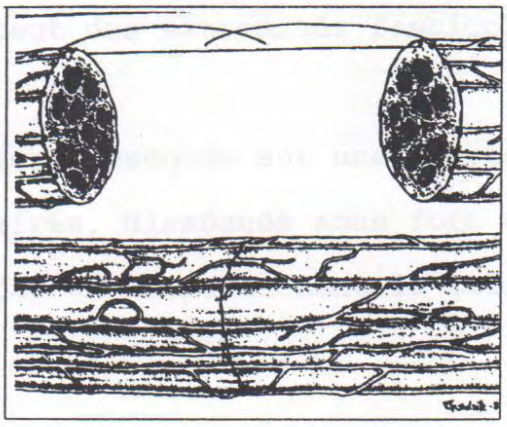


Figure 3: Réparation nerveuse épineurale.

Même si l'anastomose semble parfaite de l'extérieur, il peut y avoir à l'intérieur, un mauvais alignement et un déplacement considérable des fascicules.

A la suite de l'acte chirurgical, les extrémités nerveuses enflent considérablement du fait de l'oedème postopératoire. Si les points de suture sont trop serrés, un mauvais alignement des structures internes peut aisément se produire. Avec des sutures moins serrées et une technique moins traumatique, de telles complications peuvent être réduites. Toutefois les techniques de suture de l'épinèvre présentent l'avantage de la simplicité et limitent le besoin de dissection.

En utilisant les techniques microchirurgicales, il est possible de réparer séparément les groupes fasciculaires de façon à obtenir une orientation optimale des contacts intranerveux. Pour rendre possible la suture des groupes fasciculaires, il convient de procéder à une dissection intranerveuse. Il est nécessaire de s'assurer par une inspection au microscope des tranches de section du nerf, de l'alignement correct des extrémités fasciculaires qui se correspondent.

L'épinèvre est alors réséquée sur une courte distance, les groupes fasciculaires, disséqués sous fort grossissement sont suturés un par un en maintenant la correspondance.

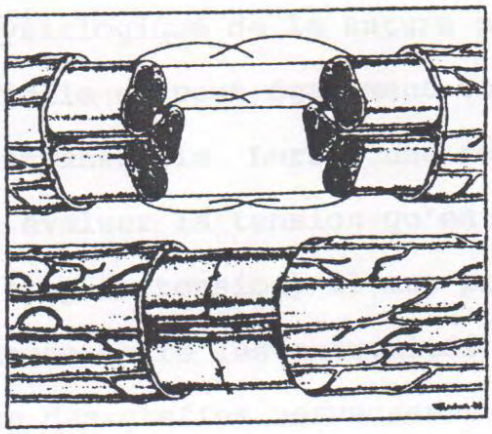


Figure 4: Réparation d'un groupe fasciculaire

Des points de suture sont placés dans le tissu conjonctif au bord immédiat des groupes fasciculaires. Cette suture des groupes fasciculaires ne peut être réalisée sous tension. L'avantage de la technique de suture par groupes fasciculaires réside dans la possibilité d'orienter correctement les groupes fasciculaires du tronc nerveux. Il y a un avantage évident à suturer respectivement les groupes fasciculaires moteurs et sensitifs lorsque ces groupes sont clairement séparés dans le tronc nerveux. Des sutures de groupes fasciculaires et des sutures de l'épinèvre peuvent être combinées pour accroître la résistance mécanique et la précision de l'orientation des anastomoses. Il n'y a pas ou peu d'études cliniques ou expérimentales qui démontrent que les techniques de suture fasciculaires **en général** sont supérieures aux techniques de suture de l'épinèvre. Cliniquement, chacun admet qu'il existe une place pour les deux techniques suivant les situations.

B. Les greffes nerveuses

Une tension non physiologique de la suture est source de formation cicatricielle et peut également compromettre la microcirculation intraneurale. Lors d'une réparation secondaire il faut évaluer la tension qu'entraîne une suture directe. S'il y a trop de tension, il est préférable de laisser une déhiscence entre les extrémités du nerf et de ponter le vide avec des greffes nerveuses.

Ceci s'applique également aux pertes de substances du nerf qui rendent impossible une suture directe des extrémités nerveuses.

Du point de vue théorique, une interposition de greffe nerveuse fournit un guide utile pour la repousse axonale constituée de colonnes de cellules de Schwann et de tissu conjonctif. Dans un lit bien vascularisé, la greffe elle même se revascularise à partir du troisième jour. Si la greffe nerveuse est suffisamment fine elle survit pendant les premiers jours par diffusion jusqu'à ce que la revascularisation se produise. Dans la technique originale de MILESI, le nerf sural est utilisé de façon préférentielle. Il est sectionné en plusieurs segments, chacun étant placé comme "câble" pour ponter l'espace situé entre les groupes fasciculaires correspondant aux deux extrémités du nerf.

C. Les lésions nerveuses partielles

Les lésions nerveuses partielles qui affectent un nombre limité de structures fasciculaires constituent des problèmes

spécifiques. Lorsque ces lésions sont traitées précocement il est en général facile de "coapter" les fascicules sectionnés par des techniques microchirurgicales. Plus tard la réparation peut opposer de grandes difficultés. Dans de tels cas le nerf doit être disséqué de façon méticuleuse afin de réséquer les fascicules fibrosés tout en préservant les fascicules sains. La déhiscence doit être ensuite pontée par des greffons nerveux.

II. TRAITEMENT ORTHETIQUE PALLIATIF DES LESIONS NERVEUSES AU NIVEAU DE LA MAIN

1. HISTORIQUE ET DEFINITIONS

Depuis que l'Homme a voulu soigner, il a eu recours à des attelles. On peut déjà remarquer des attelles d'un type ou d'un autre dans les iconographies grecque et latine .
Le terme Anglais pour attelle «splint» correspond aux parties de l'armure qui protègent les plis de flexion.
A l'époque les attelles étaient fabriquées par les mêmes forgerons.
A Florence, on peut admirer des attelles d'une qualité d'exécution irréprochable datant de la renaissance.
Ambroise Paré (1564) fut encore dans ce domaine un précurseur.

Duchenne de Boulogne (7), dans son livre remarquable "Physiologie des mouvements" (1867) a parfaitement défini les rôles que doivent jouer les attelles dans les paralysies périphériques. Il a inventé pour chaque type de paralysie une "prothèse musculaire fonctionnelle".

"Introduire dans la pratique un système d'appareils destinés:
I° A suppléer autant que possible à l'action individuelle et volontaire des muscles paralysés ou atrophiés, en rétablissant ou en secondant les mouvements naturels.

2° A prévenir ou à combattre la déformation des articulations en équilibrant les forces toniques qui président aux rapports normaux de leur surface, tel est le but d'une méthode d'orthopédie physiologique, applicable au traitement des paralysies ou atrophies partielles et que je me propose d'appeler "prothèse musculaire physiologique."

Le terme "orthèse" du Grec orthos - je redresse - a été introduit récemment par R.L. Bennet en 1956, avec comme définition:

"Appareil appliqué sur ou autour d'un segment corporel lésé, pour lui fournir un support ou améliorer sa fonction. "

Pour ce qui concerne strictement les attelles de suppléances, et faute de pouvoir prétendre à l'exhaustivité du sujet, il nous faut noter surtout les travaux de:

- M.H. Anderson (1) de l'université de Californie à Los Angeles (U.C.L.A.) auteur du livre "Upper Extremities Orthotics " (1965) qui est à la base d'une terminologie toujours utilisée des composants de l'attelle
- Norman Capener (3) sur les "Lively Splints" que l'on peut traduire comme attelles à vivre (1950)
- C.B. Wynn Parry, concepteur et rapporteur de nombreuses attelles de suppléance qui ne sont pas dépassées de nos jours (13).

2.CLASSIFICATION DES ATTELLES

Il existe de nombreuses classifications . Elles sont basées généralement sur différents critères qui tiennent à leur position, leur modes d'action, leur fonction.

A. Position anatomique

exemples: attelle brachio-antébrachiale; attelle dorsale ou palmaire; attelle digitale etc.

B. Mode d'action

Attelles dynamiques, attelles statiques.

C. Fonctions

On considère qu'une attelle ne peut jouer que quatre rôles.

- Immobilisation.
- Mobilisation protégée.
- Substitution d'une fonction déficiente, suppléance.
- Récupération des amplitudes articulaires.

En pratique une description précise de l'attelle tient compte des trois critères:

- position anatomique,
- mode d'action,
- fonction de l'attelle,

et répond aux questions : où ? comment ? pourquoi ? accompagnée éventuellement du nom de son inventeur.

Ainsi, par exemple une attelle de Capener va se définir comme une attelle digitale, monoarticulaire, dynamique, de récupération d'amplitude, de type Capener.

Une attelle de Kleinert est définie comme une attelle digito-palmo-antébrachiale, polyarticulaire, dynamique, de mobilisation protégée de sutures de tendons fléchisseurs, de type Kleinert.

La classification actuellement la mieux adaptée, et qui pourrait devenir le standard en terminologie internationale, est celle établie par la Société Américaine des Rééducateurs de la main. Elle parait complexe de prime abord, mais à l'analyse, ne l'est pas vraiment.

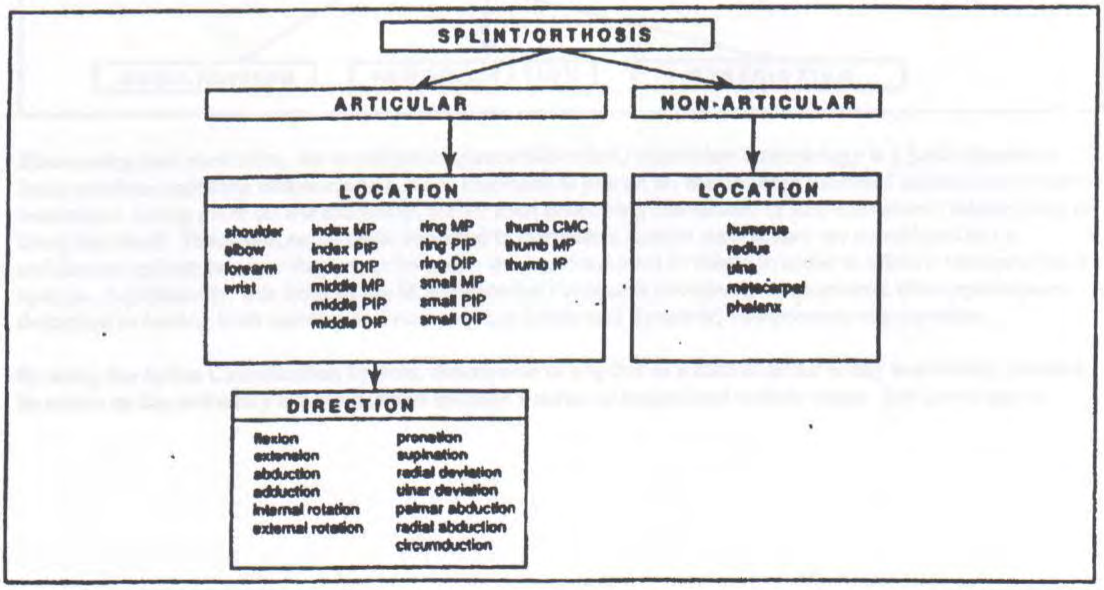
support soft tissue structures such as digital pulleys. When describing a splint according to the SCS, the non-articular designation is coupled with the specific anatomical location. For example, a splint which involves the humerus but does not cross a joint would be classified as a "non-articular humeral splint", while one that protects a healing A2 pulley would be considered a "non-articular A2 pulley splint."

Articular splints (those that cross joints) are also subgrouped by the LOCATION of the primary focus of the splint. Again, LOCATION is defined according to existing anatomical nomenclature [33, 34]. Note that throughout this document the digits will be referred to as thumb (T), index (IF), middle (MF), ring (RF) and small finger (SF); in order to avoid confusion, "LF" is not used as an abbreviation for long or little fingers. LOCATION identifies specific joint levels acted upon according to primary intent of the splint. Joints included as secondary measures for stabilization, positioning, control or counterforce may be included in the splint but are not described at this SCS level. If a single joint is affected, then the anatomical designation for that joint is used, such as wrist, metacarpophalangeal (MP), proximal interphalangeal (PIP), etc.

Note: For purposes of simplification, several abbreviated methods may be used. If multiple primary focus joints are involved, either longitudinally or transversely, and all are affected in a similar manner, then they may be grouped for descriptive purposes. A splint whose primary focus involves all three finger joints of the index finger may be described as an "(articular) index *finger* splint". Similarly, if all digital joints of the thumb and fingers are included, the splint is classified as an "(articular) *hand* splint". If the index, middle, ring and small finger PIP joints are the primary focus, the designation is "(articular) IF-SF PIP splint".

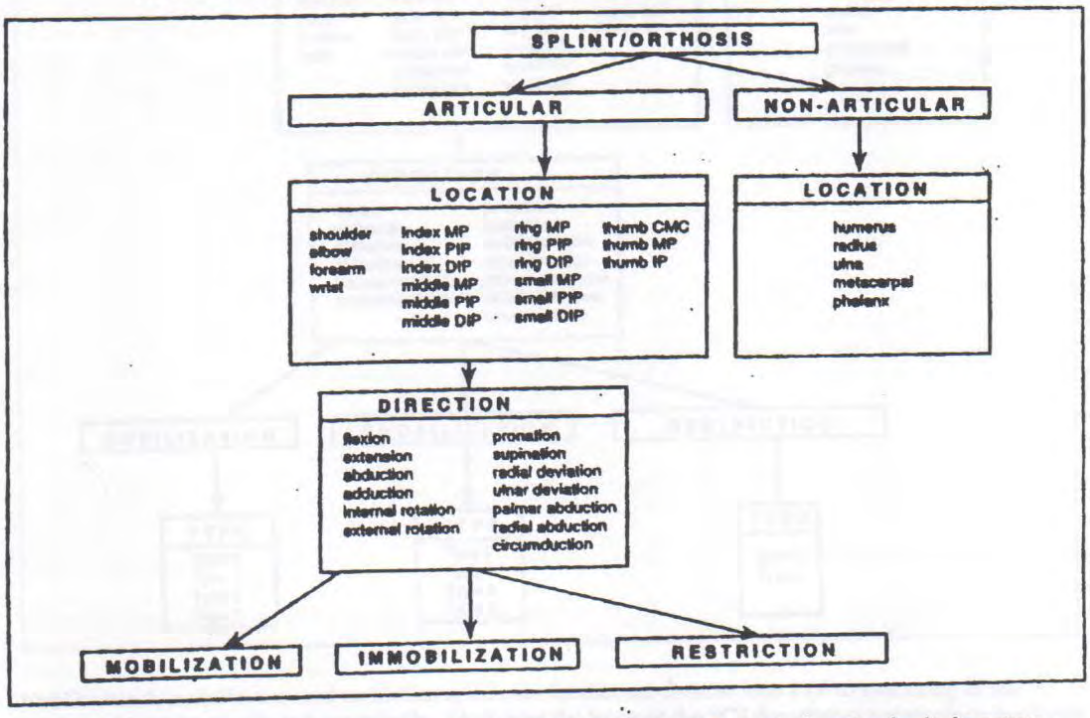
Again, it is important to note that in contrast to the non-articular nomenclature, where "non-articular" is included in the actual classification name of the splint, the term "articular" is implied but not necessarily stated when describing splints that affect joints.

DIRECTION



DIRECTION is the fourth level of the SCS for articular splints. At this level, the primary kinematic function of the splint is identified. Existing terminology [33, 34] is used to describe the primary direction of force. Kinematic terminology used at this level includes but is not limited to flexion, extension, abduction, ulnar or radial deviation, and rotation. If the main purpose of a splint is to extend a primary focus joint, a PIP joint for example, then it is described as a "PIP extension splint." If, however, the function of the splint is radial abduction of the thumb carpometacarpal (CMC) joint, it would be classified as a "thumb CMC radial abduction splint."

MOBILIZATION versus IMMOBILIZATION versus RESTRICTION

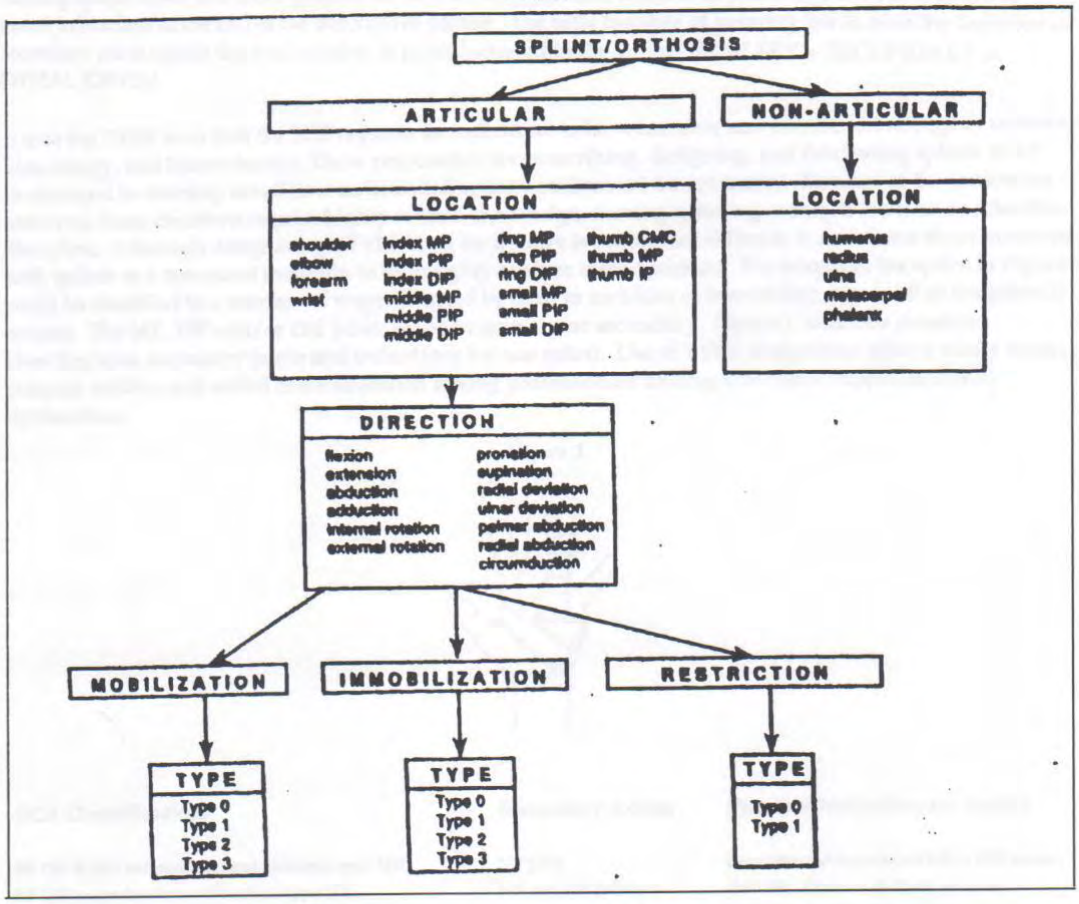


Eliminating past confusion, the mobilization/immobilization/restriction terminology is a basic departure from previous splinting nomenclature, since emphasis is placed on the primary intended movement or non-movement taking place on the extremity, rather than describing movement or non-movement taking place on the splint itself. Therefore, serial casts intended to decrease a flexion contracture are considered to be *mobilization* splints because they exert forces on the involved joint or tissue in order to affect a change in joint motion. Additionally, this level of the SCS eliminates confusion previously encountered when splints were described as having both moving and non-moving (static and dynamic) components or properties.

By using the Splint Classification System, description of a splint as a disembodied entity is avoided. Instead, its action on the extremity is fully defined through a series of logical and orderly steps. It is important to

remember that thus far in the description of the SCS, only variables affecting primary joints have been described; secondary joints are yet to be addressed.

TYPE



Mobilization,immobilization and restriction splints are further subdivided into TYPES according to the number of joint levels affected secondarily. Until now the focus of the SCS descriptive terminology has been directed toward the primary anatomical joint(s) affected by a splint. The next, and final, obligatory level of the Splint Classification System addresses the role of the secondary joint(s). In contrast to primary joints, secondary joints are included in a splint to provide counterforce control, position, or stabilization of joint(s) immediately adjacent to primary articular structures within the longitudinal kinematic chain. Each of the previous splint catagories, mobilization, immobilization, and restriction, are subdivided further into one of four TYPES (0-3) according to the number of joints affected secondarily by a splint. TYPE designation equals

the number of secondary joints included in a splint. If one secondary joint is present, the splint is defined as "type 1"; if two secondary joints are included, it is "type 2"; three, "type 3"; etc. To make the process of naming splints easier and more graphic for all involved, the total number of joints included in a splint is noted in brackets at the end of the descriptive phrase. The total number of primary joints plus the number of secondary joints equals the total number of joints included in the splint: PRIMARY + SECONDARY = [TOTAL JOINTS].

It is at the TYPE level that the SCS requires an individual to have intimate and precise knowledge of anatomy, kinesiology, and biomechanics. Those responsible for prescribing, designing, and fabricating splints must understand in exacting detail how an intended splint functions on the extremity. Because of the intricacies involved, these decisions require highly refined knowledge, moving splinting concepts from art to scientific discipline. Although designating a TYPE level for a splint is sometimes difficult, it does force those involved with splints as a treatment modality to thoroughly analyze their decisions. For example, the splint in Figure 1 could be classified in a number of ways. It could be used to mobilize or immobilize any or all of the joints it crosses. The MP, PIP and/or DIP joints could be primary or secondary. Figure 1 indicates possible classifications, secondary joints and indications for one splint. Use of TYPE designation allows vastly more accurate written and verbal communication among professionals dealing with hand/upper extremity dysfunction.

Figure 1.

SCS Classification:	Secondary Joints:	Possible Indication for Splint:
RF PIP & DIP extension immobilization; type 1[3]	MP joint	Interarticular Fracture of PIP & DIP joints
RF DIP extension immobilization; type 2[3]	MP and PIP joints	Pediatric Fracture of distal phalanx
RF PIP extension immobilization; type 2[3]	MP and DIP joints	Interarticular Fracture of PIP joint
RF MP extension immobilization;type 2[3]	PIP and DIP joints	Dupuytren' s Contracture
RF MP & PIP extension immobilization; type 1[3]	DIP joint	Fractures of proximal and middle phalanges
RF MP, PIP, DIP extension immmobilization; type 0[3]	All joints are primary	Dupuytren's Contracture
RF PIP lateral deviation immobilization; type 2[3]	MP and DIP	PIP collateral ligament repair
RF PIP & DIP extension mobilization; type 1[3]	MP joint	PIP & DIP contractures
RF DIP extension mobilization; type 2[3]	MP and PIP joints	DIP contracture
RF PIP extension mobilization; type 2[3]	MP and DIP joints	PIP joint contracture
RF MP extension mobilization;type 2[3]	PIP and DIP joints	MP joint contracture
RF MP & PIP extension mobilization; type 1[3]	DIP joint	MP & PIP joint contractures
RF MP, PIP, DIP extension mobilization; type 0[3]	All joints are primary	Flexor tendon scar/adherent in palm

III. TRAITEMENT ORTHETIQUE DE LA MAIN AU COURS DE LA RECUPERATION DES LESIONS NERVEUSES

Après réparation chirurgicale d'un nerf, l'évolution d'une lésion d'un nerf périphérique traverse 3 phases pendant lesquelles les attelles jouent un rôle prépondérant.
Une lésion dont le diagnostic ne nécessite pas de geste chirurgical rejoint d'emblée la seconde phase du cas de figure d'une réparation chirurgicale.

1. Rôle des attelles au cours des trois phases de la récupération d'une lésion nerveuse

Les attelles sont utilisées pour:

1) Immobiliser ou autoriser une mobilisation protégée
2) Récupérer les amplitudes articulaires.
3) Compenser la fonction déficitaire

A. LA PREMIERE PHASE

Elle dure de trois à six semaines et correspond à la cicatrisation de la gaine puis au début du passage de la régénération nerveuse au travers de la cicatrice.
Le rôle de l'attelle est alors d'interdire toute traction sur la suture mais d'autoriser la mobilisation protégée des autres structures réparées. Les attelles utilisées en fonction de la lésion sont des attelles de mobilisation protégée.

B. LA SECONDE PHASE

Elle peut durer jusqu'à deux ans, voire plus. Cette phase correspond à la régénération axonale. Généralement cette phase nécessite deux types d'attelles différents: attelles de récupération d'amplitudes articulaires, puis une fois les amplitudes fonctionnelles récupérées, attelles de suppléances, ces deux types d'attelles peuvent être portés parfois alternativement (8) (9).

C. LA TROISIEME PHASE

Elle signe l'échec ou l'insuffisance de la régénération nerveuse. Elle amène parfois le chirurgien à proposer une greffe nerveuse ou un geste de chirurgie palliative. Au niveau traitement, cette phase ramène à une mobilisation protégée et aux types d'attelles qui la permettent.

IV. ATTELLES DE SUPPLEANCE UTILISEES A LA SUITE DES PARALYSIES BASSES DES NERFS MOTEURS DE LA MAIN

Nous envisagerons uniquement les paralysies basses des nerfs ayant une incidence sur la fonction de la main. Nous n'envisagerons pas l'étude du plexus brachial, ni des nerfs musculo-cutané et brachial cutané interne.

1. LE NERF ULNAIRE

A. ANATOMIE

Adapté de K.M. Backhouse in Tubiana: Traité de Chirurgie de la main T.I. (1980) (4)

Le nerf Ulnaire est issu de la dernière grande branche du tronc secondaire antéro-interne avant de fournir la racine interne du médian qui s'unit avec la racine externe pour former le Y du médian. Le trajet du nerf ulnaire peut être considéré comme la continuation du tronc secondaire antéro-interne.

Ses origines sont les racines C 8 et D 1. par le tronc secondaire antéro-interne, mais aussi C 7 par une anastomose latérale provenant du tronc secondaire antéro-externe, ou même directement de la racine C 7.

Les fibres de C 7 sont destinées au cubital antérieur(F.C.U.).

Le nerf descend dans le bras en dedans de l'artère humérale et entre l'artère et la veine, dans la gaine fibreuse neuro-vasculaire, avec le médian et le nerf brachial cutané interne.

Le pédicule vasculo nerveux descend dans le sillon délimité par le coraco-brachial et le triceps. Distalement à l'insertion du coraco-brachial, le nerf perce la cloison intermusculaire, pour venir se placer en avant du chef interne du triceps. Appliqué contre le triceps par son fascia.

Au niveau du coude, le nerf ulnaire est placé entre l'épitrochlée et les chefs huméral et ulnaire du muscle cubital antérieur

Ce canal est le site de fréquentes compressions nerveuses (le syndrome du canal ulnaire) Parfois le chef ulnaire du muscle cubital antérieur et les fibres transversales sont insuffisantes. le nerf étant alors libre de se déplacer autour de l'épitrochlée. Pendant l'effort, le nerf peut se frotter à l'os, ce qui produit de légers troubles, comme des paresthésies temporaires Des traumatismes répétés peuvent produire des troubles permanents.

Pendant son trajet dans le bras, le nerf ulnaire envoie une ou plusieurs branches pour l'articulation du coude. Parfois il y a une branche pour le cubital antérieur qui part au niveau du coude. Après être passé derrière l'épitrochlée, le nerf ulnaire envoie sa première branche musculaire constante—d'habitude assez près de l'articulation— pour le muscle cubital antérieur. Cette branche pénètre directement dans le muscle mais ensuite, il peut y avoir deux ou trois

branches supplémentaires qui descendent parallèlement au muscle avant d'y pénétrer.

Ensuite, le nerf descend dans l'avant-bras sur la face profonde du cubital antérieur et la face antérieure du fléchisseur commun profond (F.D.P.). A la moitié de l'avant-bras, il est rejoint sur son côté externe par l'artère ulnaire. Les deux poursuivent leur trajet descendant pour ressortir au niveau du poignet du côté externe du cubital antérieur.

Pendant son trajet sur la surface du fléchisseur commun profond, une ou deux branches sont envoyées à ce muscle, pour innerver son côté ulnaire (principalement pour les quatrième et cinquième doigts, bien que l'on puisse constater ici une superposition avec le territoire du nerf médian). Deux branches cutanées se détachent du nerf ulnaire pendant son trajet dans l'avant-bras:

la branche cutanée palmaire qui innerve une partie de la peau de l'éminence hypothénar. Son territoire peut se superposer avec celui de la branche terminale superficielle du nerf ulnaire, avec la branche de division antérieure du brachial cutané interne et avec la branche cutanée palmaire du nerf médian.

la branche cutanée dorsale se détache à peu près au même niveau de 5 à I0 cm du poignet et tourne autour de l'extrémité inférieure de l'ulna pour se diriger vers la face dorsale de la main. Elle donne une branche sensitive pour la face interne du cinquième doigt et une autre pour le reste de ce même doigt et pour le côté ulnaire du quatrième, jusqu'à la base de l'ongle. Une troisième branche prend une

direction plus radiale sur le dos de la main vers la jonction des quatrième et troisième doigts et peut parfois innerver ceux-ci à la place du radial.
Le cubital et sa branche cutanée dorsale envoient des branches à la partie inférieure de l'articulation radio-cubitale.
Le nerf ulnaire entre dans la main du côté externe de l'os pisiforme dans un plan plus superficiel que le ligament annulaire du carpe, mais attaché à ces deux derniers par un arc fibreux. Ici, le nerf ulnaire est situé plus profondément que l'artère, ce qui le rend beaucoup moins vulnérable. Le muscle palmaire cutané (P.B.) forme lui aussi une couverture au nerf. Après le pisiforme, le nerf croise obliquement le ligament piso-unciformien, passant d'habitude à travers un tunnel situé à la partie superficielle du ligament annulaire (loge de Guyon),ou dans le tunnel formé par le fascia profond du palmaire cutané et ce ligament. Ce tunnel est une continuation de celui qu'emprunte le nerf à la partie superficielle du ligament annulaire antérieur du carpe attaché à l'os pisiforme, et le nom "loge de Guyon" peut véritablement s'appliquer à tout le tunnel à partir de l'os pisiforme jusqu'au ligament piso-unciformien. Puis, le plus souvent à l'extrémité distale du pisiforme le nerf ulnaire se divise en deux branches: superficielle et profonde.
La branche superficielle se place en dessous du palmaire cutané, auquel elle envoie un ou plusieurs filaments nerveux. Ensuite, en arrivant au bord distal du palmaire cutané, la branche terminale superficielle se divise en

deux: une branche pour le côté ulnaire du cinquième doigt et une deuxième pour le quatrième espace interdigital.
Le nerf du cinquième doigt envoie une branche au palmaire cutané – si cela n'a pas déjà été fait -, ensuite il suit la superficie du court fléchisseur du cinquième doigt (F.D.M.) en direction du doigt, il peut donner des collatérales vers le côté ulnaire de la main. Il est croisé par l'artère digitale; le nerf se place ainsi dans une position plus superficielle que l'artère - situation commune à tous les doigts. Dans le cinquième doigt, ce nerf est situé dans une position plus antérieure, et assez souvent même sur la face palmaire du doigt le rendant de ce fait particulièrement vulnérable.
La branche du quatrième espace interdigital suit son trajet jusqu'au bord distal de la paume, en envoyant des rameaux à la peau distale de la paume. Souvent, ce nerf est lié par une communicante à la branche digitale adjacente du médian. Grâce aux communicantes médio-cubitales situées soit ici, ou à des niveaux supérieurs, le nerf ulnaire peut suppléer la zone digitale externe, souvent jusqu'à l'index, soit par lui-même soit après anastomose avec le nerf médian. Des branches du nerf ulnaire allant à la face interne du quatrième doigt sont rarement évidentes à la dissection et, en général, ce territoire est innervé par le nerf médian.
La branche terminale profonde du nerf ulnaire accompagne l'artère ulnaire entre l'abducteur (A.D.M.) et le court fléchisseur du cinquième doigt (F.D.M.). Ensuite, elle traverse la paume en compagnie de l'arcade palmaire profonde, placée dans la concavité artérielle. Elle est

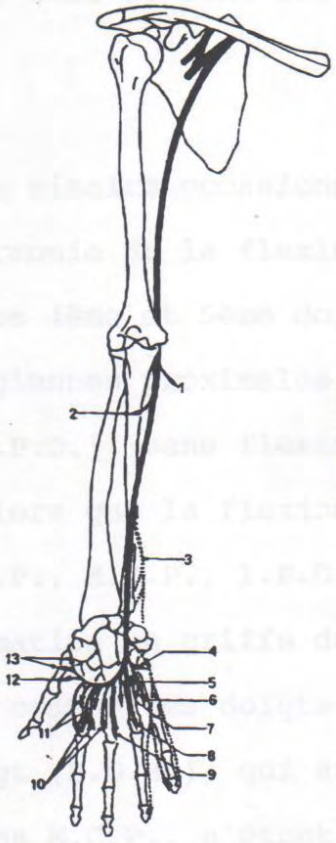
située sous le fascia couvrant les muscles intrinsèques, derrière l'espace radio-palmaire dans lequel passent les tendons des fléchisseurs. Le nerf fini par se placer entre les deux chefs de l'adducteur du pouce (A.P.) avant de se diviser pour former ses branches terminales.

Des branches, en général une ou deux pour chaque muscle, sont envoyées pour l'abducteur et pour le court fléchisseur du cinquième doigt. Souvent trois branches venues du même tronc, se dirigent vers l'opposant (O.D.M.); autrement, la séparation se fait après la perforation du muscle. La branche pour le quatrième muscle lombrical part ensemble avec celle pour les muscles hypothénariens ou avec la branche du quatrième espace interosseux, rarement seule. De même, le troisième lombrical reçoit son nerf unique via des branches allant au troisième espace interosseux.

Les muscles interosseux de chaque espace reçoivent des branches séparées, quoique partant d'un tronc commun unique. Les ramifications destinées au second espace quittent le tronc principal seules ou avec celles de l'adducteur du pouce. Les branches des deux chefs de ce dernier muscle quittent séparément le tronc principal avant les ramifications terminales, en allant vers le premier interosseux dorsal et la partie profonde du court fléchisseur du pouce.

L'on connaît beaucoup de variations dans l'innervation des muscles de la main. Le court fléchisseur du pouce peut avoir une innervation complète par le nerf ulnaire, mais le chef superficiel est rarement innervé par le nerf ulnaire, sans que le chef profond le soit. Le court abducteur du pouce et

l'opposant peuvent parfois être innervés à la fois par le nerf ulnaire et le médian, mais seulement ensemble avec le chef superficiel du court fléchisseur.



– *Le nerf cubital.*

1) Cubital antérieur ; 2) fléchisseur commun profond du 4e et 5e doigts ; 3) branche cutanée dorsale ; 4) palmaire cutané ; 5) abducteur du 5e doigt ; 6) opposant du 5e doigt ; 7) court fléchisseur du 5e doigt ; 8) 4e lombrical ; 9) 3e lombrical ; 10) interosseux palmaires ; 11) interosseux dorsaux ; 12) faisceau profond du court fléchisseur du pouce ; 13) adducteur du pouce. Les branches sensitives sont en pointillé.

Figure 5 :Nerf ULNAIRE

B. PARALYSIE DU NERF ULNAIRE

a. La paralysie basse atteint les muscles suivants: Palmaire cutané (P.B.), Abducteur du 5ème doigt (A.D.M.), Opposant du 5ème doigt (O.D.M.), Court fléchisseur du 5ème doigt (F.D.M.), 4ème Lombrical, 3ème Lombrical, Interosseux

palmaires (I.P.), Interosseux dorsaux (I.D.), Faisceau profond du court fléchisseur du pouce (F.P.B.), Adducteur du pouce (Ad. P.).

b. La paralysie haute atteint le fléchisseur profond (F.D.P.) des 4ème et 5ème doigts et le cubital antérieur (F.C.U.).

La paralysie ulnaire occasionne:
- Une dysharmonie de la flexion des doigts qui se déroule, au niveau des 4ème et 5ème doigts, dans l'ordre: Interphalangiennes proximales (I.P.P.) interphalangiennes distales (I.P.D.), sans flexion des métacarpophalangiennes (M.C.P.), alors que la flexion normale se produit dans l'ordre I.P.P., M.C.P., I.P.D.
- Une déformation en griffe des 4ème et 5ème doigts. L'extenseur commun des doigts (E.D.C.) et l'extenseur propre du 5ème doigt (E.D.M.), qui agissent principalement sur les articulations M.C.P., n'étant plus équilibrés ni par les interosseux ni par les lombricaux ulnaires - fléchisseurs des M.C.P. et extenseurs des I.P.P et I.P.D.-, provoquent l'hyperextension des M.C.P. . Les articulations interphalangiennes, par effet ténodèse, se placent alors en flexion. Cette position en griffe, à la longue, se fixe par déformation du squelette fibreux.

La griffe ulnaire empêche la main de se creuser en forme de cupule pour saisir un objet. Elle entraîne les deux métacarpiens internes en extension, aplatit l'arche

transversale métacarpienne. Elle entrave la préparation à la prise et la tenue des objets.

- Une faiblesse des prises inter et pollicidigitales.
- Le déficit sensitif n'est pas trop gênant.

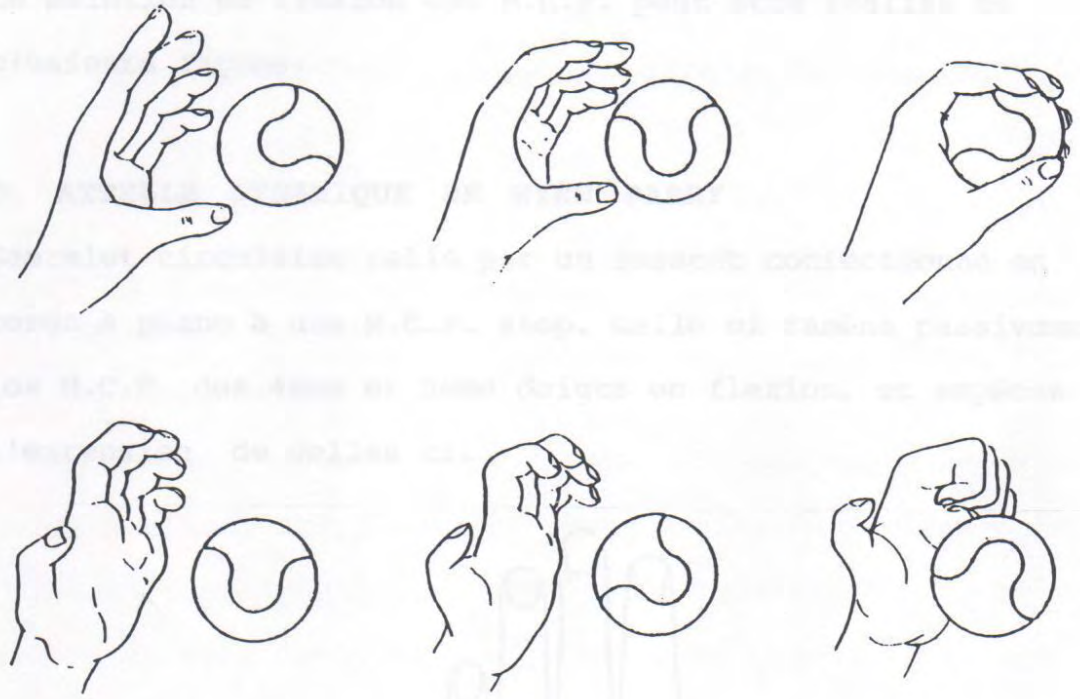


Figure 6 : Dysharmonie de la flexion des doigts (BRAND)

Ces déficits représentent le cahier des charges d'une attelle de suppléance de paralysie ulnaire (10).

C. L'ATTELLE DE SUPPLEANCE

Rôle de l'attelle de suppléance.

Elle doit:

- Empêcher l'extension des M.C.P. afin de permettre aux muscles E.D.C. et E.D.M. d'étendre les I.P.P et I.P.D., (signe de Bouvier)

- Maintenir l'arche transversale métacarpienne pour éviter l'aplatissement de la main en "main de singe" et la déformation progressive du squelette fibreux.

Le maintien en flexion des M.C.P. peut être réalisé de plusieurs façons:

D. ATTELLE DYNAMIQUE DE WYNN PARRY

Gantelet circulaire relié par un ressort confectionné en corde à piano à une M.C.P. stop. Celle ci ramène passivement les M.C.P. des 4ème et 5ème doigts en flexion, et empêche l'extension de celles ci.

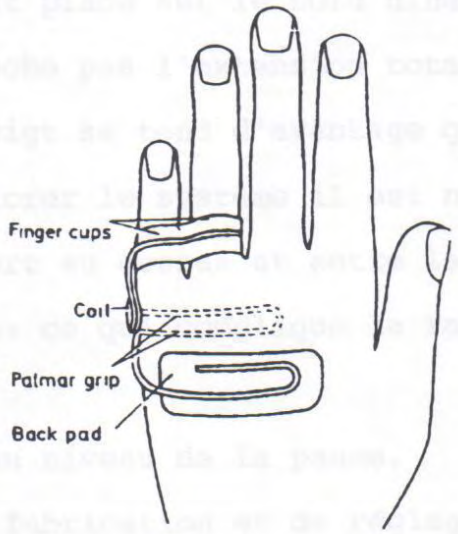


Figure 7: Dessin d'une attelle pour griffe ulnaire. in Réhabilitation of the Hand. pp.195.

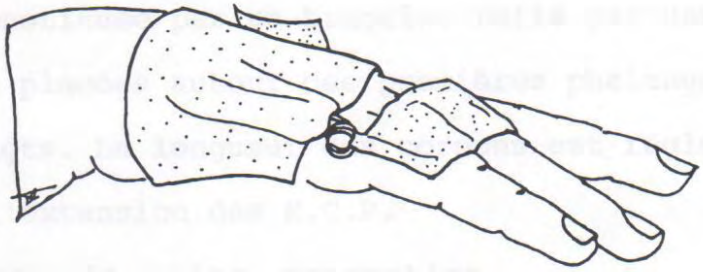


Figure 8: Modification d'une attelle de Wynn Parry

1. Avantages de cette conception:

Le gantelet circulaire maintien la concavité de l'arche métacarpienne transversale.

2. Inconvénients

- En général, un seul ressort constitué par des spires en corde à piano, est placé sur le bord ulnaire de l'attelle. Le ressort n'empêche pas l'extension totale des M.C.P. La M.C.P. du 4ème doigt se tend d'avantage que celle du 5ème doigt. Pour améliorer le système il est nécessaire de placer un deuxième ressort au dessus et entre les têtes des 3ème et 4ème métacarpiens; ce qui complique la fabrication de l'attelle.
- Gêne apportée au niveau de la paume.
- Difficultés de fabrication et de réglage.

E. ATTELLE STATIQUE EN CUIR

Elle est constituée par un bracelet relié par deux cordons à deux bagues placées autour des premières phalanges des 4ème et 5ème doigts. La longueur des cordons est réglée pour interdire l'extension des M.C.P.

1. Avantages de cette conception

Légèreté, simplicité, convivialité. Facilité de fabrication. peu de gène au niveau de la paume.

2. Inconvénients

Ne maintient pas l'arche transversale de la main.

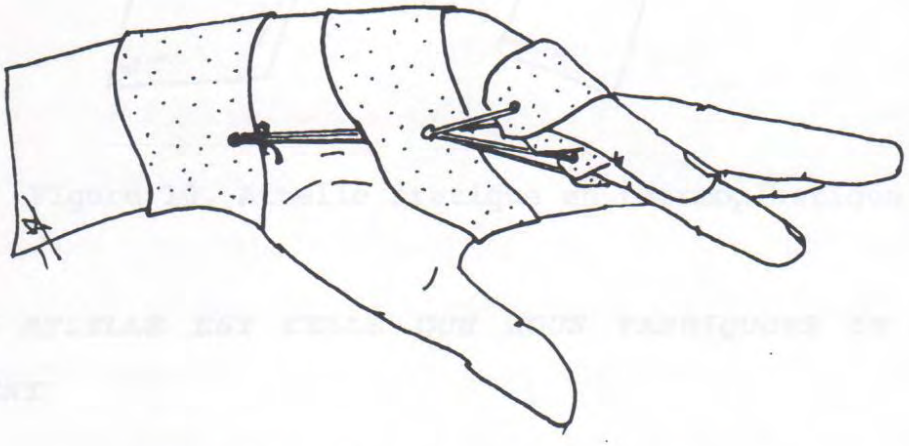


Figure 9, Attelle statique en cuir.

F.ATTELLE STATIQUE EN THERMOPLASTIQUE

Elle est réalisée dans un rectangle de thermoplastique fendu par deux traits longitudinaux. La main est glissée entre les fentes de façon à former deux appuis dorsaux situés sur la face dorsale de la main et des premières phalanges et un contre-appui palmaire situé proximalement au pli palmaire distal.

1. Avantages de cette conception

Légèreté, simplicité, convivialité, facilité de fabrication.

2. Inconvénients

Légère gêne au niveau de la paume.

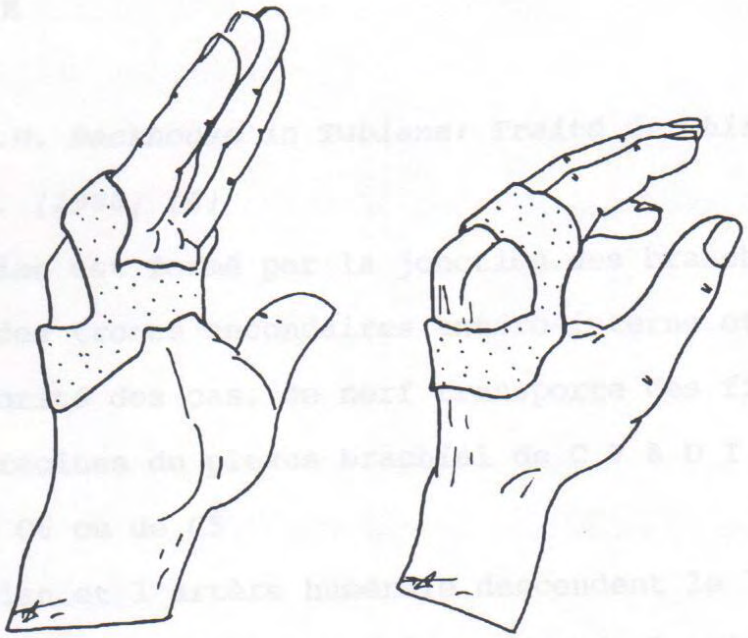


Figure 10, Attelle statique en thermoplastique

CETTE ATTELLE EST CELLE QUE NOUS FABRIQUONS LE PLUS SOUVENT

2. LE NERF MEDIAN

A. ANATOMIE

Adapté de K.M. Backhouse in Tubiana: Traité de Chirurgie de la main T.I. (1980) (4)

Le nerf médian est formé par la jonction des branches terminales des troncs secondaires antéro-interne et externe. Dans la majorité des cas, ce nerf transporte des fibres de toutes les racines du plexus brachial de C 7 à D I assez rarement de C6 ou de C5

Le nerf médian et l'artère humérale descendent le long du bras en dedans du coraco-brachial le long de la cloison intermusculaire interne et sur le brachial antérieur. Après l'insertion du coracobrachial ils sont situés en dedans du biceps, puis de son tendon au niveau du coude dans le sillon bicipital interne. Le nerf et l'artère sont accompagnés par d'autres branches du plexus brachial. A peu près au milieu du bras, le nerf croise en avant l'artère pour passer sur son côté interne; parfois. il peut passer derrière l'artère. Au-dessus du coude, naît parfois une branche pour le rond pronateur.(P.T.).

Au pli du coude, le nerf passe entre les deux chefs du rond pronateur pour arriver dans l'avant-bras; il envoie des branches pour le coude et pour l'articulation radio-cubitale supérieure, et des rameaux pour le rond pronateur, le grand palmaire (F.C.R.) le fléchisseur commun superficiel (F.D.S.) le petit palmaire, (P.L.) et pour l'artère humérale et ses branches.

Après être passé par les boutonnières du rond pronateur et du fléchisseur commun superficiel, le nerf médian passe dans la gaine du fléchisseur commun superficiel des doigts, par laquelle il est accolé au muscle.

Pendant son trajet dans ce muscle, il lui donne quelques branches, après avoir fourni le nerf interosseux antérieur.

Les collatérales musculaires sont très variables dans l'avant-bras. Le rond pronateur reçoit plusieurs branches parmi lesquelles la première nait au niveau de l'épitrochlée dans à peu près la moitié des cas. Le grand et le petit palmaire reçoivent chacun une seule collatérale qui partent d'un tronc commun avec celles des autres muscles, et presque toujours au-dessus du coude.

Le nerf interosseux antérieur naît sur la face postérieure du nerf médian, de 5 à 8 cm plus bas que l'épitrochlée et chemine sur le fléchisseur commun profond (F.D.P.) pour arriver au sillon situé sur la membrane interosseuse entre le fléchisseur commun profond et le fléchisseur propre du pouce (F.P.L.). Il innerve chacun de ces muscles pendant qu'il les longe, par branches séparées ou provenant d'un tronc commun, renforcées occasionnellement des rameaux venus directement du médian.

La branche collatérale pour le fléchisseur commun profond l'innerve seulement du côté externe. Le nerf interosseux antérieur finit par se diviser pour envoyer sa plus grande branche terminale au carré pronateur (P.Q.) ; sa terminale, plus fine, passe sur la face profonde de ce muscle pour innerver les articulations du carpe. La lésion isolée du nerf interosseux antérieur est rare. Un exemple

caractéristique est la paralysie du fléchisseur propre du pouce (trouble de la pince) et du fléchisseur profond de l'index; le fléchisseur du troisième doigt peut garder sa fonction grâce à la compensation ulnaire (il y a aussi une contribution du médian pour le coté ulnaire de ce doigt) mais jamais pour l'index. Parfois, Ia lésion du nerf interosseux antérieur s'accompagne d'une perte de force de pronation. Les signes cliniques peuvent varier à cause des anastomoses possibles entre les nerfs médian et ulnaire par l'intermédiaire du nerf interosseux antérieur.

Le nerf médian atteint le poignet du coté externe du fléchisseur commun superficiel et sur un plan profond par rapport au grand palmaire et au petit palmaire. Au poignet, le nerf se trouve étalé entre ces deux tendons. A 5 ou 7 cm du poignet. le nerf envoie une branche cutanée palmaire. Celle-ci quitte le côté externe du nerf et, devenant superficielle, suit le tendon du petit palmaire avant de passer devant le ligament annulaire du carpe pour innerver une partie variable de la paume, où elle se superpose à la branche cutanée palmaire ulnaire.

Le nerf médian traverse le canal carpien superficiel, couché sur les tendons fléchisseurs des doigts. Vers la fin du canal carpien, le nerf médian se divise en branches terminales, le plus souvent en deux branches qui se partagent chacune tout de suite en deux autres pour produire quatre rameaux cutanés digitaux vers le pouce, le coté externe de l'index, les deuxième et troisième espaces.

La division se situe à 2 à 3 mm avant ou après le bord inférieur du ligament annulaire antérieur.

La branche motrice thénarienne naît aussi à l'endroit de division du nerf médian. On peut dire qu'elle quitte le nerf sur son côté externe et suit un trajet récurrent au bord inférieur du ligament annulaire, pour pénétrer dans la masse musculaire thénarienne. Pourtant l'origine la plus courante se trouve sur la face antérieure du nerf à peu près au niveau de sa première division. Elle peut naître du côté externe, mais souvent aussi du côté interne. Après avoir quitté le nerf médian, la branche motrice tourne autour du bord distal du ligament annulaire antérieur du carpe, ensuite elle se place sur la surface du court fléchisseur du pouce (F.P.B.), après avoir perforé l'aponévrose palmaire externe .

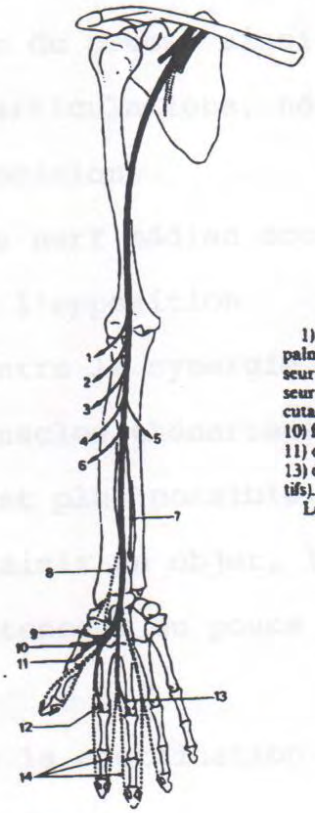
Elle passe le plus souvent à travers un tunnel situé du coté thénarien du ligament annulaire. Elle envoie une branche pour le chef superficiel du court fléchisseur du pouce, ensuite pour le court abducteur du pouce (A.P.B.), et finit dans l'opposant (O.P.).

Les branches sensitives, pendant leur trajet dans la paume, passent à un niveau plus profond que l'arcade palmaire superficielle; ensuite, à l'approche des doigts, elles deviennent plus superficielles que les vaisseaux digitaux. La branche collatérale externe de l'index innerve aussi le premier lombrical et la branche digitale du deuxième espace, le deuxième lombrical. La branche du pouce se divise très tôt en deux, une pour chaque côté du pouce. Souvent, la branche collatérale interne du pouce naît avec la collatérale externe de l'index. La branche pour le côté externe du pouce part séparément du médian. Cette branche

croise la face palmaire du pouce au niveau de l'articulation M P.

Les branches sensitives digitales transportent non seulement les fibres sensitives et sympathiques pour la peau et motrices pour les deux premiers lombricaux, mais aussi la riche innervation des articulations digitales et des vaisseaux sanguins.

Le nerf médian est sujet à des variations considérables. Les plus importantes ont été observées dans l'innervation des muscles thénariens, du premier interosseux dorsal et des lombricaux, ainsi qu'une augmentation de la présence ulnaire sur le troisième doigt.



Le nerf médian.

1) Rond pronateur; 2) grand palmaire; 3) petit palmaire; 4) fléchisseur commun superficiel; 5) fléchisseur commun profond (2e et 3e doigts); 6) long fléchisseur propre du pouce; 7) carré pronateur; 8) rameau cutané palmaire; 9) court abducteur du pouce; 10) faisceau superficiel du court fléchisseur du pouce; 11) opposant du pouce; 12) premier lombrical; 13) deuxième lombrical; 14) nerfs collatéraux (sensitifs).

Les branches sensitives sont en pointillé.

FIGURE 11: LE NERF MEDIAN

B. PARALYSIE DU NERF MEDIAN

a. La paralysie basse atteint les muscles suivants : court abducteur du pouce (A.P.B.); faisceau superficiel du court fléchisseur du pouce (F.P.B.); opposant du pouce (O.P.); premier lombrical (L.P.); deuxième lombrical (L.S.);

b. La paralysie haute atteint les muscles suivants : Rond pronateur (P.T.); grand palmaire (F.C.R.); petit palmaire (P.L.); fléchisseur commun superficiel (F.D.S.); fléchisseur commun profond (2ème et 3ème doigts F.D.P.); long fléchisseur propre du pouce (F.P.L.); carré pronateur (P.Q.).

Les lésions du nerf médian produisent une incapacité grave, car il est responsable de la flexion des doigts et du pouce, de l'opposition du pouce, ainsi que de la sensibilité des doigts et des articulations, nécessaire pour une activité digitale de précision.

La paralysie du nerf médian occasionne

- une perte de l'opposition
- la rupture entre la synergie des muscles extenseurs du pouce et des muscles thénariens : l'ouverture de la première commissure n'est plus possible. Lors de la présentation de la main pour saisir un objet, le pouce, entraîné par le muscle long extenseur du pouce (E.P.L.), se place en rétroposition.
- Une perte de la coordination des mouvements aussi bien de finesse que de force.
- Une perte de force.

- Une perte de sensibilité très invalidante du pouce, de l'index , du médius, et du bord radial de l'annulaire, partie de la main spécialisée comme l'a montré NAPIER, dans les gestes de finesse.

La perte de la sensibilité pose d'ailleurs souvent plus de problèmes que la paralysie motrice. Le patient doit compenser par observation visuelle la prise et la tenue des objets, ou bien suppléer par des prises effectuées par le côté ulnaire de la main.

Pour cette raison, certains patients préfèrent ne pas mettre leur attelle de suppléance, même si celle ci est de conception et de réalisation irréprochable. Avec ces patients, il faut toutefois insister sur le port nocturne d'une attelle de maintien de l'ouverture de la première commissure.

C. L'ATTELLE DE SUPPLEANCE

Rôle de l'attelle de suppléance

Elle doit :

- Prévenir une rétraction progressive de la première commissure. Ceci est le rôle de la "C" bar (Anderson) (1)
- Placer le pouce, lors de la préparation à la prise et lors de la tenue de l'objet en opposition. Ceci est le rôle de la " opponens bar" (Anderson).

Ainsi elle limite les schémas inefficaces de substitution, et facilite une utilisation fonctionnelle de la main.

Ce type d'attelle est de conception et de réalisation relativement simples et peut être réalisé de plusieurs façons.

D ATTELLE STATIQUE EN CUIR" DE WYNN PARRY

Elle est constituée d'un bracelet de cuir sur lequel est fixée une sangle élastique ou rigide qui ramène le premier métacarpien en opposition.

1. Avantages de cette conception

Légèreté, simplicité, convivialité. Facilité de fabrication. Peu de gêne au niveau de la paume.

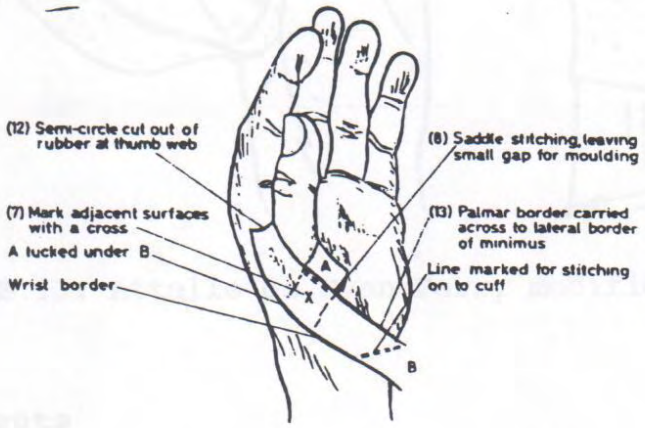


FIGURE 12: Attelle statique de Wynn Parry.p.201, in Rehabilitation of the Hand. pp. 201

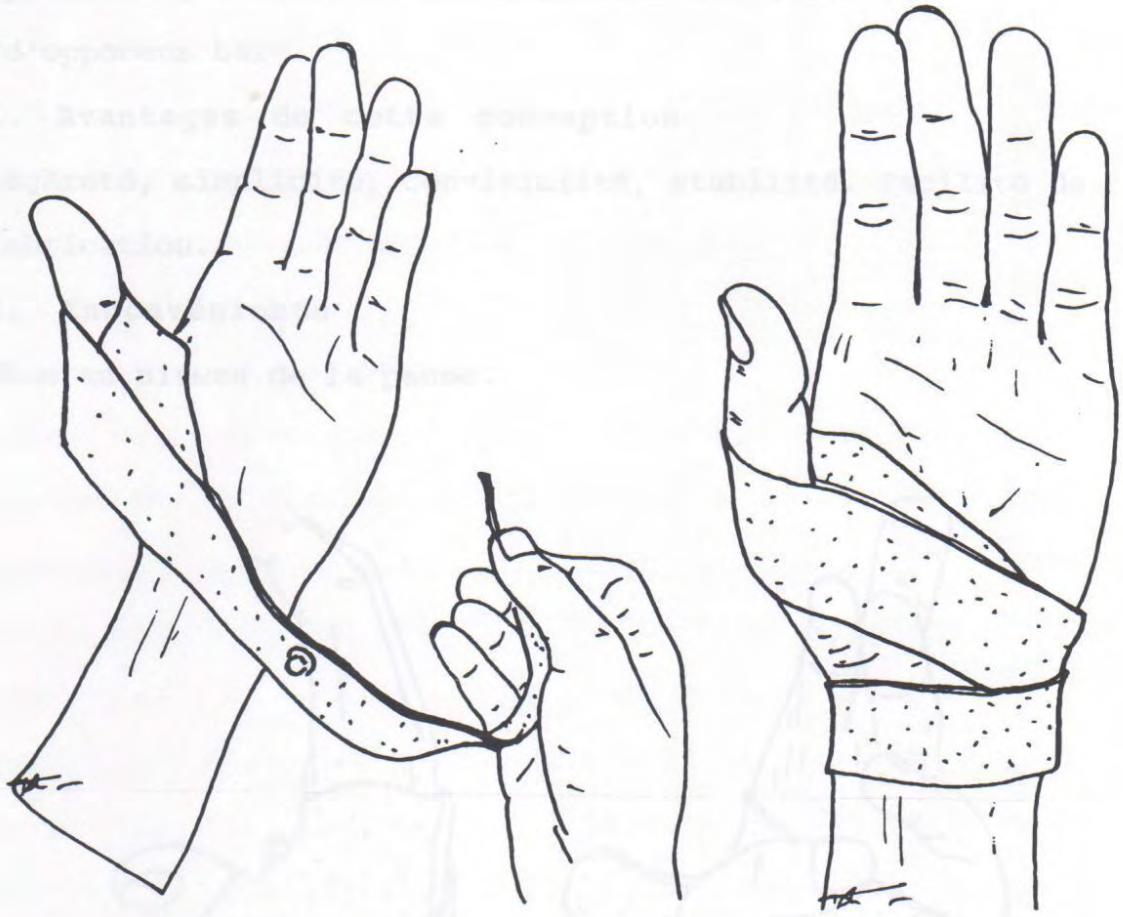


FIGURE 13: Attelle de Wynn Parry modifiée.

2. Inconvénients

Ne stabilise pas le pouce en opposition aussi bien qu'une attelle en thermoplastique.

E. ATTELLE STATIQUE EN THERMOPLASTIQUE

Elle est constituée par un gantelet circulaire de type fourreau, qui ne doit gêner ni les mouvements des doigts longs, ni ceux du poignet, et parallèlement qui doit libérer autant que possible la paume de la main . Une pièce de thermoplastique solidaire du gantelet place le pouce en

opposition, et fait office à la fois de "C bar" et "d'opponens bar".

1. Avantages de cette conception

Légèreté, simplicité, convivialité, stabilité. Facilité de fabrication.

2. Inconvénients

Gène au niveau de la paume.

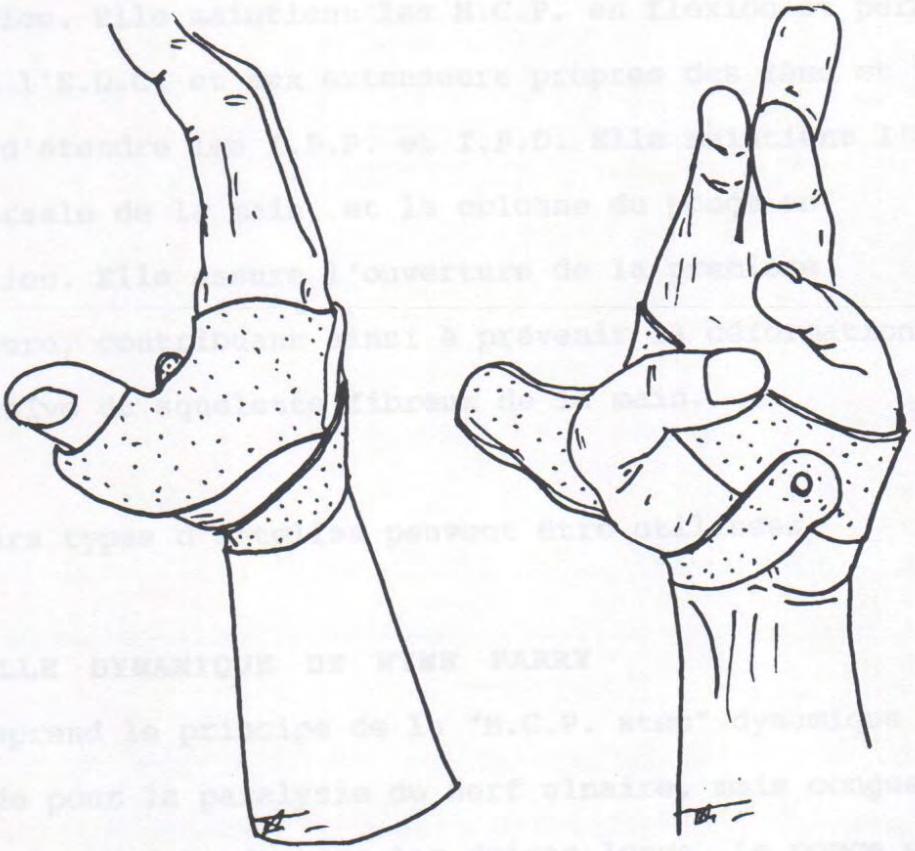


FIGURE 14: Attelle statique en thermoplastique.

NOUS FABRIQUONS CES DEUX ATTELLES SELON LES BESOINS DES PATIENTS

3. PARALYSIE DES NERFS MEDIAN ET ULNAIRE

En plus de l'atteinte affectant la colonne du pouce, la main se place en griffe sous l'action des muscles extenseurs et fléchisseurs extrinsèques qui ne sont plus équilibrés et coordonnés par les muscles interosseux ,lombricaux, thénariens et hypothénariens.
L'attelle de fonction est également une attelle de prévention. Elle maintient les M.C.P. en flexion et permet ainsi à l'E.D.C. et aux extenseurs propres des 2ème et 5ème doigts d'étendre les I.P.P. et I.P.D. Elle maintient l'arche transversale de la main, et la colonne du pouce en opposition. Elle assure l'ouverture de la première commissure, contribuant ainsi à prévenir la déformation progressive du squelette fibreux de la main.

Plusieurs types d'attelles peuvent être utilisées.

A.ATTELLE DYNAMIQUE DE WYNN PARRY

Elle reprend le principe de la "M.C.P. stop" dynamique utilisée pour la paralysie du nerf ulnaire, mais conçue pour fléchir les M.C.P. de tous les doigts longs. Le pouce est placé en opposition par une bague motorisée par un ressort solidarisé à la partie palmaire de l'attelle et confectionné en corde à piano

1. Avantages de cette conception

Légèreté, convivialité, stabilité.

2.Inconvénients

- Difficulté de fabrication
- Gêne au niveau de la paume.
- Ne stabilise pas le pouce en opposition aussi bien qu'une attelle en thermoplastique.

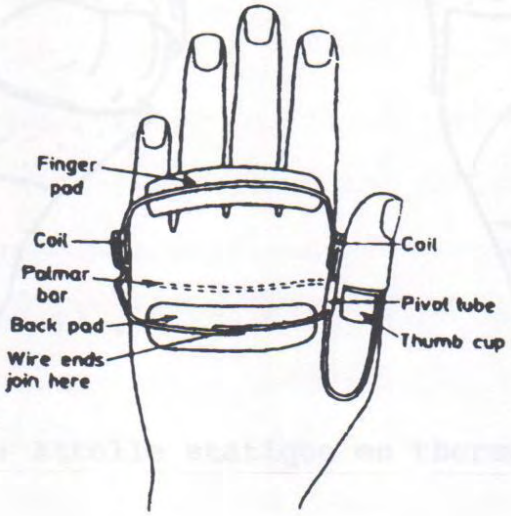


FIGURE 15: Dessin de l'attelle de suppléance pour lésion combinée médio-ulnaire.in Rehabilitation of the Hand.pp.198.

B. ATTELLE STATIQUE EN THERMOPLASTIQUE

Cette attelle reprend le modèle d'attelle "M.C.P. stop" décrite pour les paralysies ulnaires. On lui ajoute une pièce qui maintient le pouce en opposition. Cette pièce tient lieu à la fois de "C bar" et " d'OPPONENS bar"

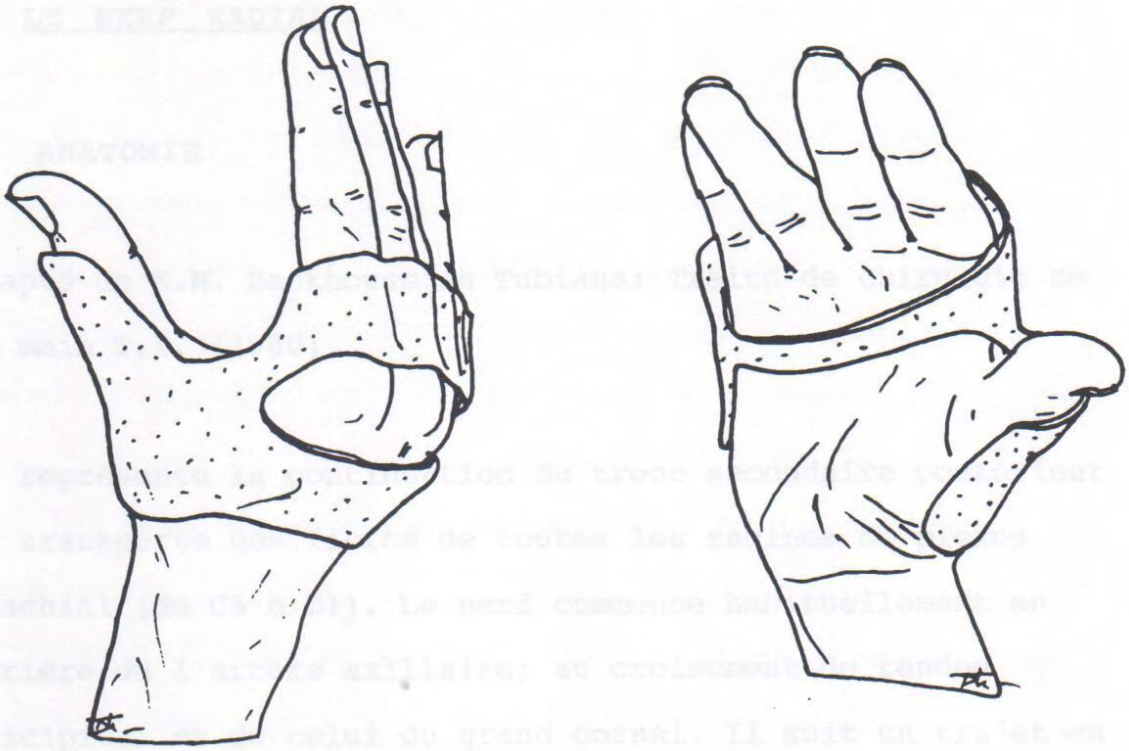


FIGURE 16: Attelle statique en thermoplastique.

4. LE NERF RADIAL

A. ANATOMIE

Adapté de K.M. Backhouse in Tubiana: Traité de Chirurgie de la main T.I. (1980)

Il représente la continuation du tronc secondaire postérieur et transporte des fibres de toutes les racines du plexus brachial (de C5 à D1). Le nerf commence habituellement en arrière de l'artère axillaire; au croisement du tendon tricipital et de celui du grand dorsal. Il suit un trajet en dehors de l'artère humérale profonde derrière l'humérus. Il contourne l'os en contact direct avec le périoste dans la gouttière radiale, recouvert par le triceps brachial. Au niveau du tiers distal de l'humérus, il passe en avant, perce la cloison intermusculaire externe pour entrer dans la loge antérieure du bras, où il est situé en dehors du brachial antérieur et du biceps. Il continue ensuite sur le brachial antérieur, couvert par le long supinateur et les radiaux, avant de se diviser au dessus de l'articulation du coude en deux branches terminales: le nerf interosseux postérieur et la branche antérieure sensitive. Des branches pour le triceps brachial et l'anconé partent au niveau de l'aisselle et dans la gouttière humérale, mais en général la moitié des branches ont déjà quitté le tronc principal avant le tiers moyen de l'humérus. La branche de l'anconé se détache vers la face interne du triceps brachial qu'il traverse pour arriver à l'anconé.

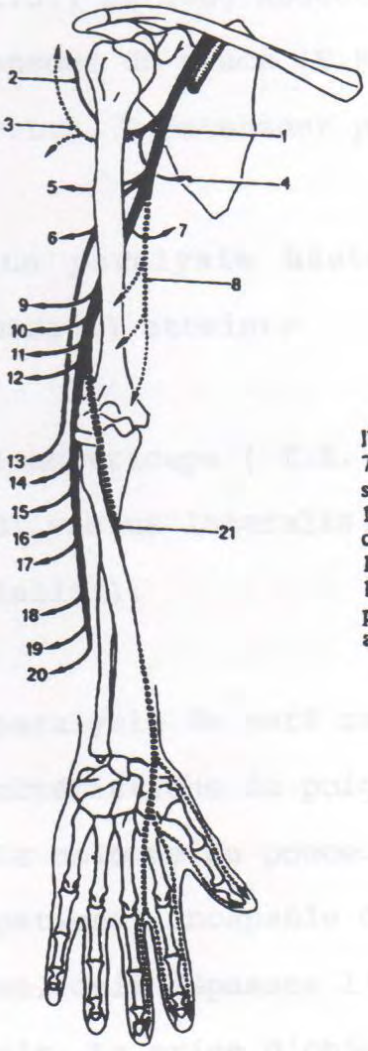
Des branches partent vers les muscles, brachial antérieur et long supinateur, dans la loge antérieure du bras. Le premier radial reçoit ses branches aussi à ce niveau, mais des ramifications supplémentaires peuvent partir soit du nerf radial plus bas, soit du nerf radial superficiel, parfois même du nerf interosseux postérieur. Le deuxième radial reçoit d'habitude une branche quittant le nerf à un niveau plus bas que l'épicondyle, occasionnellement en même temps que les branches distales du radial ou de ses branches terminales. Parfois, le muscle supinateur reçoit aussi une branche du tronc radial. Des rameaux articulaires pour le coude partent aussi bien du radial que du nerf pour l'anconé.

Au niveau de l'épicondyle le nerf radial se divise en deux:

- **le nerf radial superficiel** ou branche antérieure sensitive
- **le nerf interosseux postérieur**, branche terminale motrice du radial.

C'est le nerf des extenseurs des doigts. Il chemine entre les deux couches, superficielle et profonde, du court supinateur qu'il innerve. Il contourne l'extrémité supérieure du radius. D'habitude, le nerf envoie des branches pour le deuxième radial avant de pénétrer le court supinateur. Le nerf envoie plusieurs rameaux au court supinateur, dont une partie pénètre dans la masse musculaire avec le tronc principal avant d'aller, avec les autres branches, se perdre dans le tissu musculaire.

Dès que le nerf quitte le court supinateur, il se divise. d'une manière variable, en branches pour l'extenseur commun des doigts, l'extenseur propre du cinquième doigt et du cubital postérieur. Le nerf continue son trajet sur la surface du long abducteur du pouce et envoie plusieurs branches pour chacun des muscles suivants: long abducteur du pouce, long extenseur du pouce, court extenseur du pouce et l'extenseur propre de l'index, ainsi que des branches superficielles. Une branche terminale passe au-dessous du long extenseur du pouce pour le poignet et les articulations carpiennes.



Les nerfs postérieurs (circonflexe et radial). L'avant-bras est en pronation.

1) Nerf circonflexe ; 2) deltoïde ; 3) rameau cutané de l'épaule ; 4) petit rond ; 5) long triceps ; 6) vaste externe ; 7) vaste interne ; 8) rameau cutané interne ; 9) long supinateur ; 10) premier radial ; 11) deuxième radial ; 12) court supinateur ; 13) anconé ; 14) extenseur commun des doigts ; 15) extenseur propre du 5e ; 16) cubital postérieur ; 17) long abducteur du pouce ; 18) court extenseur du pouce ; 19) long extenseur du pouce ; 20) extenseur propre de l'index ; 21) branche antérieure sensitive.

Les branches sensitives sont en pointillé.

Figure 17: LE Nerf RADIAL

B. PARALYSIE DU NERF RADIAL

a. La paralysie basse, (distale au tiers inférieur de l'humérus) atteint :

Le long supinateur (B.R.). Le premier radial (E.C.R.L.). Le deuxième radial (E.C.R.B.). Le court supinateur (S.). L'anconé (A.). L'extenseur commun des doigts (E.D.C.). L'extenseur propre du 5ème (E.D.M.). Le cubital postérieur (E.C.U.) Le long abducteur du pouce (A.P.L.). Le court extenseur du pouce (E.P.B.).Le long extenseur du pouce (E.P.L.). L'extenseur propre de l'index.

b. La paralysie haute (proximale au tiers inférieur de l'humérus) atteint:

Le long triceps (T.B. caput longum). Le vaste externe (T.B. vastus lateralis). Le vaste interne (T.B. vastus medialis).

La paralysie du nerf radial entraîne la chute caractéristique du poignet, des M.C.P. des doigts longs, et de la colonne du pouce.
Le patient, incapable de présenter la main pour saisir un objet, doit dépasser l'objet avec sa main et reculer pour le saisir. La prise d'objets larges est impossible ainsi que

les prises de force puisque les extenseurs ne peuvent stabiliser le poignet en position de fonction.
Le maintien prolongé de cette condition entraîne l'établissement de schémas moteurs inefficaces. Généralement le patient fléchit activement le poignet pour étendre passivement les M.C.P. par mise en tension de l'E.D.C. grâce à l'effet ténodèse. La sensibilité palmaire restant intacte, les fléchisseurs étant préservés, un appareillage adéquat de paralysie radiale redonne une fonction quasi complète à la main et ainsi, est bien accepté par les patients.

C. L'ATTELLE DE SUPPLEANCE

Rôle de l'attelle de suppléance

Elle doit:
- Suppléer à l'extension du poignet, des M.C.P. des doigts longs, de la colonne du pouce.
- Stabiliser le poignet dans les prises de force.

Il existe deux tendances dans l'appareillage, simple stabilisation statique du poignet, suppléance dynamique à l'extension.
Dans le groupe des attelles de suppléance à l'extension, deux attelles de conception récente s'imposent. Ce sont les attelles Radial Bis (12) et Chapel Hill (5), qui utilisent le même type de "châssis", mais diffèrent par leur "motorisation"

D. ATTELLE RADIALE BIS

Le châssis de l'attelle peut être réalisé soit par une baguette métallique, comme du métal d'apport de soudure, soit par du thermoplastique modelé directement sur la main et le poignet placés en extension.
Des trous percés en regard de la face dorsale des premières phalanges et de part et d'autre du pli palmaire distal, font office de poulies de réflexion. Chaque doigt ainsi que le poignet sont amenés en extension par des élastiques situés sur le dos de l'attelle et reliés par des fils à des bagues de cuir placées sous les faces palmaires des premières phalanges et sous le pli palmaire distal au niveau de la paume de la main.

1. Avantage de cette conception

Légèreté, simplicité, convivialité, facilité de fabrication.
La flexion et l'extension de chaque doigt, ainsi que du poignet sont indépendantes.
Le cuir des bagues gêne peu la prise d'objets.
Pour mieux stabiliser le poignet dans les prises de force, la course des fils de traction est limitée par des billes de thermoplastique enroulées autour de noeuds placés à l'endroit voulu.
Le cadre en baguette métallique est plus long et difficile à réaliser que le modelage direct en thermoplastique, cependant il est plus convivial, plus aéré pour une utilisation au long cours.

2. Inconvénients

Besoin fréquent de changer les élastiques

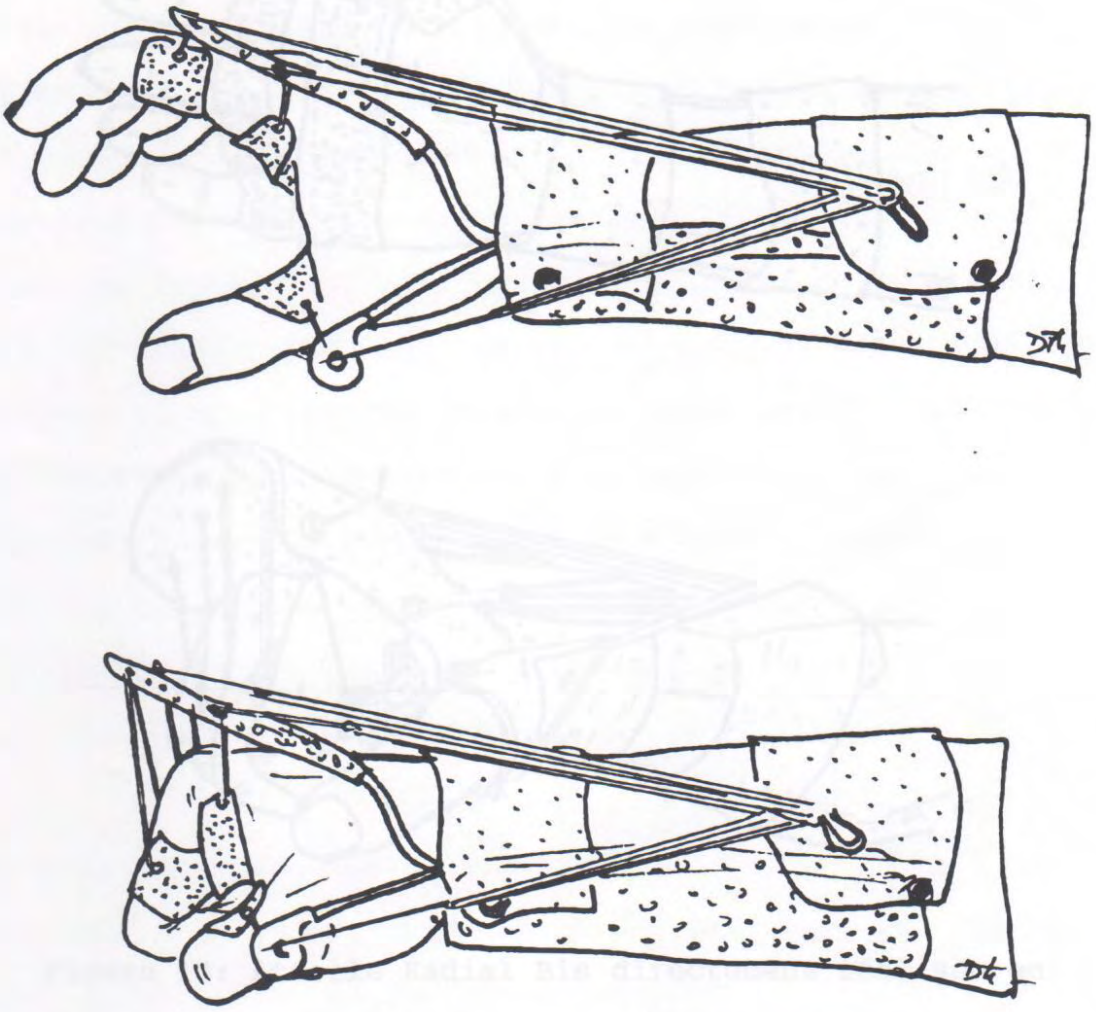


Figure 18: Attelle Radiale Bis à cadre réalisé en baguette métallique

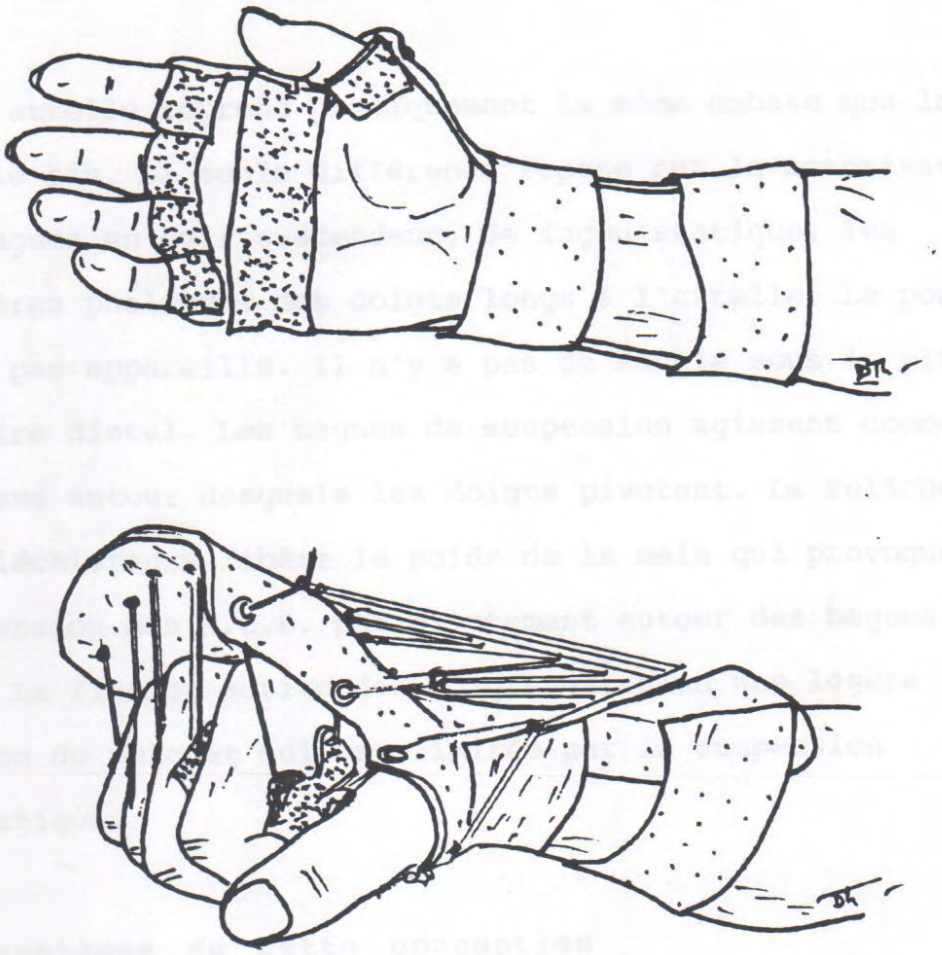


Figure 19: Attelle Radial Bis directement réalisée en thermoplastique, modelée sur la main et le poignet placés en position de fonction.

E. ATTELLE DE CHAPEL HILL

Cette attelle reprend pratiquement la même embase que la Radiale bis. La seule différence repose sur la motorisation. Des bagues en cuir suspendent, de façon statique, les premières phalanges des doigts longs à l'attelle. Le pouce n'est pas appareillé. Il n'y a pas de sangle sous le pli palmaire distal. Les bagues de suspension agissent comme des fulcrums autour desquels les doigts pivotent. Le relâchement des fléchisseurs libère le poids de la main qui provoque l'extension des M.C.P. par pivotement autour des bagues de cuir. La flexion active des doigts entraîne une légère flexion du poignet qui est limitée par la suspension inélastique.

1. Avantages de cette conception

Légèreté, simplicité, convivialité, facilité de fabrication.
Bonne stabilité du poignet dans les prises de force
Le cuir des bagues gêne peu la prise d'objets.

2. Inconvénients

Les doigts ne sont pas indépendants.
Le patient développe un schéma moteur paradoxal; il doit penser à relâcher les fléchisseurs pour obtenir l'extension de ses doigts.
Pour laisser la place au pivotement des doigts, l'attelle est plus encombrante - moins "profil bas"- que l'attelle Radiale bis.

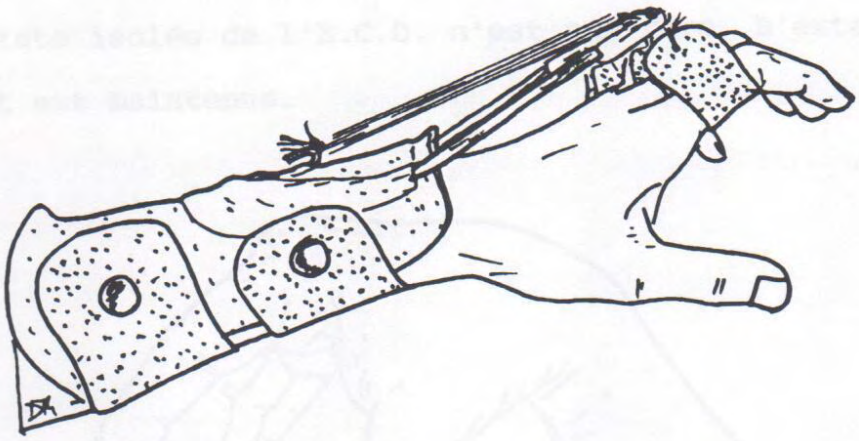


Figure 20: Attelle Chapel Hill, suspension statique de la main et du poignet.

L'ATTELLE RADIALE BIS EST CELLE QUE NOUS PREFERONS ET PRECONISONS.

5. ATTEINTE ISOLEE DE L'EXTENSEUR COMMUN DES DOIGTS

L'atteinte isolée de l'E.C.D. n'est pas rare. L'extension du poignet est maintenue.

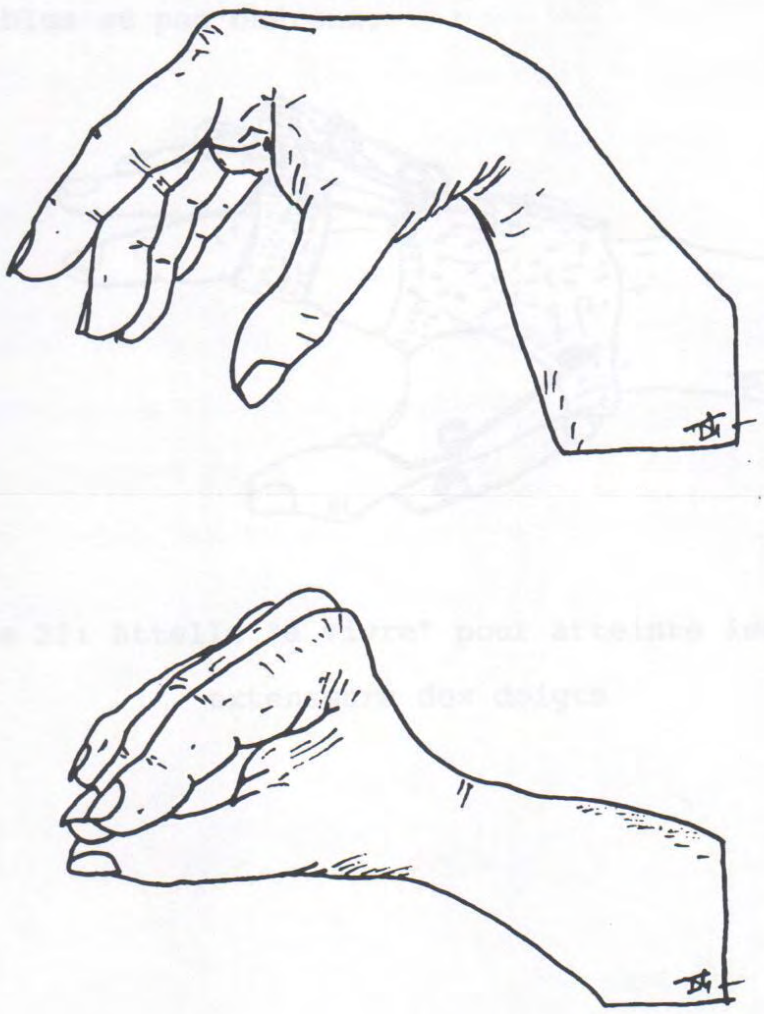


Figure 21: Atteinte isolée des extenseurs des doigts. Seule reste possible l'extension du poignet.

Il convient de réaliser une attelle discrète qui réanime l'extension des M.C.P. L'extension individuelle des doigts est réalisable de plusieurs façons: Système à profil bas avec traction par élastiques ou ressorts.

Lames de LEVAME. Système "lively splints" utilisant des ressorts en corde à piano.

Nous préférons ce dernier concept, il permet de diminuer au maximum l'encombrement de l'attelle, en outre les ressorts suivent les doigts lors de la flexion, ne se déforment pas, sont durables et peu onéreux.

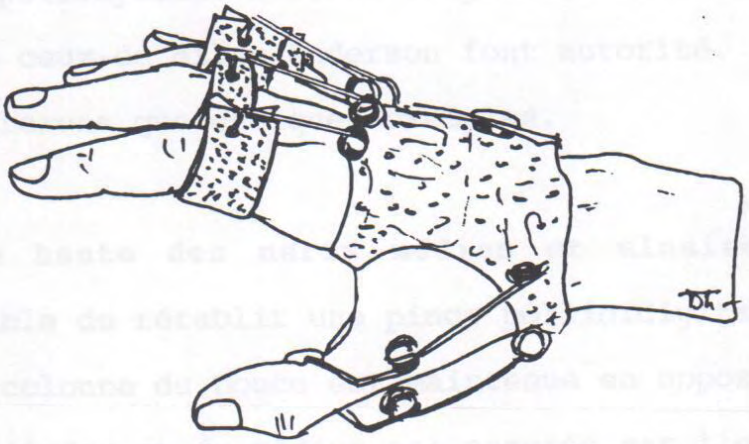


Figure 22: Attelle "à vivre" pour atteinte isolée des extenseurs des doigts

6. ATTEINTES COMPLEXES

Dans le cas d'atteintes complexes, associant à des degrés et des niveaux divers les nerfs moteurs de la main, le rééducateur devra improviser en utilisant les muscles qui restent. Il n'est pas possible de tout envisager. Les techniques et principes d'appareillage décrits à l'époque du règne de la poliomyélite restent toujours d'actualité et des livres comme ceux de Miles Anderson font autorité.
Nous ne montrerons que quelques exemples.

A. Atteinte haute des nerfs médian et ulnaire

Il est possible de rétablir une pince pollicidigitale tripode. La colonne du pouce est maintenue en opposition. La flexion de l'index et du médius est assurée par l'extension active du poignet - par effet ténodèse -.

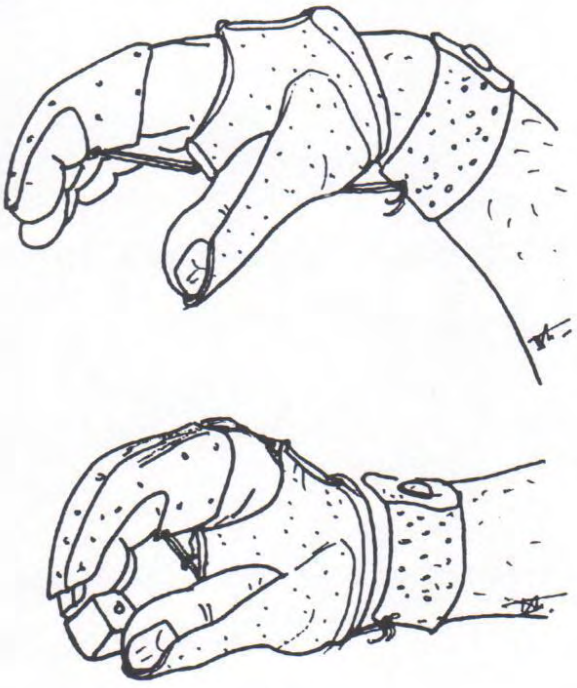


Figure 23: Attelle de prise tripode par effet ténodèse réalisée par l'extension active du poignet.

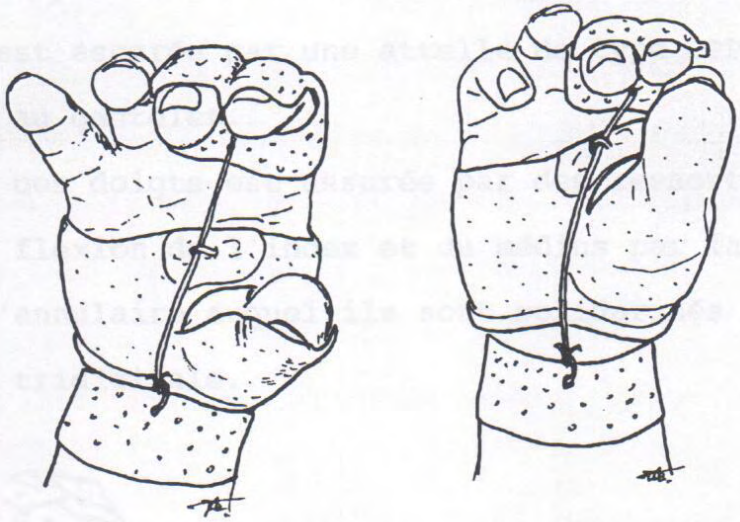


Figure 24: L'index et le médius, solidarisés par une syndactylie, sont plaqués contre le pouce par un fil tendu par l'extension active du poignet.

B. Atteinte haute des nerfs Radial et du médian (6)

La colonne du pouce est maintenue en opposition. L'extension du poignet est assurée par une attelle de type OPPENHEIMER solidarisée au gantelet.
L'extension des doigts est assurée par des ressorts en corde à piano. La flexion de l'index et du médius par la flexion active de l'annulaire auquel ils sont solidarisés par une syndactylie tridigitale.

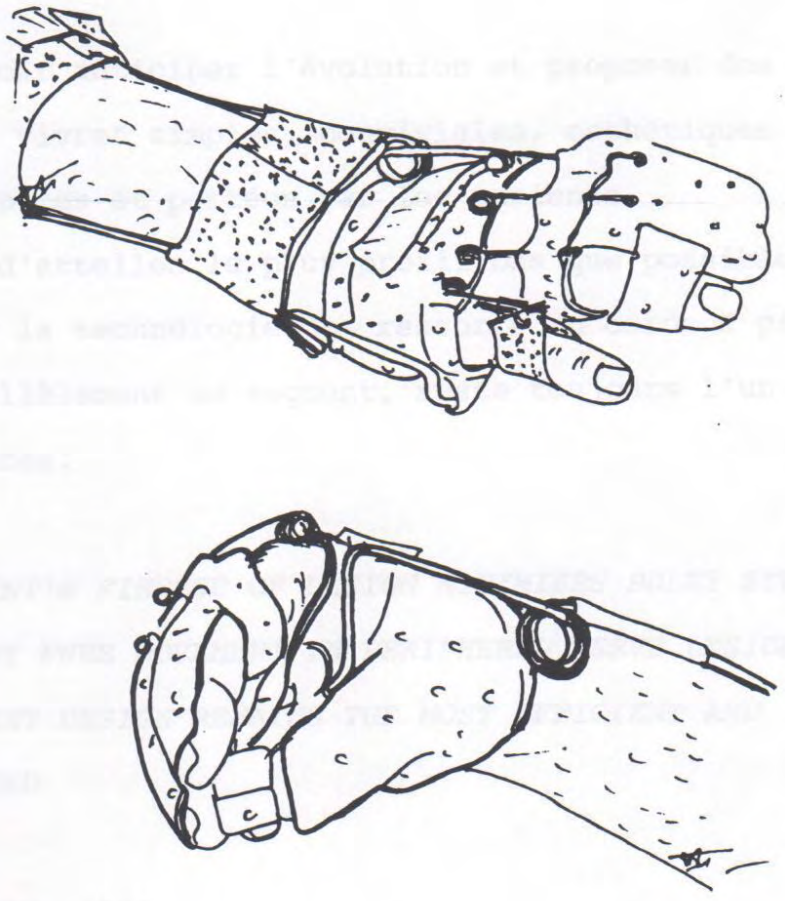


Figure 25: Attelle pour atteinte des nerfs radial et médian. Extension passive, flexion tripode de l'index et du médius contre le pouce, assurée par la flexion active de l'annulaire, innervé par le nerf ulnaire.

CONCLUSION

Les attelles jouent un rôle primordial dans les trois stades de l'évolution de la régénération des nerfs périphériques.
Les attelles de suppléance permettent l'utilisation fonctionnelle de la main et préviennent l'apparition de déformations lors de la longue phase de repousse axonale.
Leur conception et leur réalisation s'appuie sur la connaissance de l'anatomie, de la biomécanique et de la pathologie.
Il faut savoir anticiper l'évolution et proposer des "attelles à vivre" simples, conviviales, esthétiques qui seront acceptées et portées par les patients
Le concept d'attelles le plus profil bas que possible, permise par la technologie des ressorts en corde à piano placés parallèlement au segment, reste toujours l'un des plus efficaces.

LIVELY SPLINT'S FINESSE OF DESIGN MINIMIZES BULKY STRUCTURES THAT PREVENT FREE MOVEMENT IN PERIPHERAL NERVE LESION. LIVELY SPLINT DESIGN REMAINS THE MOST EFFICIENT AND SOPHISTICATED

Lynn CHESHIRE, 1995

BIBLIOGRAPHIE

1 ANDERSON M.H. Upper extremities orthotics 3rd. ed. 1974 Charles C Thomas publisher

2 ASHT Splint classification system (SCS) American Society of Hand Therapists, 1992

3 CAPENER N. The hand in surgery J.B.J.S. Vol. 38 B, N°.1 Feb.1956 pp.128-151

4 BACKHOUSE K.M. in Tubiana: Traité de Chirurgie de la main T.I. (1980) pp. 309-324.

5 COLDITZ J.C. Splinting for radial nerve palsy J.H.T. Vol. 1/ No. 1 october-december 1987 pp.18-23

6 DILINGHAM T. R. OLAJE F. H. THORNTON-VOGEL M. Orthosis for the complete median and radial nerve-injured war casualty J.H.T. Vol. 5/ No. 4 october-december 1992 pp. 212-216

7 DUCHENNE (de Boulogne) G.B. Physiologie des mouvements J._B. BAILLIERE et FILS Paris 1867. pp. 180-206.

8 DUVAL J.C. FRELAND J.C. BOULANGER Y. Objectifs et caractéristiques généraux des orthèses dans les paralysies des nerfs périphériques
Rev. Réadapt. Fonct.prof. soc. C.R.A.M. du nord est n° 10, 1983 pp. 6-7

9 FESS E. Rehabilitation of the patient with peripheral nerve injury, in Hand Clinics, VOL. 2, N° 1, Feb. 1986, W.B. Saunders. pp. 207-215.

10 GAISNE E. La main cubitale pp. 541-63.

11 LUNDBORG G. Peripheral nerve injuries: J.O H. T. july-september 1993. pp.179-188.

12 THOMAS D. MOUTET F. Etude comparative de deux attelles de paralysie radiale. Ann. Kinésithér.1992, t. 19, n° 3, pp. 148-151

13 WYNN PARRY C.B. Rehabilitation of the hand 4ème edition 1981 Butterworths pp. 192-207.