

Diplôme inter-universitaire « Rééducation et appareillage en chirurgie de la main »

Années 2013 – 2015

Le membre supérieur du tétraplégique, de la compensation à la chirurgie

Jury:

Pr. F. Moutet, CHU de Grenoble

Dr C. Leclercq, Institut de la main, Paris

Dr A. Prince, Clinique du Grésivaudan, La Tronche

M. Blanchard, CHU de Grenoble

P. Le Luc - Renault, CHU de Grenoble

Sandie NICOLAS Ergothérapeute D.E. Institution Nationale des Invalides Paris

SOMMAIRE

Reme	rciemer	nts	6
Introd	uction		7
I/ La 1	noelle é	épinière et la tétraplégie	8
		pelle épinière	8
	a.	Anatomie et rôles de la moelle épinière	8
	b.	Niveaux métamériques sensitifs et moteurs	10
	c.	Traumatismes de la moelle épinière	10
2.	La tét	raplégie	11
	a.	Définition et phases	11
	b.	Epidémiologie et étiologie	11
	c.	Syndromes lésionnel et sous lésionnel	12
3.	Troub	oles associés	12
	a.	Les déficiences respiratoires	12
	b.	Les déficiences neuro-orthopédiques	13
	c.	Les déficiences neuro-végétatives	13
	d.	Les déficiences vésico-sphinctériennes	14
	e.	Les déficiences génito-sexuelles	14
	f.	Les douleurs	14
4.	La cla	ssification Asia	14
5.	Les di	fférents syndromes médullaires	15
	a.	Le syndrome médullaire incomplet	15
	b.	Le syndrome de la lésion de l'hémi-moelle de Brown-Séquard	15
	c.	Le syndrome centromédullaire	16
	d.	Le syndrome transverse antérieur total	16
	e.	Le syndrome de la queue de cheval	16
	f.	Le syndrome du cône médullaire	17
	g.	Le syndrome transverse postérieur	17
6.	Nivea	ux lésionnels et capacités fonctionnelles	17
II/ Le	s compe	ensations du membre supérieur tétraplégique	19
		ations du membre supérieur du tétraplégique	19
	a.	Evaluation des déficiences et intégrités	19
	b.	Evaluation des préhensions	19
	c.	Bilan global des incapacités	21
2.	Attitu	des vicieuses	21
	a.	Corrélation entre segment lésionnel et attitude vicieuse	21
	b.	Correction orthopédique des attitudes vicieuses	22
3.	Biomé	canique compensatoire	23
	a.	Le membre supérieur en chaîne ouverte	23
		i. Extension du coude sans triceps	23
		ii. Pronation automatique de la main	23
		iii. Effet ténodèse	24
	b.	Le membre supérieur en chaîne fermée	24
4.	Optim	nisation des préhensions	25

5.	Orthè	ses de préhension et aides techniques	27
	a.	Orthèse d'opposition du pouce	27
	b.	Bracelet métacarpien	27
	c.	Bagues de maintien et adaptation d'objets	28
	d.	Orthèse de ténodèse	28
	e.	Orthèse myoélectrique	28
	f.	Stimulation électrique fonctionnelle externe (SEF externe)	29
6.	Amén	agement de l'environnement	30
	a.	Fauteuil roulant	30
	b.	Lieu de vie	31
	c.	Voiture	31
	d.	Accès à l'outil informatique	32
7.	La rol	ootique d'assistance à la préhension	33
	a.	Les stations de travail	33
	b.	Les robots mono-tâches	33
	c.	Les bras manipulateurs embarqués sur fauteuil roulant	34
	d.	La robotique mobile	35
III/ La	chirurg	gie de restauration du membre supérieur du tétraplégique	36
1.	Histor	ique	36
2.	La Cla	assification Internationale de Giens	38
3.	Phase	préopératoire	41
	a.	Sélection des patients	41
	b.	Principes	41
	c.	Bilans	42
	d.	Rééducation et appareillage préopératoires	43
4.	Corre	ction de l'attitude en supination	45
	a.	Transfert pronateur du biceps	46
	b.	Ostéotomie de dérotation pronatrice du radius	46
5.	Rétab	lissement de l'extension active du coude	46
	a.	Stabilité antérieure de l'épaule	47
	b.	Transfert du deltoïde postérieur sur le triceps	47
	c.	Transfert du biceps sur le triceps	48
6.	Rétab	lissement de la préhension	49
	a.	Groupe 0 : neurostimulation électrique fonctionnelle	49
	b.	Groupe 1	50
	c.	Groupe 2	51
	d.	Groupe 3	51
	e.	Groupes 4 et 5	52
	f.	Groupes 6 et 7	52
	g.	Groupes 8 et 9	53
7.	Progra	ammes de rééducation postopératoire	53
	a.	Rééducation après opération de Möberg	53
		i. Immobilisation et protection du transfert	53
		ii. Rééducation	54
	b.	Rééducation après opération de Zancolli	55
	c.	Rééducation de l'extension du poignet	55
	d.	Rééducation de la fermeture et ouverture des doigts	56

 Protection des transferts musculo-tendineux 	56
ii. Activation des transferts musculo-tendineux	56
iii. Dissociation de l'activité des transferts musculo-tendineux	56
8. Transferts neuronerveux	57
a. Extension du coude	57
b. Extension du poignet	58
9. Réflexions sur la chirurgie du tétraplégique	58
Conclusion	60
Annexes	61
Bibliographie	86

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier le Professeur Moutet et tous les intervenants du DIU « Rééducation et appareillage en chirurgie de la main » pour leur qualité d'enseignement et leur partage de connaissances. Je suis très fière d'avoir pu faire partie de la promotion 2013-2015.

Je remercie les équipes de rééducation des centres de Montpellier, Toulon, Marseille, Grenoble, Hyères, St-Paul-lès-Dax et Genève pour leur accueil chaleureux lors des stages et pour le temps qu'ils m'ont accordé.

Enfin, je souhaite remercier toute l'équipe d'ergothérapie de l'Institution Nationale des Invalides, qui m'a soutenu et encouragé, et sans laquelle ce projet personnel n'aurait pu aboutir.

Introduction

La tétraplégie traumatique, d'apparition brutale, va bouleverser la vie d'une personne dans tous ses aspects. Les membres supérieurs subiront une perte fonctionnelle majeure, et c'est pourtant grâce à eux que cette personne pourra espérer retrouver une autonomie relative dans les déplacements, les transferts, les activités de vie quotidienne.

La personne blessée médullaire va alors s'engager dans un long parcours de rééducation et de réadaptation pour se reconstruire, parcours dans lequel une nouvelle vie physiologique et fonctionnelle sera peu à peu intégrée. Elle apprendra à optimiser ses capacités gestuelles, à mettre en place des compensations motrices, à utiliser des aides techniques. L'équipe de rééducation sera particulièrement vigilante quant à la préservation et au développement de ce capital moteur précieux.

Avec l'avancée technologique de ces dernières années, l'électronique, l'informatique et la domotique ont pris une place prépondérante dans la vie des personnes tétraplégiques. Des nouvelles possibilités de déplacements, de communication, d'actions sur l'environnement sont désormais envisageables. De plus, les applications robotiques peuvent également être proposées aux personnes en situation de handicap moteur majeur.

En parallèle depuis une trentaine d'années, la chirurgie du membre supérieur tétraplégique se développe et offre à une grande majorité de personnes blessées médullaires des perspectives d'amélioration de leurs aptitudes de préhension. Cette chirurgie est bien codifiée par des procédures et protocoles, et une collaboration entre chirurgiens et équipes de rééducation est primordiale afin de garantir un résultat fonctionnel optimal.

I/LA MOELLE EPINIERE ET LA TETRAPLEGIE

1. <u>La moelle épinière</u>

a. Anatomie et rôles de la moelle épinière

La moelle épinière fait partie du système nerveux central, et est le prolongement de l'encéphale. Elle est enfermée dans la colonne vertébrale, mesure environ 42 cm, et s'arrête au niveau de la première ou deuxième vertèbre lombaire. Elle est protégée par les vertèbres, les méninges et le liquide céphalo-rachidien.

Chez l'être humain, 31 paires de nerfs spinaux naissent de la moelle épinière à partir de deux racines, émergent de la colonne vertébrale par les foramens intervertébraux, puis s'étendent jusqu'aux parties de corps qu'elles desservent. Tout comme la colonne vertébrale, la moelle épinière est segmentée. Chaque segment médullaire est rattaché à une paire de nerfs spinaux qui passent audessus de la vertèbre correspondante. Dans sa partie inférieure, la moelle épinière se termine par une structure conique appelée cône médullaire. Comme la moelle n'atteint pas l'extrémité inférieure de la colonne vertébrale, les racines des nerfs spinaux lombaires et sacrés se courbent brusquement et parcourent une certaine distance dans le canal vertébral avant d'atteindre leur foramen intervertébral. L'ensemble des racines situées à l'extrémité inférieure du canal vertébral porte le nom de queue de cheval.

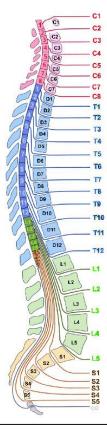
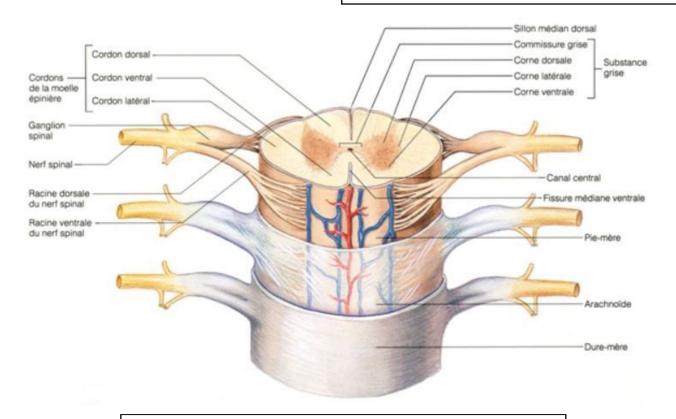


Figure 1 : Vertèbres, segments médullaires et nerfs spinaux



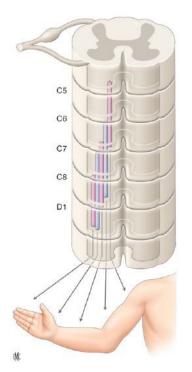
<u>Figure 2</u> : Vue en trois dimensions de la moelle épinière et des méninges [30]

Les principaux rôles de la moelle épinière sont de transmettre et d'intégrer les influx nerveux moteurs (descendants/efférents) qui viennent des différentes régions de l'encéphale, et les influx nerveux sensitifs (ascendants/afférents), provenant des capteurs sensoriels situés en périphérie de l'organisme. Les influx nerveux moteurs actionnent la contraction des muscles dans les mouvements volontaires (voies motrices somatiques), mais aussi gouvernent certains mécanismes physiologiques de façon autonome, tel le contrôle du rythme cardiaque, de la température corporelle et du péristaltisme (voies motrices sympathiques). Les voies sensorielles acheminent les informations provenant de récepteurs qui captent les sensations de chaud/froid, de douleur, de pression, de toucher, mais aussi de positionnement des muscles, des tendons et des articulations.

La moelle épinière est également le siège des réflexes spinaux, qui sont une réponse rapide et automatique des muscles squelettiques ou des muscles lisses viscéraux, à la suite d'une intégration exclusive dans la moelle épinière d'un stimulus sensoriel.

Sur une coupe transversale de moelle épinière, on remarque la présence de la matière grise, qui adopte une forme de H ou de papillon. La matière grise est entourée de matière blanche qui prend cette coloration due à sa forte concentration en myéline. Les cornes dorsales (postérieures), ventrales (antérieures) et latérales de la matière grise sont les centres névralgiques pour l'intégration et le relais des influx nerveux moteurs et sensitifs. Les influx nerveux sont ensuite propagés à leur cible via des faisceaux de la matière blanche (Figure 2). Celle-ci est subdivisée en trois cordons (dorsal, ventral, latéral), qui contiennent les différents faisceaux moteurs et sensitifs dont le nom est défini par leur position dans la moelle, leur origine et leur destination (ex : faisceau cortico-spinal latéral).

La corne ventrale de la substance grise a une fonction motrice. Elle contient les motoneurones dont les axones forment les fibres motrices des nerfs périphériques. Ces motoneurones sont groupés en noyaux moteurs (Figure 3). Les noyaux moteurs les plus hauts dans la moelle correspondent aux muscles de la racine du membre (épaule, bras), et les noyaux les plus bas dans la moelle cervicale correspondent aux muscles de l'extrémité distale du membre (muscles intrinsèques des doigts et du pouce).

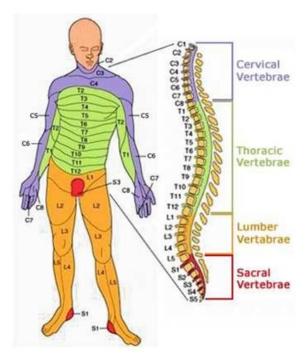


<u>Figure 3</u>: Schéma de l'ordre d'apparition des noyaux moteurs dans la moelle cervicale [37]

b. Niveaux métamériques sensitifs et moteurs

Un dermatome (« segment de peau ») correspond à la surface de peau innervée par les branches cutanées d'un nerf spinal. Tous les nerfs spinaux, à l'exception de C1, délimitent les dermatomes (Figure 4). Les dermatomes adjacents du tronc ont une largeur uniforme, ils sont presque horizontaux et leur distribution correspond à celle des nerfs spinaux. La disposition des dermatomes des membres est moins précise. La peau des membres supérieurs est desservie par les rameaux ventraux de C5 à T1. Les rameaux ventraux des nerfs lombaux innervent la majeure partie de la face antérieure des cuisses et des jambes, tandis que les rameaux ventraux des nerfs sacraux desservent la majeure partie de la face postérieure des membres inférieurs.

En réalité, les dermatomes ne sont pas aussi clairement définis que dans un schéma. Les dermatomes du tronc se chevauchent en grande partie (d'environ 50%); par conséquent, la destruction d'un nerf spinal n'entraîne nulle part un engourdissement complet du dermatome. Le



<u>Figure 4</u>: Dermatomes et segments médullaires correspondants

chevauchement est moins important dans les membres, et certaines zones de la peau ne sont innervées que par un seul nerf spinal.

L'étude de la motricité est complexe en raison de l'innervation des muscles. En effet, si à une racine correspond un **myotome** donné, un muscle est en règle générale innervé par deux ou trois racines (sauf les muscles intercostaux). Seule une atteinte complète des deux ou trois niveaux métamériques concernés donne une paralysie complète du muscle considéré (Annexe 1).

c. Traumatismes de la moelle épinière

Lors du traumatisme initial, quatre types de forces peuvent être responsables de lésions vertébromédullaires : flexion, extension, rotation et compression. Dans la majorité des cas, une combinaison de ces forces s'exerce sur la colonne et produit la lésion médullaire. On peut référencer différents tableaux de lésion médullaire :

- La commotion, qui correspond à un état transitoire de dépression des fonctions médullaires sans lésion anatomique visible. L'aspect anatomique de la moelle est normal, mais il existe des altérations histologiques modérées. La gravité du déficit initial peut aller jusqu'à la tétraplégie, mais il existe un pourcentage non négligeable de récupération fonctionnelle.
- La *contusion*, qui est une lésion médullaire définitive mais incomplète, avec pour conséquences anatomiques un œdème et des ecchymoses sur la surface de la moelle. La récupération est beaucoup plus rare et aléatoire.
- La *lacération* ou *attrition*, pouvant aller jusqu'à la section médullaire complète.

Le traumatisme vertébromédullaire cause rarement une section médullaire complète, mais la perte des fonctions médullaires peut être totale. De plus, le statut neurologique de la personne traumatisée peut s'aggraver secondairement. A la lésion initiale s'ajoute une lésion secondaire, provoquée par une cascade de réactions moléculaires et cellulaires, commençant dans les premières minutes suivant le traumatisme et pouvant se poursuivre pendant quelques jours à quelques semaines. Ce phénomène aboutira à la lésion définitive responsable du handicap clinique.

2. <u>La tétraplégie</u>

a. Définition et phases

Selon M. Maury [32]:

« La tétraplégie résulte de toutes les lésions motrices centrales d'origine médullaire, se traduisant par la perte de la fonction des quatre membres. Cette atteinte motrice peut être complète, transitoire ou définitive, incomplète, et s'accompagne le plus souvent de troubles de la sensibilité, du tonus, de troubles trophiques et sphinctériens. » Ceci exclut toute atteinte paralytique d'origine périphérique par atteinte directe des troncs nerveux ou des nerfs.

Le terme de tétraplégie s'applique aux paralysies touchant la moelle cervicale jusqu'en D1. Audessous, on parle de paraplégie.

Une lésion médullaire de survenue brutale va entraîner une « sidération » de la moelle, responsable d'une para ou tétraplégie flasque. Il va donc en résulter une paralysie flasque avec une hypotonie et aréflexie ostéotendineuse, une hypotonie vésicale et sphinctérienne. Progressivement, en général au bout d'un à trois mois, va survenir la levée de choc spinal. Elle se manifeste par une reprise de l'activité réflexe sous-lésionnelle se traduisant par une apparition de contractions non inhibées de la vessie et des sphincters, ainsi qu'un syndrome pyramidal avec en particulier apparition de spasticité et de spasmes.

b. Epidémiologie et étiologie

Selon le guide de la Haute Autorité de Santé (HAS) [43], il y aurait en France 1200 nouveaux cas par an de lésions médullaires traumatiques, soit environ 19,4 nouveaux cas par million d'habitants. Leur prévalence se situerait autour de 50 000.

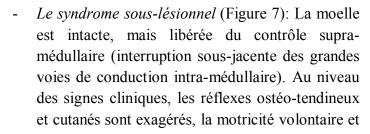
Les causes sont principalement traumatiques, touchant les hommes jeunes (moyenne d'âge 37 ans, 80% d'hommes), représentées par 50% d'accidents de la voie publique, 24% de chutes, 10% d'accidents de sport et 11% d'agressions. Les sports les plus exposés sont le parapente, le ski, le rugby. Les plongeons en eau peu profonde, responsables de lésions cervicales, demeurent encore fréquents. L'incidence des chutes augmente chez les patients âgés.

Les causes non traumatiques sont représentées par les tumeurs, les atteintes vasculaires, les pathologies inflammatoires, les sténoses rachidiennes.

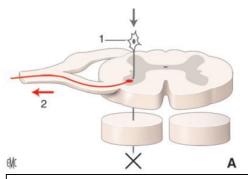
c. Syndromes lésionnel et sous-lésionnel

Après une lésion de la moelle épinière, trois secteurs de haut en bas peuvent être définis:

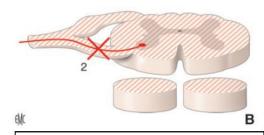
- Le territoire sus-lésionnel (Figure 5): il correspond aux muscles préservés, et c'est sur lui que l'on s'appuie pour définir le niveau neurologique du patient de chaque côté selon le score Asia. La sensibilité est normale, il n'y a pas d'activité automatique.
- Le syndrome lésionnel (Figure 6): il correspond à la zone de lésion médullaire où les motoneurones sont détruits. Les muscles correspondant à ce segment sont dénervés, flasques et sont le siège d'une paralysie périphérique. Sa limite supérieure est la plus facile à définir puisqu'elle correspond au 1^{er} métamère atteint. Sa limite inférieure est plus floue : elle sera bien souvent arbitrairement collée avec la limite supérieure du syndrome sous-lésionnel.



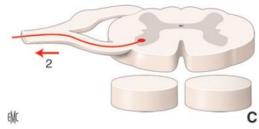
la sensibilité sont absentes, et il y a une apparition de contractures et de la spasticité. A ce niveau, la réapparition de l'automatisme médullaire peut être très utile (ex : miction, défécation, éjaculation).



<u>Figure 5</u>: Segment normal sus-lésionnel. 1: Protoneurone, 2: deutoneurone [2]



<u>Figure 6</u>: Segment lésionnel avec lésion du deutoneurone [2]



<u>Figure 7</u>: Segment sous-lésionnel actif avec deutoneurone intact [2]

3. Troubles associés

a. Les déficiences respiratoires

En cas de lésion complète en C4 et au-dessus, le diaphragme est complètement paralysé, rendant la respiration autonome impossible et nécessitant une ventilation artificielle. Les muscles intercostaux externes (T1 à T12) peuvent être remplacés par des muscles « accessoires » en cas de paralysie. La toux permet de drainer les sécrétions bronchiques et dépend de la contraction forte des muscles abdominaux (T8-T12).

b. Les déficiences neuro-orthopédiques

La spasticité est définie par une hypertonie musculaire permanente ou déclenchée par l'étirement musculaire. Le muscle se contracte alors de manière continue ou clonique. Les réflexes ostéotendineux sont vifs en territoire sous-lésionnel. La spasticité est mesurée par l'échelle de Held et Tardieu ou par l'échelle d'Ashworth modifiée.

Les spasmes sont des contractions musculaires puissantes liées à une exagération des réflexes médullaires polysynaptiques. Les spasmes sont déclenchés par un contact cutané, une pression, un mouvement du membre. Ils entraînent une flexion ou une extension globale du membre, voire les deux alternativement. Ils sont quantifiés grâce à l'échelle de Penn.

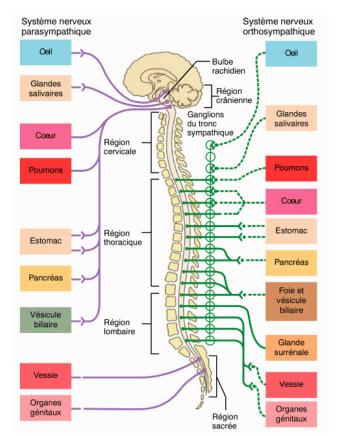
Les contractures sont des contractions en flexion ou en extension mais de survenue spontanée.

Les para-ostéo-arthropathies neurogènes, ou ostéomes, sont une ossification ectopique située au niveau d'une grosse articulation sous-lésionnelle. L'ostéome peut progressivement limiter les amplitudes articulaires avec un retentissement fonctionnel variable. Sa physiopathologie n'est pas complètement connue.

c. Les déficiences neuro-végétatives

Les systèmes nerveux ortho et para sympathiques se distinguent, entre autre, par leurs lieux d'origine (Figure 8). Les neurofibres parasympathiques émergent de l'encéphale et de la région sacrée de la moelle épinière, elles ne seront donc peu touchées à la suite d'une lésion médullaire. Par contre, le système orthosympathique est purement médullaire. En fonction du niveau lésionnel, des troubles neuro-végétatifs seront observés, témoins de l'activité seule du système parasympathique :

- Baisse de la tension artérielle de base (fréquente chez le tétraplégique et le paraplégique au-dessus de T6) et hypotension orthostatique (nécessité du port d'une ceinture abdominale élastique et des bas de contention).
- Bradycardie
- Troubles de la thermorégulation : essentiellement chez le tétraplégique. La prévention repose sur la protection, le rafraîchissement (humidification et ventilation) ou, à l'inverse sur le réchauffement (vêtements et boissons chaudes).



<u>Figure 8</u>: Double innervation des organes par les systèmes ortho et para sympathiques.

- Hyperréflexie autonome (HRA) : c'est un syndrome qui survient par crises, associant une HTA sévère, une bradycardie, des céphalées, un érythème, des sueurs, une horripilation sus-lésionnelle. Il survient si l'atteinte est au-dessus de T6 et au décours d'une stimulation nociceptive sous-lésionnelle.

d. Les déficiences vésico-sphinctériennes

Le fonctionnement de la vessie et du sphincter est dirigé par le réflexe parasympathique intégré au niveau du métamère S3. En fonction du niveau de la lésion médullaire, il peut y avoir soit une vessie hyperactive, soit une vessie flasque.

e. Les déficiences génito-sexuelles

Elles dépendent du niveau de la lésion et de son caractère complet ou incomplet. Les réponses sexuelles d'ordre réflexe sont dirigées par les niveaux D11 à L2, puis S2 à S4.

f. Les douleurs

Elles touchent 80% des blessés médullaires. Les douleurs peuvent être causées par excès de nociception (excès de stimulations des récepteurs sensibles à la douleur dû à une inflammation ou une lésion d'un tissu ostéo-articulaire, musculaire ou viscéral).

Elles peuvent également être de nature neuropathique. Elles ont pour origine un dysfonctionnement des neurones et des voies médullaires qui envoient des messages « faussés » au niveau du cerveau, qui les interprète alors comme une douleur. Celle-ci est spontanée ou déclenchée par l'effleurement et siège dans un territoire anesthésié. Elle est comparée à des brûlures, des picotements, des décharges électriques, un étau ou un broiement. Ces douleurs sont évaluées par le questionnaire DN4.

4. <u>La classification ASIA</u>

La classification « American Spinal Injury Association » permet une évaluation standardisée des blessés médullaires. Elle est basée sur une évaluation motrice et sensitive (Annexe 2). Elle est désormais la classification de référence au niveau international.

Sur le plan moteur, les muscles clefs correspondant aux métamères de C5 à T1 et de L2 à S1 sont testés et cotés de 0 à 5. Le niveau moteur correspond au groupe musculaire clef le plus distal coté à 3 ou plus, les segments plus proximaux étant tous cotés à 5. Le niveau moteur peut être différent à droite et à gauche.

Sur le plan sensitif, chaque métamère représenté par un point clef relativement fiable est coté de 0 à 2 (0 = anesthésie, 1 = sensibilité perturbée, 2 = sensibilité normale), pour le tact et la piqûre. Le niveau sensitif est déterminé par le dernier niveau sain à ces deux sensibilités. Le niveau sensitif peut lui-aussi être différent à droite et à gauche. Au niveau du tronc, il a été convenu que le niveau moteur correspond au niveau sensitif.

Dans le cas où les niveaux moteurs et sensitifs ne correspondent pas ou en cas d'asymétrie (il peut exister à l'extrême 4 niveaux : sensitif droit, sensitif gauche, moteur droit et moteur gauche), le

niveau neurologique correspond au niveau le plus distal où la motricité et la sensibilité sont intactes. Le niveau neurologique peut être différent du niveau de la vertèbre lésée.

L'AIS (ASIA Impairment Scale) permet de rendre compte du caractère plus ou moins complet de la lésion. Il comprend 5 grades :

- A : anesthésie complète sous-lésionnelle, y compris au niveau des métamères sacrés et déficit moteur complet sous-lésionnel ;
- B : préservation sensitive y compris au niveau des métamères sacrés. Pas de commande motrice ;
- C : moins de la moitié des muscles clefs sous la lésion a une commande inférieure à 3 et présence d'une contraction anale et/ou d'une sensibilité anale ;
- D : au moins la moitié des muscles clefs sous la lésion a une commande supérieure à 3 et présence d'une contraction anale et/ou d'une sensibilité anale ;
- E: l'examen est normal.

Il se peut que l'examen clinique mette en évidence la préservation partielle ou totale de certaines zones sensitives ou motrices mais dont le nombre est insuffisant pour classer la para ou tétraplégie aux grades B, C ou D selon l'AIS. On parle alors de zones de préservation partielle (ZPP) motrice ou sensitive.

Le score ASIA est utile, facile à réaliser et reproductible. Il est nécessaire que tout blessé médullaire puisse être évalué de façon fiable; cependant, il comporte quelques insuffisances et doit être complété par un examen des autres muscles non testés, en particulier les abdominaux et les spinaux, les muscles scapulaires et autres muscles potentiellement présents dans les atteintes incomplètes. Concernant la sensibilité, il est intéressant également d'évaluer la proprioception.

5. <u>Les différents syndromes médullaires</u>

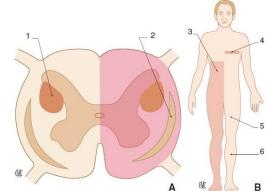
En dehors du tableau de section médullaire complète, il existe différents syndromes :

a. Le syndrome médullaire incomplet

Il peut exister à tous les niveaux neurologiques. Les déficiences motrices et/ou sensitives sont incomplètes en sous-lésionnel. En cas de spasticité, celle-ci peut être très sévère et particulièrement gênante pour le contrôle moteur résiduel. Une atteinte incomplète n'est donc pas forcément synonyme de plus d'autonomie dans les actes de la vie quotidienne.

b. Le syndrome de la lésion de l'hémimoelle de Brown-Séquard

La lésion touche un seul côté de la moelle et provoque un syndrome sous lésionnel particulier : un syndrome moteur pyramidal, des troubles sensitifs proprioceptifs et épicritiques homolatéraux à la lésion et une anesthésie à la

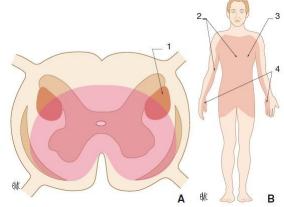


<u>Figure 9</u>: Syndrome de Brown-Séquard par lésion de l'hémimoelle en T6 (A et B). 1 : Faisceau pyramidal; 2 : faisceau spinothalamique; 3 : thermoanalgésie; 4 : anesthésie totale en bande; 5 : syndrome pyramidal; 6 : anesthésie profonde [8].

douleur et à la température controlatérale dont le niveau se rapproche plus ou moins du niveau d'anesthésie lésionnelle. Au niveau de la lésion, il existe habituellement une bande d'anesthésie radiculaire surmontée d'une bande d'hyperesthésie (Figure 9).

c. Le syndrome centromédullaire

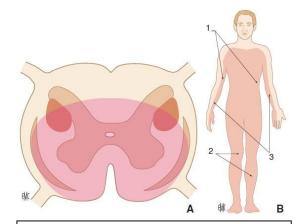
La moelle cervicale subit un choc dans un canal cervical étroit ou rétréci (souvent de cause arthrosique), ce qui entraîne une lésion qui siège au centre de la moelle et épargne les zones périphériques des voies motrices et sensitives où passent les fibres destinées ou venant des membres inférieurs et du périnée. Le déficit sensorimoteur siège donc préférentiellement aux membres supérieurs avec une assez bonne préservation des fonctions pelviennes et de la motricité des membres inférieurs (Figure 10).



<u>Figure 10</u>: Syndrome centromédullaire en C8 (A et B). 1 : faisceau pyramidal; 2 : atteinte motrice prédominant aux membres supérieurs et au tronc; 3 : thermoanalgésie; 4 : aréflexie [8].

d. Le syndrome transverse antérieur total

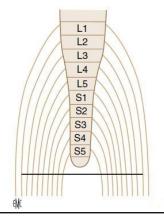
Ses causes les plus fréquentes sont l'infarctus du territoire de l'artère spinale antérieure et les traumatismes cervicaux en flexion. La lésion prédomine sur la partie antérieure de la moelle jusqu'à ses 2/3 antérieurs. Les troubles moteurs sont massifs en sous-lésionnel et les troubles de la sensibilité portent électivement sur la température et la douleur, tandis que la sensibilité profonde consciente est conservée et la sensibilité tactile variablement altérée (Figure 11).



<u>Figure 11</u>: Syndrome transverse antérieur en C8 (A et B). 1 : Thermoanalgésie ; 2 : syndrome pyramidal ; 3 : aréflexie tendineuse [8].

e. Le syndrome de la queue-de-cheval

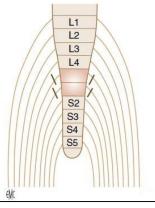
Les lésions touchent les nerfs spinaux lombaires et sacrés et se voient dans les traumatismes du rachis lombaire (vertèbres L2, L3, L4, L5) et du sacrum. Il regroupe un déficit sensori-moteur périphérique (flasque, amyotrophie...) des membres inférieurs et du périnée, et des déficiences des fonctions vésico-sphinctériennes, ano-rectales et génito-sexuelles (Figure 12).



<u>Figure 12</u>: Syndrome de la queue de cheval. Paralysie au niveau et au-dessous de L2 [8].

f. Le syndrome du cône médullaire

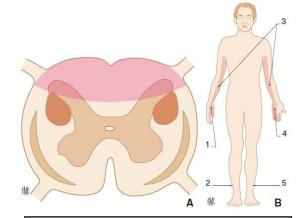
La lésion siège dans le cône médullaire touchant les métamères lombaires et sacrés. Le tableau est proche du syndrome de la queue-de-cheval mais il peut exister des signes de spasticité du périnée. Il se voit dans les traumatismes des vertèbres T12 ou de L1, voire de L2 (Figure 13).



<u>Figure 13</u>: Lésion de la moelle et des racines au niveau du 5^{ème} segment lombaire et 1^{er} segment sacré [8].

g. Le syndrome transverse postérieur

Il est exceptionnel dans sa forme pure. Il se traduit par des paresthésies et des troubles de la sensibilité profonde et tactile dans les territoires sous-jacents. Il peut s'y associer, si les cornes postérieures sont atteintes, une anesthésie globale suspendue, une abolition des réflexes ostéotendineux et à point de départ cutané. Une paraparésie par atteinte associée des faisceaux pyramidaux est possible (Figure 14).



<u>Figure 14</u>: Syndrome médullaire postérieur en C7-C8 (A et B). 1 : Aréflexie tendineuse C7-C8 ; 2 : paraparésie transitoire ; 3 : anesthésie cutanée en bande en C7-C8 ; 4 : astéréognosie des mains ; 5 : suppression de la sensibilité profonde aux membres inférieurs [8].

6. Niveaux lésionnels et capacités fonctionnelles

Les capacités fonctionnelles en fonction du niveau lésionnel Asia sont regroupées dans les deux tableaux ci-dessous.

Chaque cas est particulier et les frontières restent aléatoires d'un niveau à un autre. En plus du caractère complet/incomplet de la lésion et de l'atteinte symétrique/asymétrique, les caractéristiques physiologiques et physiques seront également à prendre en compte dans l'acquisition des capacités de la personne blessée médullaire. L'âge, la corpulence, la fatigabilité et l'état général (résistance à l'effort, existence de troubles orthopédiques et/ou cutanés, intensité de la spasticité et des troubles vésico-sphinctériens, autres problèmes médicaux associés...) seront autant de facteurs individuels prédictifs à considérer tout au long de la prise en charge.

	MOBILITE					
Niveaux	Muscles clefs présents	Soulagement des appuis + équilibre assis	Transferts	Déplacements	Manipulation	Conduite Automobile
C3 - C4	Diaphragme Trapèzes Muscles du cou Dentelé antérieur	Aucun Appui-tête + dossier haut avec ceinture thoracique de maintien	Dépendance totale Lève-malade avec aide humaine	Fauteuil roulant électrique Commande mentonnière ou occipitale	Aucune	Véhicule adapté Plate-forme élévatrice Conduite par 1/3 personne
C5	Biceps brachial Rotateurs externes Deltoïde Supinateur Brachio-stylo-radial	Equilibre difficile Ne peut soulager les points d'appui sans aide Participation aux redressements avec potence	Dépendance d'une aide humaine Participation aux redressements si potence (en flexion de coude)	Fauteuil roulant électrique Commande manuelle adaptée Fauteuil roulant manuel sur terrain plat avec mains courantes antidérapantes et/ou ergots	Prise bimanuelle Buccale	Véhicule avec mini- manche/joystick Transmission automatique Poste de conduite en fauteuil
C6	Grand dorsal Long et court extenseurs radiaux du carpe Rond pronateur	Peut soulager les points d'appui Equilibre précaire	Indépendance possible, parfois limite Aides techniques	Fauteuil roulant manuel Gants antidérapants Mains courantes antidérapantes	Prises bimanuelles Key-grip + grasp passifs par ténodèse sans force	Possible avec adaptations du volant (fourche) Transmission automatique Levier pousser/tirer pour frein/accélérateur
С7	Triceps Fléchisseur radial du carpe Extenseur ulnaire du carpe Extenseurs des doigts	Equilibre ++	Indépendance possible	Fauteuil roulant manuel standard 2 roues possible	Key-grip + grasp passifs par ténodèse gênée par ouverture active des doigts	Transmission automatique Commandes au volant
C8	Fléchisseurs profonds et superficiels des doigts	Equilibre +++	"Paraplégie" Indépendance possible sans aide technique	Fauteuil roulant manuel léger Propulsion normale	Main quasi normale Difficultés dans les prises fines par opposition	Transmission automatique Commandes au volant

	VIE QUOTIDIE	NNE	COMMUNICATION (téléphone, écriture, lecture)		
Niveaux	Hygiène	Alimentation	Domotique	Ecriture/lecture	Informatique
C3-C4	Dépendance complète Aide humaine	Dépendance complète Aide humaine indispensable Peut boire grâce à une pipette adaptée reliée à un support de bouteille	Appel malade seul et/ou contrôle d'environnement actionnés par contacteur tête/buccal Téléphone main-libre infra-rouge	Aucune écriture manuscrite Tourne page électrique avec contacteur tête/buccal	Clavier virtuel et souris de pointage regard/tête + dictée vocale
C5	Dépendance quasi complète Aide humaine	Aide humaine pour préparation Maintient couvert adapté (fourchette/cuillère) sur orthèse cubito-palmaire Prise de repas possible selon aménagements Prise bimanuelle pour boire Pipette/paille	Appel malade seul et/ou contrôle d'environnement actionnés par contacteur coude Téléphone main-libre infra-rouge	Maintien crayon sur orthèse cubito- palmaire Tourne page électrique avec contacteur coude/main	Accès touches clavier avec maintien bătonnet dans orthèse cubito-palmaire Souris trackball
C6	Indépendance partielle ou complète possible Participation aux soins d'apparence Aides techniques de substitution/aides humaines	Prise de repas en bilatéral Orthèse ou bracelet métacarpien pour fixation couverts et utilisation d'un couteau adapté Préparation des repas avec aménagements	Appel malade seul et/ou contrôle d'environnement actionnés par contacteur main Adaptations téléphone normal avec crochet	Maintien crayon sur orthèse métacarpienne ou anneaux digitaux Pupitre Embout antidérapant sur baguette + bracelet métacarpien pour tourner les pages	Bâtonnet fixé sur bracelet métacarpien ou sur anneaux digitaux Souris trackball
C 7	Indépendance possible	Couverts adaptés Antidérapants Aménagements	Appel malade main Téléphone normal	Crayon grossi Doigtier antidérapant pour lecture	Pas d'alternative spécifique sauf souris trackball possible
C8-S3 Aménagements nécessaires			Aucune adaptation		

Nous allons maintenant aborder plus précisément le membre supérieur du tétraplégique. Savoir bien l'évaluer permet d'optimiser ses capacités et de mettre en place des stratégies de compensation.

II/ LES COMPENSATIONS DU MEMBRE SUPERIEUR TETRAPLEGIQUE

« Les membres supérieurs des tétraplégiques sont leur unique capital moteur et leur seule source d'autonomie. » Y. Allieu

1. Evaluations du membre supérieur tétraplégique

L'évaluation du membre supérieur du tétraplégique dresse un état des lieux des conséquences engendrées par la lésion médullaire et par les troubles qui lui sont associés. Cette évaluation doit inclure une analyse précise des déficiences, un bilan analytique et fonctionnel des préhensions, et un bilan global des incapacités.

a. Evaluation des déficiences et intégrités

Le score ASIA, bien qu'indispensable, ne suffit pas pour évaluer finement les déficiences. D'autres bilans viennent le compléter :

- Un bilan articulaire précis de toutes les articulations du membre supérieur, réalisé en passif et en actif afin d'obtenir des données goniométriques;
- Un testing musculaire des muscles actifs côtés selon l'échelle MRC (British Medical Research Council);
- Une évaluation de la spasticité, par l'échelle d'Ashworth modifiée ;
- Un bilan sensitif, sur les modes tactile, thermique et algique.

Ces bilans, très utilisés en rééducation fonctionnelle, ne sont pas plus détaillés ici.

b. Evaluation des préhensions

A cette analyse clinique des déficiences s'ajoutent des bilans de la force et de la dextérité, non spécifiques à la tétraplégie, à choisir en fonction du niveau lésionnel :

- La *force de préhension* est mesurée grâce au dynamomètre de Jamar pour la force de préhension globale et au Pinch Gauge de Preston pour les forces de préhensions subterminolatérales, pulpopulpaires et tridigitales.
- Le *Box & Block Test* : reconnu pour sa fiabilité et sa validité, il consiste à déplacer le maximum de cubes placés dans une boîte en 1 minute. Sa rapidité de passation en fait un test classique bien qu'il ne mesure que la dextérité manuelle grossière unilatérale.
- Le *Purdue Pegboard Test* est validé, fiable et normé pour les adultes, hommes et femmes et les personnes âgées. Il permet de mesurer la dextérité fine mono et bimanuelle. Il requiert organisation, rapidité et une coordination œil-main correcte pour être réussi. Il se compose de 4 sous-tests : monomanuel (main dominante), monomanuel (main d'appoint), bimanuel en simultané et symétrique, bimanuel et asymétrique. Il consiste à déplacer et manipuler un

maximum de tiges fines, rondelles et écrous pendant un temps donné sur un plateau à encastrement.

- Le *Minnessota Rate of Manipulation Test* mesure la dextérité fine mono et bimanuelle, symétrique et asymétrique ainsi que la coordination œil-main et l'endurance gestuelle si chaque sous-test est répété 4 fois. Ce test est normé pour les adultes et nécessite une bonne organisation motrice et une bonne mémoire. Il est composé de 5 sous-tests chronométrés notés sur 10 et exécutés sur deux planches trouées. Des palets de bois bicolores doivent être déplacés et/ou tournés.
- Le *Nine Hole Peg Test* est très rapide à passer. Il suffit de chronométrer le temps nécessaire pour placer puis retirer 9 chevilles dans un plateau de 9 trous. On calcule le nombre de chevilles placées par seconde. Il est utilisé pour la main dominante et la main non dominante. Il est très sensible, même pour un haut niveau d'habileté.

A cela s'ajoutent des évaluations fonctionnelles de la préhension. Sans être exhaustif, nous pouvons citer comme bilans :

- Le *test de Sollerman* (Annexe 3): créé en 1978, il objective la qualité et la capacité de réussite des sept types de préhensions les plus utilisés au travers de vingt exercices proches des activités de la vie quotidienne. Les résultats basés sur la facilité à accomplir l'exercice et la qualité de la prise ainsi que la vitesse d'exécution sont enregistrés. Les prises bimanuelles sont autorisées. Plusieurs prises sont possibles pour une même épreuve. L'originalité du test tient dans sa cotation qui inclut le choix de prise effectué par le patient, la capacité de réalisation, la qualité de la prise ainsi que le temps réalisé. Il s'exécute rapidement, en une vingtaine de minutes. Il a une bonne fiabilité inter-juge. Il nécessite du matériel varié. Ce bilan a été validé dans le cas de la tétraplégie par l'équipe du Dr Ejeskar-Möberg de Goteberg en Norvège [13].
- Le *Bilan 400 points* (Annexe 4): il date de 1985. Mis au point par une ergothérapeute française de Nancy et validé en français, il est très complet et se réalise en 45 minutes environ la première fois et plus rapidement ensuite. Il permet d'obtenir une évaluation chiffrée de l'utilisation d'une main lésée grâce à son observation dans 57 activités de la vie quotidienne. Ces activités sont réparties en 4 groupes d'épreuves notés sur 100 points chacun : mobilité de la main, force de préhension, prise monomanuelle et déplacement d'objets, prise bimanuelle. Pour chaque épreuve, il y a une cotation avec des éléments de pondération, un mode d'emploi et un mode de calcul. La cotation mesure la qualité d'exécution du geste de 0 à 3. Elle est multipliée par un coefficient pour obtenir une note qui est ensuite traduite en pourcentage.
- Le CUE Capabilities of Upper Extremity Instrument (Annexe 5) a été élaboré spécifiquement pour le tétraplégique. Il s'agit d'un test associant 17 tâches de préhension et 17 questions. Quinze tâches sont monomanuelles et doivent être réalisées successivement avec chacune des deux mains. Deux épreuves sont bimanuelles et ne sont réalisées qu'une fois. Les 17 items sont répartis en 5 domaines : la capacité à atteindre ou à soulever un objet, la capacité à tirer ou pousser un objet, la capacité à assurer des tâches sollicitant le poignet et la capacité à utiliser les mains et les doigts, et enfin l'usage bimanuel des membres supérieurs. Chaque tâche est

quantifiée par un score sur 7. Ensuite, 15 questions se rapportent à l'utilisation de chacune des deux mains dans des tâches quotidiennes et deux autres questions, posées une seule fois, concernent des tâches bimanuelles. Cet outil peut être utilisé pour l'évaluation initiale du patient mais également pour suivre la progression du patient dans le temps. Ce questionnaire a été traduit en français mais n'est validé qu'en anglais.

c. Bilan global des incapacités

Nous citerons ici deux exemples d'échelles d'incapacités dédiées à une population tétraplégique :

- Le QIF (Quadriplegia index of fonction) est une échelle générale, considérée comme l'équivalent de la MIF (Mesure d'Indépendance fonctionnelle) pour le tétraplégique. 37 items sont regroupés dans les 10 rubriques suivantes : transferts, tâches ménagères, bain, alimentation, habillage, déambulation en fauteuil roulant, activités au lit, programme vésical, programme intestinal, soins personnels. La grille de cotation est de 5 points, les items sont pondérés. La durée de passation n'excède pas 30 minutes.
- La SCIM III (Spinal Cord Independence Measure) (Annexe 6) : cette échelle s'adresse aussi bien au paraplégique qu'au tétraplégique. Elle couvre 4 domaines fonctionnels : les soins personnels, la respiration, le contrôle sphinctérien et la mobilité. Elle est composée de 16 items, et le score peut aller de 0 à 100.

Ces échelles s'intéressent à tous les domaines de la vie du tétraplégique. L'atteinte du membre supérieur influencera directement les résultats de ces évaluations. D'autres bilans existent, mais se concentrent sur les résultats de la chirurgie du membre supérieur. Nous les aborderons après.

2. Attitudes vicieuses

a. Corrélation entre segment lésionnel et attitude vicieuse

Un tétraplégique associe au membre supérieur une paralysie centrale et périphérique. En effet, nous avons vu qu'après une lésion, la moelle peut être divisée en trois segments :

- le territoire sus-lésionnel
- le syndrome lésionnel
- le syndrome sous-lésionnel

La taille de ces trois segments est extrêmement variable d'un individu à l'autre, le segment souslésionnel prend une part d'autant plus importante que la lésion médullaire est haute et le segment lésionnel court.

Les muscles du segment fonctionnel vont déterminer la mobilité active des différents segments articulaires. Mais le positionnement spontané de ces segments articulaires résulte de l'action mécanique des trois types de muscles précédemment décrits. L'action des muscles sous-lésionnels sur le positionnement de l'avant-bras, du pouce et des doigts longs est fondamentale. En effet, le

tonus des muscles sous-lésionnels pourra être à l'origine d'attitudes vicieuses ou au contraire les éviter. Deux types de segments lésionnels peuvent ainsi être décrits :

- les segments lésionnels courts : la lésion médullaire dans ce cas est très fine, restreinte à l'atteinte de quelques muscles. Ils ne sont que très peu à être dénervés et flasques.
- *les segments lésionnels longs* : la lésion médullaire est beaucoup plus étendue, et touche un nombre plus important de muscles.

Chez un patient tétraplégique de niveau C5 – C6 selon la classification Asia, un segment lésionnel court limite l'attitude en supination de l'avant-bras. En effet, ce patient a des muscles de l'avant-bras ayant conservé un certain tonus, notamment des épicondyliens médiaux, muscles pronateurs accessoires. Ces muscles suffisent à s'opposer à l'action supinatrice du biceps.

De même, grâce aux muscles thénariens qui ont conservé ce même tonus, le positionnement spontané du pouce est correct.

En ce qui concerne les doigts longs, les muscles intrinsèques ayant eux-aussi conservés ce tonus, les métacarpo-phalangiennes seront stabilisées en flexion.

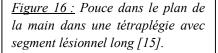
Au contraire, un autre patient tétraplégique de même niveau mais avec un segment lésionnel long aura une présentation clinique totalement différente. Il présentera une amyotrophie importante et rapide ainsi que l'émergence d'attitudes vicieuses de l'avant-bras et de la main. Une hypotonie de l'ensemble des muscles de l'avant-bras et notamment des pronateurs accessoires entrainera une attitude en supination de l'avant-bras. L'action du biceps ne pourra pas être contrebalancée et l'attitude vicieuse apparaitra insidieusement. Initialement cette déformation sera réductible mais progressivement elle se fixera.

En ce qui concerne le pouce, les muscles thénariens sont dénervés et hypotoniques, ils ne peuvent assurer le positionnement du pouce hors du plan de la main.

Concernant les doigts longs, les muscles intrinsèques sont eux-aussi dénervés et ne permettent pas une stabilisation des métacarpo-phalangiennes en flexion.



<u>Figure 15</u>: Positionnement correct du pouce dans une tétraplégie avec segment lésionnel court [15].





b. Correction orthopédique des attitudes vicieuses

La mobilisation passive quotidienne est la première action à mettre en place. Afin d'augmenter la durée des postures, un apprentissage des auto-mobilisations (si la personne tétraplégique en a les capacités), et la mise en place d'orthèses sont à envisager dès que possible.

Concernant le flexum de coude, une orthèse d'extension de coude peut être proposée. Son port est nocturne, et alternatif si les 2 coudes ont besoin d'être posturés (Figure 17).

L'atteinte des muscles intrinsèques peut provoquer un pouce adductus et une griffe de type médio-ulnaire avec une hyperextension des métacarpo-phalangiennes, et une flexion des interphalangiennes. Un positionnement nocturne de la main en intrinsèque +, écartant le pouce en flexion, reste une orthèse de prévention classique. Si cette attitude en griffe engendre des raideurs, une orthèse de type MP Stop sera portée lors des activités, complétée par une attelle de posture des métacarpo-phalangiennes en flexion.

L'attitude en supination provoque une hyperextension du poignet par la pesanteur, et une relative flexion des doigts par effet ténodèse (Figure 18). Une orthèse de maintien de poignet, associée à une traction dynamique en pronation pourra alors être réalisée.



<u>Figure 17</u>: Orthèse d'extension de coude



<u>Figure 18</u>: Attitude en supination, avec extension du poignet et flexion des doigts

3. Biomécanique compensatoire

a. Le membre supérieur en chaîne ouverte

i. Extension du coude sans triceps

Lors de l'absence ou de la faiblesse du triceps pour les personnes blessées médullaires de niveau C5 et C6, on observe un déséquilibre agoniste/antagoniste au niveau du coude, entraînant une attitude spontanée en flexion, due à la prévalence du biceps, et une extension difficile voire impossible. Or, lors de la préhension, l'articulation du coude règle la distance entre le corps et l'objet à saisir. Par conséquent, ce manque d'extension du coude ne permet pas une orientation de la main dans l'espace et compromet de manière importante la phase d'approche et par conséquent la phase de saisie.

Cependant, une extension de coude reste possible en utilisant les potentialités musculaires restantes, la force de pesanteur et l'inertie du membre supérieur. Les abducteurs (principalement le deltoïde moyen) et les rotateurs latéraux de l'épaule (infra-épineux et petit rond) permettent un placement du bras à l'horizontale et de l'avant-bras à la verticale, coude fléchi à 90°. De façon coordonnée à ce mouvement initié par l'épaule, la contraction excentrique du biceps aidée par la pesanteur permet d'obtenir une extension de coude.

ii. Pronation automatique de la main

Au niveau de l'avant-bras, un déséquilibre agoniste/antagoniste est présent chez la personne tétraplégique C6 du fait de la présence du biceps (supinateur principal) et de l'absence ou de la faiblesse des pronateurs qui n'apparaissent qu'au niveau C6 et C7. La compensation de défaut de

pronation détermine l'orientation de la paume de la main et par conséquent, la possibilité d'utiliser l'effet ténodèse du poignet. En effet, une fois en pronation, la pesanteur fléchit le poignet et par là-même, étend les doigts.

L'absence des muscles pronateurs peut être compensée par l'abduction de l'épaule. Avec 90° d'abduction de l'épaule, on obtient une pronation normale à 90° de la main. La pesanteur finit le mouvement de pronation

(Figure 19). Chez la personne tétraplégique, l'utilisation de ce phénomène naturel doit être amplifiée par la rééducation afin qu'elle l'intègre dans sa gestuelle.



<u>Figure 19</u>: Pronation automatique de la main [23].

iii. Effet ténodèse

Physiologiquement, l'extension active du poignet met en tension passivement les fléchisseurs des doigts longs et du pouce, et la flexion du poignet met en tension passive les extenseurs des doigts longs et du pouce. Ce mécanisme biomécanique, reposant sur la longueur des tendons, s'explique par la composante polyarticulaire des fléchisseurs et des extenseurs des doigts qui passent au niveau du poignet. Il est donc très important de ne pas laisser s'enraidir le poignet.



Figure 20 : Effet ténodèse



b. Le membre supérieur en chaîne fermée

Lors d'un push-up, les personnes paraplégiques utilisent essentiellement leurs grands pectoraux, leurs grands dorsaux et leurs triceps pour élever le tronc et tendre les coudes simultanément.

Pour les tétraplégiques de niveau neurologique au-dessus de C7, il existe des possibilités de compensations permettant d'effectuer des transferts sans triceps. En pratique, ces personnes placent leurs épaules en rotation externe, leurs coudes en extension voire en récurvatum. Elles enroulent la ceinture scapulaire vers l'avant autour de l'axe des épaules et horizontalisent le bord spinal de leurs scapulas.

Deux mécanismes à la stabilité du coude en extension en l'absence de triceps sont proposés [41]. Le premier est passif avec un placement du centre de gravité en arrière de l'axe du coude, assurant son verrouillage. L'autre mécanisme est actif et vise à attirer l'humérus en dedans et en avant par une cocontraction du deltoïde antérieur et du grand pectoral.

Pour compléter ce mécanisme d'extension de coude et parvenir à la réalisation du transfert, les personnes tétraplégiques sans triceps effectuent une bascule antérieure de la scapula par l'intermédiaire des trapèzes inférieurs et des deltoïdes antérieurs. Cela oriente les fibres du dentelé antérieur vers le bas et lui permet d'avoir une action élévatrice du thorax (Figure 21).

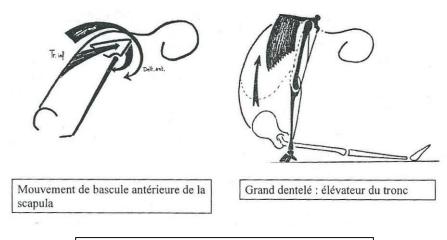


Figure 21: Extension des coudes sans triceps [41]

L'exécution des transferts n'est donc pas une fonction impossible pour les personnes tétraplégiques sans triceps qui peuvent partiellement compenser l'absence de ce muscle clef et des abaisseurs avec d'autres groupes musculaires. Mais ces compensations ont leurs limites et rendent compte de la réalisation moins aisée des transferts à ce niveau neurologique : transferts moins amples, plus lents et nécessitant des impératifs comme l'absence de flexum des coudes.

4. Optimisation des préhensions

- Main presse et pressions glissées

L'utilisation de la main par pression simple ou avec déplacement permet le maintien d'un objet sur un plan ou contre le corps, mais également la propulsion du fauteuil par appui sur la roue. Dans l'habillage, la remontée d'un vêtement bénéficie de ce type de préhension.

- Prise bimanuelle

La prise entre le bord ulnaire des deux mains, avant-bras en supination, permet de déplacer des objets, souvent un peu volumineux et plus lourds (Figure 22). Cette prise peut être associée à une prise buccale pour ouvrir des sachets, dévisser un bouchon de bouteille... Les problèmes d'équilibre du tronc nécessitent pour un objet plus lourd le rejet de la tête en arrière.

- Pulpe d'un doigt humectée

Cette aide très simple peut être utile pour ramasser des petits objets, en particulier pour prendre un comprimé.

- Pouce crochet

La personne tétraplégique bloque son pouce dans un anneau, une anse, afin de faire glisser une fermeture éclair, remonter un pantalon, etc. (Figure 23). Elle peut aussi accrocher l'entretoise de la main courante du fauteuil pour le propulser en marche arrière.

- Prise interdigitale

Après avoir porté à sa bouche l'objet (fourchette, stylo), la personne tétraplégique le glisse entre ses doigts, entre l'index et le majeur le plus souvent (Figure 24). Cette prise est renforcée par effet ténodèse lors de l'extension du poignet.

- Crocheter avec le coude

Ce geste est couramment utilisé par le tétraplégique pour assurer son équilibre au fauteuil roulant, et dégager l'autre membre supérieur afin d'atteindre une aire de préhension plus importante.

- Crochet métacarpien

L'utilisation de la main sans les doigts donne à la personne un crochet dorsal dans les atteintes en C6, un crochet palmaire dans les atteintes en C8. Ces crochets permettent de ramener un objet vers le corps, de se tirer, de déplacer le membre inférieur, de stabiliser le tronc (Figure 25). L'efficacité de ces prises en crochet nécessite une stabilisation de l'avant-bras en pronation.

- Prise digito-palmaire (grasp)

Prise directement liée à l'effet ténodèse, c'est une prise entre les pulpes des doigts, pouce non compris, et la paume de la main (Figure 26). Le lâcher des objets est passif grâce à la flexion du poignet induit par l'effet de la pesanteur.

- Key-grip

La key grip, prise entre la pulpe du pouce et le bord radial de l'index au niveau de la deuxième phalange, est la pince la plus utilisée par les tétraplégiques (Figure 27). Elle peut être passive, ou active si le pouce a gardé une possibilité de flexion. L'efficacité de cette pince dépend de la position du pouce, elle-même dépendante de la taille du segment lésionnel. Si le tonus musculaire des fléchisseurs et des muscles intrinsèques n'est pas suffisant, les patients, par une manœuvre de « rolling », peuvent mettre leur index en légère flexion pour qu'il soit au contact du pouce.

Ténodèse inversée

L'avant-bras en supination va entraîner une extension du poignet bien stabilisée par la pesanteur. L'effet ténodèse va refermer les doigts, ce qui permettra de tenir un objet dans la paume de la main (Figure 28).



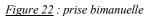




Figure 23: pouce crochet



<u>Figure 24</u>: prise interdigitale



<u>Figure 25</u> : crochet métacarpien



<u>Figure 26</u> : grasp



Figure 27: key-grip



Figure 28 : ténodèse inversée

5. Orthèses de préhension et aides techniques

Lorsque ces prises ne sont pas possibles à cause d'un mauvais positionnement des doigts ou d'un niveau lésionnel trop haut, le rééducateur proposera des compensations par le biais d'orthèses et d'aides techniques.

a. Orthèse d'opposition du pouce

Cette orthèse permet de correctement positionner le pouce en regard de la 2^{ème} phalange de l'index lors de l'extension du poignet si celui-ci a une tendance à l'adduction. La prise par effet ténodèse en sera facilitée.

b. Bracelet métacarpien

C'est une aide technique polyvalente simple et très utilisée par les personnes tétraplégiques (Figure 29). Toutes sortes d'outils peuvent s'y glisser : fourchette, stylet, brosse à dents, rasoir... Ce bracelet se ferme le plus souvent avec la bouche, ou en utilisant la prise en crochet grâce à un anneau.



Figure 29 : Bracelet métacarpien

c. Bagues de maintien et adaptation d'objets

Les anneaux sont faits sur mesure sur les doigts de la personne afin que celle-ci puisse tenir un stylo (Figure 31), une fourchette... En fonction des habitudes de vie de la personne et de ses demandes, les objets usuels seront adaptés, tout en gardant un certain esthétisme et une facilité de mise en place (Figure 30). L'adaptation de raquettes et/ou de poignées permettra la pratique de sports tels que le tennis de table, le handbike, l'haltérophilie...



<u>Figure 30</u>: Adaptation d'un rasoir

Figure 31 : Orthèse de ténodèse (photos de D. Thomas)



<u>Figure 31</u> : Bagues de maintien de stylo

d. Orthèse de ténodèse

Imaginée par Bisgrove en 1954 [40], cette orthèse transforme la force d'extension du poignet en un mouvement de prise subterminale bi ou tridigitale (Figure 30).

Cette orthèse peut être remplacée par un fil de nylon reliant un bracelet à une bague améliorant l'enroulement de l'index et du majeur. Une gouttière place le pouce en opposition (Figure 31).

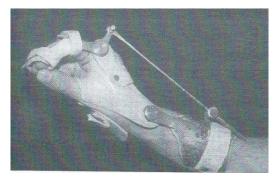
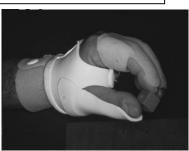


Figure 30 : Orthèse de ténodèse [40]







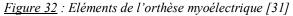


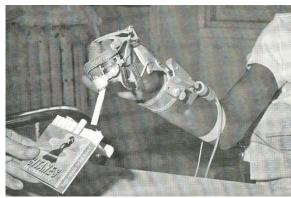
e. Orthèse myoélectrique [31]

Mise au point par C. Hamonet en 1970, cette orthèse comportait une partie mécanique, un moteur et des électrodes. Les contractions musculaires de muscles sus lésionnels étaient captées par les électrodes et transformées en signaux électriques au moteur. Celui-ci venait actionner la partie mécanique mobile de l'orthèse, à savoir un tuteur articulé maintenant les 2^{ème} et 3^{ème} doigts. Le poignet était fixé en légère extension, et le pouce en opposition. Cette orthèse permettait une prise tridigitale à des tétraplégiques hauts (Figure 33).

Cette orthèse n'est plus utilisée désormais. Les patients ne pouvaient la porter pour propulser leur fauteuil roulant, ils ne l'utilisaient donc que lors des séances de rééducation, et étaient dépendants d'une tierce personne pour la mise et la démise de l'orthèse (Figure 32).







<u> Figure 33</u> : Orthèse myoélectrique [31]

f. Stimulation électrique fonctionnelle externe (SEF externe)

La SEF externe a été proposée par des équipes comme alternative à la chirurgie fonctionnelle des membres supérieurs ou comme outil de rééducation. Au moins deux dispositifs de SEF externe ont bénéficié d'une tentative de validation clinique et ont été commercialisés : le Bionic Glove (Figure 34) et le Handmaster (Figure 35). Leur principe de fonctionnement est basé sur la connaissance des mécanismes de préhension automatique des sujets tétraplégiques C6 ou C7. Dans certains dispositifs, la contraction des extenseurs du poignet, recueillie par des électrodes de surface, entraîne une stimulation électrique des fléchisseurs des doigts qui permet de renforcer l'effet ténodèse spontané du patient. Dans d'autres systèmes, la stimulation électrique des fléchisseurs des doigts est initiée par l'extension du poignet enregistrée par un goniomètre.

Ces appareils, bien qu'ingénieux, n'ont pas rencontré dans la population concernée le succès attendu. Leur encombrement et leur manque de discrétion sont probablement en partie responsables de cet échec relatif.



<u> Figure 34</u> : Bionic Glove









Figure 35 : Handmaster

La neurostimulation électrique fonctionnelle sera abordée dans la troisième partie de cet écrit, lors du rétablissement de la préhension pour le groupe 0.

6. Aménagement de l'environnement

Agir sur les capacités de préhension n'est parfois pas suffisant. Dans ces situations, il est nécessaire d'aménager l'environnement de la personne blessée médullaire.

a. Fauteuil roulant

Le choix du fauteuil roulant est très important pour un blessé médullaire, d'autant plus si les capacités de propulsion sont très affaiblies.

Pour un **fauteuil roulant manuel**, le poids de celui-ci est très important, ainsi que son réglage. En effet, plus la position de l'axe des roues arrière est avancée, plus le fauteuil roulant est compact et maniable, car il y a moins de poids sur les roues avant, ce qui améliore également le confort de roulement. L'avancée de l'axe des roues arrière permet également d'adapter au mieux la position des mains courantes pour limiter les contraintes des épaules lors de la propulsion.

Des options peuvent être rajoutées sur le fauteuil afin d'améliorer la propulsion, comme des mains courantes antidérapantes, ou des ergots qui peuvent servir de butée pour des utilisateurs avec peu de force aux membres supérieurs (Figure 36). Le port de gants antidérapants améliore l'adhérence et limite la perte de force.

Des freins à tirer rallongés, et non à pousser comme sur la plupart des fauteuils, permettent à une personne sans triceps de stabiliser son fauteuil en effectuant une flexion de coude. Elle peut ensuite enlever les freins en donnant un léger coup sur les poignées de frein, sans craindre d'être déséquilibrée vers l'avant.

<u>Figure 36 :</u> Ergots

Sur les terrains plus difficiles et sur les longues distances, l'avènement des fauteuils roulants manuels avec assistance électrique à la propulsion permet d'équiper des sujets tétraplégiques à partir du niveau C5 qui, sans ces dispositifs, auraient été contraints d'utiliser un fauteuil roulant électrique (Figure 37). Ce mode de propulsion est de plus en plus régulièrement prescrit dans ces indications, même s'il n'est pas encore totalement entré dans les mœurs du fait d'un prix élevé et surtout d'un poids encore excessif

posant problème pour le transport en voiture pour certains dispositifs.

<u>Figure 37 :</u> Fauteuil roulant manuel équipé d'une assistance électrique SmartDrive

Pour les **fauteuils roulants électriques**, l'adaptation de la commande électrique est relativement simple : fourche en « U », ou joystick grossi. On peut y associer une orthèse de maintien de poignet si la personne ne possède pas d'extension de poignet. L'option « Lift », à savoir la possibilité de varier la hauteur d'assise du fauteuil, permet de compenser une absence d'extension de coude ou une faiblesse musculaire au niveau de l'épaule, et augmente l'aire de préhension de la personne.

b. Lieu de vie

Lors du séjour en structure de rééducation et de réadaptation, une visite à domicile est réalisée afin d'aménager le lieu de vie. Elle permet de voir les besoins de la personne blessée médullaire en termes d'aides matérielles, d'aides humaines et d'aménagement du cadre bâti. Outre les problèmes d'accès intérieur et extérieur liés à l'utilisation d'un fauteuil roulant, des adaptations peuvent être proposées afin de suppléer les déficiences des membres supérieurs.

Il faudra être particulièrement attentif à la hauteur des équipements : boutons d'éclairage, sonnette, boîte aux lettres, rangements... Les poignées en bouton sont à éviter, et on privilégiera plutôt des

poignées rallongées que la personne pourra actionner avec l'avant-bras ou en crochetant avec le poignet (Figure 38).

La domotique, si elle vise à apporter des solutions techniques pour répondre aux besoins de confort des personnes valides, devient incontournable pour les personnes tétraplégiques. L'installation de détecteurs, capteurs et programmateurs permet d'avoir une action automatique sur l'environnement (éclairage, chauffage...). L'utilisation d'une téléthèse apportera des solutions de contrôle sur de nombreux éléments du bâti (portes, volets, fenêtres, ascenseur, éclairage, prises...),



<u>Figure 38</u> : Poignée de porte rallongée et ergonomique

des divers équipements de la maison (TV, Hi-Fi, DVD, lit...) ou encore les dispositifs de communication à distance (téléphonie...).

c. Voiture

Le déficit de préhension va avoir une incidence sur la manipulation des ouvertures et/ou de la télécommande, de la clef de contact, du boîtier de vitesse, du volant, du système accélération/frein, des commandes annexes (clignotants, feux...), de la ceinture ou du harnais, des réglages des rétroviseurs... Il existe une multitude d'adaptations pour chaque aspect du poste de conduite et il n'est pas envisagé de tous les décrire dans ce paragraphe. Quelques exemples d'aménagements seront détaillés, qui concernent essentiellement la manipulation du volant, des commandes annexes et du système de frein/accélération.

Avant toute chose, la boite de vitesses de la voiture sera automatique, afin de réduire les nécessités de commande et libérer les membres supérieurs pour d'autres fonctions. Il est possible de proposer une sur-assistance de direction lorsque les membres supérieurs sont faibles.

Le volant standard peut être remplacé par un volant de diamètre moindre, afin de limiter nettement les amplitudes. Cette réduction des amplitudes de rotation nécessite une assistance de direction importante.

Le volant horizontal peut permettre à certaines personnes de pallier le déficit d'élévation du membre supérieur. Le volant est plus petit qu'un standard et se trouve dans le plan horizontal. Il peut être manipulé soit avec les deux mains s'il existe des possibilités d'exploiter les membres inférieurs dans la gestion de l'accélération et du frein (en cas de lésion incomplète), soit avec une main, associé à un levier combiné et une direction assistée voire sur-assistée.

La tenue du volant pour les personnes tétraplégiques peut se faire par l'intermédiaire d'une fourche en « U », ou d'une fourche dite « 3 points » (Figure 39), ceci afin de stabiliser la main si celle-ci n'a pas de préhension possible. Pour les commandes annexes, des clignotants à la tête peuvent être proposés, mais également dans la portière au niveau du coude ou tout autre endroit accessible par la personne en situation de conduite. De plus en plus de véhicules

proposent, de série ou en option, une automatisation de certaines commandes annexes comme l'allumage automatique des feux ou la mise en marche des essuie-glaces.

Concernant les systèmes accélérateurs/freins, il existe des adaptations comme les cercles accélérateurs, ainsi que des leviers combinés frein/accélérateur pouvant être adaptés au déficit de préhension (Figure 40). Le régulateur de vitesses est fortement préconisé au moment de l'acquisition du véhicule afin de soulager le membre supérieur lors de la conduite sur de longues distances.



Figure 39: Fourche « 3 points »



Figure 40 : Levier combiné et accoudoir

d. Accès à l'outil informatique

Les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) sont devenues incontournables aussi bien dans la vie professionnelle que dans la vie privée (accès aux loisirs, commerce, culture, formation...). Chez les personnes blessées médullaires, population majoritairement jeune, l'accès aux TIC facilite la participation sociale : accès à l'emploi via le télétravail, la communication à distance avec ses proches, l'accès aux réseaux sociaux, aux loisirs, la possibilité de faire ses achats seul sur les sites de e-commerce et de se faire livrer, de gérer ses comptes à distance... Il faut donc pouvoir accéder à toutes ces applications, même avec une atteinte motrice des membres supérieurs.

Les dispositifs préconisés seront fonction des capacités fonctionnelles de la personne, et donc de son niveau lésionnel.

- Dispositif de pointage : afin de déplacer le curseur, on peut citer les systèmes de pointage à la tête fonctionnant soit par infrarouge (l'infrarouge envoyé par le dispositif est réfléchi par une pastille placée sur le front de l'utilisateur), soit par vidéo (les mouvements de tête sont récupérés par une webcam). De même, l'utilisation d'une trackball ou d'un joystick, tous deux positionnés au menton à l'aide d'un support, est envisageable. Pour les niveaux lésionnels plus bas, une souris trackball ou un pavé tactile sont fonctionnels en étant actionnés par les doigts, le poignet étant maintenu par une orthèse si besoin.
- Saisie de texte : si le clavier classique n'est pas accessible, la personne tétraplégique haut peut utiliser un clavier virtuel à l'écran, avec éventuellement une prédiction de mots. Si le clavier physique est utilisable, des aides techniques comme des tiges dans des bracelets métacarpiens sont fabriquées. Les systèmes de reconnaissance vocale permettent de gagner en vitesse de frappe ou de piloter l'ensemble des applications informatiques à la voix.

- Accès aux clics souris: lorsque les clics ne sont pas gérés de manière classique, l'utilisation d'un clic déporté d'une souris permet de placer un contacteur à l'endroit souhaité. Il existe aussi des émulateurs de souris permettant de brancher n'importe quel contacteur sur un port USB. Enfin, en alternative, des logiciels d'autoclic permettent d'émettre un clic souris après une temporisation réglable.

7. <u>La robotique d'assistance à la préhension</u>

L'objectif des bras robotisés et de la robotique d'assistance en général est de collaborer avec l'homme. Grâce à ces machines, les personnes blessées médullaires vont pouvoir réaliser des tâches de préhension qu'elles ne pouvaient plus réaliser seules, même si le temps nécessaire pour ces actions est plus important qu'avec un bras valide. En effet, les exigences de sécurité imposent au robot, et plus particulièrement au bras manipulateur, de se déplacer à une vitesse bien inférieure à celle du bras humain. Malgré cet inconvénient, cela améliore nettement le niveau d'indépendance et d'autonomie de ces personnes.

Cela fait maintenant presque 30 ans que les premières applications robotiques ont commencé à voir le jour dans le domaine de la compensation de l'incapacité de préhension. Cela a débuté avec le projet Spartacus. Ce produit français, resté au stade de prototype, reproduisait le modèle anthropomorphique pour compenser la fonction de préhension. Ce n'est que quelques années plus tard, et avec l'expérience acquise grâce au projet Spartacus, que les premiers « robots de préhension » ont été commercialisés. Aujourd'hui, quelques produits sont commercialisés en Europe et dans le monde.

a. Les stations de travail

Les stations de travail sont les premières applications robotiques conçues pour les personnes en situations de handicap (Figure 41). Leurs objectifs étaient de rendre leur indépendance à ces personnes dans leur environnement de travail. Ainsi, l'espace bureautique était développé autour d'un bras robotisé fixe. Sans capteur, le robot était programmé pour se rendre à un point précis préenregistré, et de revenir à un autre point. Cela nécessitait une cartographie laborieuse de l'emplacement des différents objets manipulables. L'apprentissage pour l'utilisateur était ainsi rendu plus simple, mais le moindre déplacement des objets rendait le système inutilisable. Aujourd'hui, ce principe a été abandonné au profit des bras manipulateurs embarqués ou sur base mobile.



<u>Figure 41</u> : Station de travail robotique Afmaster

b. Les robots mono-tâches

A ce jour, les principales fonctions proposées par ces robots « mono-tâches » sont l'aide à l'alimentation. Contrairement aux stations de travail, les robots d'aide à l'alimentation sont capables d'évoluer dans un milieu non structuré, mais ils sont confinés à une seule tâche. Des ustensiles

(fourchettes, cuillères) placés à l'extrémité du bras viennent saisir les aliments dans une assiette spécialement conçue et les amènent à la bouche de la personne. Cette dernière peut ainsi s'alimenter seule, sans l'aide d'une tierce personne et au rythme qu'elle le souhaite grâce aux différentes interfaces à sa disposition (contacteurs, joystick...).

Parmi les produits aujourd'hui commercialisés, nous pouvons citer les robots Handy1, Neater Eater, My Spoon (Figure 42).





Figure 42 : Neater Eater à gauche, My Spoon à droite

c. Les bras manipulateurs embarqués sur fauteuil roulant

Les bras manipulateurs embarqués sur le fauteuil roulant ont pour objectif d'évoluer dans un environnement non connu de la machine et de pouvoir réaliser tout type de tâches. Ils permettent donc un plus haut niveau d'indépendance, mais nécessitent une manipulation plus complexe. Certains de ces produits sont commercialisés et d'autres se trouvent encore au stade de prototype.

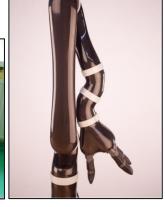
Créé en 1985 aux Pays-Bas et commercialisé depuis 1990, le robot Manus (ou ARM Unit Manus) est

le bras manipulateur le plus utilisé dans le monde avec plus de 200 unités vendues [25]. Il s'agit d'un bras à 6 degrés de liberté permettant de compenser les limitations de préhension. Ce robot permet de saisir et de manipuler, grâce

à sa pince bidigitale, une multitude d'objets courants (verres, portes, interrupteurs, CD...).

Nous pouvons citer d'autres exemples de bras manipulateurs embarqués, commercialisés ou encore au stade de prototype : RAPTOR (USA), BRIDGIT (Pays-Bas), JACO (Canada) ou encore MATS (Espagne) (Figure 43).





<u>Figure 43</u>: Bras manipulateurs embarqués (Manus à gauche, JACO à droite)

d. La robotique mobile

Des équipes de chercheurs travaillent depuis quelques années sur la robotique d'assistance sur base mobile. Ces systèmes embarquent un bras manipulateur (Manus ou autre) sur une base mobile capable de se déplacer dans un environnement cartographié. Cette mobilité présente plusieurs avantages : diminution de l'encombrement sur le fauteuil roulant, possibilité d'agir à distance (lorsque la personne est alitée par exemple) et d'explorer l'environnement en allant voir ce qui se passe dans une autre pièce.

Ces robots sont, pour la plupart, encore au stade de prototype. Nous pouvons citer le produit Care-O-Bot 4 (Allemagne), certainement le plus abouti car il peut exécuter des tâches de manipulation, commander l'environnement avec sa fonction de domotique embarquée (Figure 44). Il intègre également des fonctions de télécommunication (média, télévision, téléphone...) et de télésurveillance des fonctions vitales.



Figure 44: Care-O-Bot 4

La robotique d'assistance a fait l'objet, en France, de plusieurs évaluations cliniques, entre autres auprès de personnes blessées médullaires [38]. Elles ont permis d'identifier une multitude de problèmes inhérents à l'utilisation de ces aides robotisées pouvant expliquer la difficulté de leur intégration au domicile de personnes en grande dépendance : encombrement, poids, autonomie, fiabilité, sécurité, difficulté d'apprentissage, acceptation... Un des obstacles majeurs à l'acquisition du robot Manus soulevés lors de ces études, reste malgré tout la difficulté de financement.

III/ LA CHIRURGIE DU MEMBRE SUPERIEUR DU TETRAPLEGIQUE

« When you have nothing, a little is a lot », Sterling Bunnell

1. Historique

La chirurgie fonctionnelle du membre supérieur, toutes pathologies confondues, est arrivée dès 1948 avec Sterling Bunnel et les premiers principes de ténodèses et de transferts musculotendineux [17]. Il s'agissait surtout d'une chirurgie de reconstruction d'une pince sans approche fonctionnelle véritable. Quatre chirurgiens, l'Ecossais Lamb, l'Américain Freehafer, l'Argentin Zancolli et le Suédois Möberg décidèrent, dans les années 1970, de concentrer leurs efforts sur le sujet tétraplégique.

Si des différences d'approche chirurgicale se dessinent entre chacun des quatre, il est d'emblée possible, au cours de la première conférence internationale sur la chirurgie fonctionnelle du membre supérieur tétraplégique à Edimbourg en 1978, de dégager plusieurs points :

- L'importance de la restauration de l'extension active du coude et de la pince clef pouce-index, dite *key-grip*, bénéficiant d'un contact plus large, même s'il est moins précis ;
- L'importance de la main comme instrument de préhension, mais aussi de relation, justifiant que la main reste souple ;
- L'importance de la sensibilité du revêtement cutané des doigts pour contrôler la position, la motricité et la force de la main.

ZANCOLLI	MOBERG
Restaurer d'autant plus de fonctions que le niveau est haut. La chirurgie se veut d'autant plus complexe (arthrodèse + transferts tendineux) que le niveau est haut, donc que les fonctions restantes sont pauvres.	Restaurer des fonctions simples lorsque le ni- veau est haut. Éviter au maximum les arthrodèses. Favoriser les ténodèses. Conserver une main souple, une main de « contact » et une main « sensitive »
Privilégier un transfert musculaire chaque fois que cela est possible.	Privilégier une bonne ténodèse souvent plus forte et plus utile qu'un transfert tendineux.
Privilégier une pince pouce-index termino- terminale pour les niveaux les plus bas.	Privilégier une pince pouce—index termino- latérale.
Améliorer l'ouverture de la main par des transferts tendineux sur les extenseurs ou à défaut par une ténodèse dorsale.	Restauration d'une ouverture de la main seulement sur des niveaux moyens.
Restaurer une flexion active des doigts tout en stabilisant l'hyperextension des MP lorsqu'on réanime les muscles extrinsèques de la main.	Restaurer une flexion active des doigts tout en évitant de générer des crochets digitaux.
	Garantir la réversibilité de tous les procédés techniques en cas d'aggravation fonctionnelle.
Une discrimination sensitive n'est pas indispensable à l'utilisation d'une pince car le contrôle visuel permet une bonne suppléance.	La discrimination sensitive est un paramètre incontournable.
La spasticité doit faire adapter le programme chirurgical mais constitue rarement une contre-indication.	La spasticité demeure une contre-indication relative. Seule une spasticité légère, voire utile est tolérable.

Figure 45 : Deux écoles de la chirurgie fonctionnelle du membre supérieur tétraplégique [21]

L'école française, autour d'Allieu, fera la synthèse en rejoignant :

- Zancolli pour réaliser une main intrinsèque associée à une stabilisation des articulations métacarpophalangiennes. Il s'agit d'aller plus loin dans la restauration d'une mobilité des doigts chaque fois que cela est possible pour obtenir des prises fortes ;

- Möberg pour privilégier la pince termino-latérale (key-grip) et imposer comme préalable la restauration de l'extension active du coude et pour proposer de façon générale, un programme simple ;
- Freehafer et House pour envisager la réanimation de l'ouverture des doigts par transfert actif chaque fois que cela est possible, sinon par ténodèse dorsale.

En 1978, une première version de classification du membre supérieur est adoptée à la 1^{ère} conférence internationale à Edimbourg en Ecosse, puis remaniée de manière quasi définitive en 1984. Il s'agit de la classification dite de Giens entérinée à la 2^{ème} conférence de Giens en France.

Par la suite, les conférences internationales successives qui se tiendront tous les 3 à 4 ans préciseront les limites et les contre-indications de cette chirurgie, verront se multiplier les techniques et les variantes et se développer la stimulation électrique implantée à visée fonctionnelle. Il s'agit de :

- La 3^{ème} conférence de Göteborg en Suède, en 1988. Cette conférence a révélé la multitude des procédures et a rendu compte des premiers résultats, notamment de ceux de Möberg.
- La 4^{ème} conférence de Palo-Alto aux Etats-Unis en 1991. Le souci de réduire les durées d'immobilisation postopératoire était l'une des préoccupations. Les procédures d'origine ont fait l'objet de variantes destinées à assurer la sécurité des transplants. La première grande série de sujets, pour lesquels un neurostimulateur électrique fonctionnel est implanté, est présentée. L'évaluation des résultats de cette chirurgie reste encore sous-développée et peu consensuelle.
- La 5^{ème} conférence de Melbourne en Australie en 1995 évolue dans le même état d'esprit que la précédente.
- La 6^{ème} conférence de Cleveland aux Etats-Unis a consacré l'intégration de la stimulation électrique fonctionnelle dans la stratégie chirurgicale générale du membre supérieur tétraplégique.
- La 7^{ème} conférence de Bologne en Italie a été l'occasion d'une remise en cause de la classification de Giens, eu égard aux nombreuses atypies et aux muscles non pris en compte par la classification.
- La 8^{ème} conférence de Christchurch en Nouvelle-Zélande voit s'éloigner les promesses d'élargir et d'étendre le panel de patients bénéficiaires d'une neuroprothèse implantée du membre supérieur, la commercialisation de celle-ci ayant été arrêtée.
- La 9^{ème} conférence de Philadelphie aux Etats-Unis a remis à l'ordre du jour l'importance d'un consensus dans l'évaluation.
- La 10^{ème} conférence de Paris en France s'est attachée à associer l'épaule à la réflexion sur le membre supérieur opéré. Les difficultés de la chirurgie fonctionnelle chez le tétraplégique incomplet sont mises en avant. L'action de la toxine botulique est associée à la chirurgie fonctionnelle.

Au fil des conférences, l'approche sera de plus en plus multidisciplinaire, associant le souci des chirurgiens de rendre encore plus sûr l'acte chirurgical et celui des équipes de rééducation de réduire les durées d'immobilisation postopératoire.

2. La Classification Internationale de Giens

Si les chirurgiens orthopédistes classent les tétraplégies selon le niveau des lésions vertébrales, les médecins neurologues ou MPR les classent selon le niveau des lésions médullaires. Ces deux classifications ne correspondent pas entre elles du fait du décalage anatomique qui existe entre les sept vertèbres cervicales et les huit segments médullaires, et du fait des lésions vasculaires fréquemment associées. Enfin et surtout, la paralysie des membres supérieurs est asymétrique dans plus de la moitié des cas pour un même patient. La classification ASIA, bien qu'elle soit très utilisée en médecine physique et de réadaptation, n'a malheureusement pas d'utilité chirurgicale.

La classification chirurgicale internationale actuelle date donc de la conférence de Giens en 1984. Elle distingue 11 groupes de tétraplégies, qui sont fondés sur la fonction motrice conservée la plus distale du membre supérieur considéré. Cette classification est très précise puisqu'elle est directement liée aux noyaux moteurs des muscles du membre supérieur (Figure 46).

Groupe	Muscles cotés M4 (MRC)	Muscles transférables	Triceps	Objectifs chirurgicaux
CI G0	Aucun muscle au-dessous du	ı coude	20	
Tétraplégie haute				
CI G1	Brachioradialis	Brachioradialis	=:	Extension coude Extension poignet, «key grip»
CI G2	+ ECRL	Brachioradialis	===	
Tétraplégie moyenne				
CI G3	+ ECRB	ECRL	±	± extension coude
CI G4	+ pronator teres	ECRL, pronator teres	±	«Key grip» active
CI G5	+ flexor carpi radialis	ECRL, pronator teres	±	Préhension palmodigitale
Tétraplégie basse				
CI G6	Extenseur des doigts	ECRL, pronator teres + autres	T+	Chirurgie de la main paralytique
CI G7	Extenseur du pouce			
CI G8	Fléchisseurs digitaux			
CI G9	Main intrinsèque moins			
CI G10	Exceptions			
Triceps (TR+/TR-)	Pectoralis major (PM+/PM-)			Latissimus dorsi (LD+/LD-)
Sensibilité+ (S+): Weber	<10 mm		Sensibilité- (S-): Web	er>10 mm
Spasticité+ (S+): Sp+H (I	handicapante) ou Sp+U (utile)		Spasticité- (SP-)	

ECRL: extensor carpi radialis longus; ECRB: extensor carpi radialis brevis.

Figure 46: Classification Internationale de Giens modifiée Y. Allieu [2].

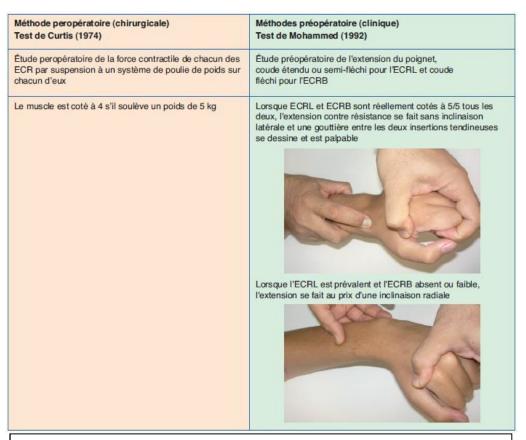
Les possibilités motrices d'un groupe s'ajoutent à celles du groupe immédiatement précédent : plus la lésion médullaire est basse, plus le groupe est élevé (à l'exception du groupe 10), et plus les fonctions motrices conservées sont nombreuses sur le membre supérieur considéré. Pour un même patient, chacun des deux membres supérieurs doit être évalué séparément.

Dans le groupe 0, il n'existe aucun muscle plus distal que le coude qui soit au moins de force 4. Le patient peut éventuellement fléchir son coude (biceps brachial, brachial), mais il n'existe pas de brachioradialis (BR) utilisable pour un transfert au poignet ou à la main (BR non contractile ou trop faible).

Dans le groupe 1, le patient peut fléchir activement le coude et il existe un BR de force 4 au moins. Ce muscle fléchisseur du coude est testé en position de pronosupination intermédiaire (pouce en l'air), en appliquant une résistance au poignet.

Dans le groupe 2, le patient peut fléchir activement le coude et possède un BR de force 4 au moins. Il est en outre capable d'extension de poignet, mais celle-ci reste faible, liée uniquement au muscle long extenseur radial du carpe (ECRL).

Dans le groupe 3, le patient est capable d'extension forte du poignet, et ce mouvement est lié à l'activité conservée des muscles ECRL et court extenseur radial du carpe (ECRB). Cette distinction entre les groupes 2 et 3 est fondamentale puisque dans le groupe 2 il ne faut surtout pas affaiblir l'extension active du poignet, alors qu'à partir du groupe 3 il est possible d'utiliser l'ECRL comme muscle moteur pour un transfert, sans conséquence pour l'extension du poignet puisque l'ECRB est conservé. La distinction entre groupes 2 et 3 est donc très importante mais malheureusement pas toujours facile. L'évaluation de la force des extenseurs radiaux du carpe peut s'effectuer de plusieurs manières (Figure 47). Pour certaines équipes, l'évaluation se fait simplement. La force globale d'extension du poignet contre une résistance est appréciée. Lorsqu'il n'existe aucun doute sur cette force contre résistance et que ce mouvement peut être répété indéfiniment sans affaiblissement notable, il s'agit certainement d'un groupe 3. Chaque fois qu'il existe un doute sur cette force et/ou que le mouvement d'extension est fatigable lorsqu'il est répété, il faut considérer qu'il s'agit d'un groupe 2.



<u>Figure 47 :</u> Modalités de distinction de la force des extenseurs radiaux du carpe. ECR : extenseur radial du carpe ; ECRL : long extenseur radial du carpe ; ECBR : court extenseur radial du carpe [17].

Dans le groupe 4, une pronation active de l'avant-bras par le rond pronateur s'ajoute à l'extension forte du poignet. Ce muscle doit être au moins de force 4 pour pouvoir être éventuellement utilisé dans un transfert.

Dans le groupe 5 s'ajoute aux fonctions motrices précédentes une flexion active du poignet par le fléchisseur radial du carpe (FCR). Généralement, on constate aussi que le triceps est actif à partir du groupe 5.

Dans le groupe 6 s'ajoute une extension métacarpophalangienne des doigts longs, sous l'effet des extenseurs des doigts. Cette extension concerne d'abord les doigts ulnaires (extenseur propre du 5^{ème} doigt, extenseur commun des doigts) avant les doigts radiaux (extenseur commun des doigts, extenseur propre de l'index).

Dans le groupe 7, il existe une extension extrinsèque du pouce, sous l'action des muscles long extenseur du pouce, court extenseur du pouce et long abducteur du pouce.

Dans le groupe 8 s'ajoute une flexion active des doigts : doigts ulnaires avant les doigts radiaux et le pouce.

Dans le groupe 9, la flexion active est complète sur tous les doigts, et le tableau est celui d'une paralysie des muscles intrinsèques des doigts et du pouce.

Le groupe 10 est réservé aux exceptions à cette classification. La fréquence globale de ces exceptions est estimée à 6% [37]: groupe 3 avec triceps fonctionnel, groupe 5 sans triceps, groupe 7 avec extension du pouce et de l'index sans extension des doigts ulnaires, groupe 7 avec extension du pouce et des doigts ulnaires sans extension de l'index, groupes 8 ou 9 avec flexion des doigts et du pouce mais sans extension active des doigts et du pouce. En fait, l'activité du triceps ne faisant pas partie de la classification internationale, ses variations peuvent ne pas être considérées comme des exceptions.

Cette classification internationale ne tient compte ni du triceps, ni des muscles de l'épaule, qui doivent être testés séparément :

- Triceps : le bras en abduction, la main soulevée au-dessus de la tête, il est testé contre la pesanteur, puis contre une résistance appliquée au poignet ;
- Grand pectoral supérieur : testé en faisant porter le bras en adduction vers l'épaule opposée et en appliquant une résistance vers le coude ; son absence contre-indique la réanimation isolée de l'extension active du coude par transfert du deltoïde postérieur ;
- Deltoïde postérieur : l'épaule étant en abduction à 90°, il est testé en faisant porter le bras en rétropulsion et en appliquant une résistance au-dessus du coude ;
- Grand dorsal : testé en adduction, rétropulsion et rotation interne du bras.

Il existe un versant sensitif à cette classification. Cette évaluation sensitive se limite à la sensibilité discriminative de la pince pouce-index. Si la distance discriminative entre deux points au test de Möberg est supérieure à 10 mm, le patient est noté O pour *ocular*; le seul contrôle de ses prises est visuel. En dessous de 10 mm, la sensibilité de la pince est suffisante pour un contrôle cutané et le patient est noté Cu.

3. Phase préopératoire

a. Sélection des patients

La chirurgie fonctionnelle du membre supérieur ne peut être proposée aux tétraplégiques que dans certaines conditions unanimement admises lors des deux premières réunions internationales :

- L'accident initial ne doit pas être trop récent. Un délai d'un an entre l'accident et la première intervention de réhabilitation des membres supérieurs permet d'obtenir une stabilité de l'état neurologique du patient ;
- Les complications générales ou locales, notamment urinaires et cutanées, doivent être traitées ;
- Il n'y a pas de douleurs lésionnelles ;
- Le patient peut s'asseoir au fauteuil. Cette situation assise permet en effet à la pesanteur de s'exercer sur le membre supérieur, qui, associée aux stratégies de pronation passive acquises en rééducation pour les groupes 2 et 3, permet une flexion du poignet et les effets ténodèse qui en résultent sur les doigts et le pouce ;
- Les amplitudes articulaires doivent être suffisantes. Toutes les articulations concernées par les transferts et/ou les ténodèses doivent être souples et passivement mobiles avant l'intervention, essentiellement pour les coudes, les poignets et les articulations MP des doigts. Un flessum du coude peu important peut parfois être toléré ;
- La motivation du patient doit être suffisante. Pour cela, il doit être informé sur les améliorations concrètes qui peuvent être obtenues et sur les possibilités ou non de réponses à ses attentes. Il doit être motivé et coopérant, psychologiquement apte à suivre le programme chirurgical et la rééducation qui le suit dans son intégralité.

Pour ce qui concerne le choix du membre supérieur à opérer en priorité, aucune règle ne prévaut. En cas d'asymétrie du profil neuromoteur, il est classique de proposer d'abord une chirurgie du côté qui promet les meilleurs résultats. L'avantage est que le patient est encouragé à poursuivre son programme chirurgical de l'autre côté. Aborder le membre supérieur le moins fonctionnel demeure également légitime si l'autre membre supérieur offre des préhensions utiles.

b. Principes

La chirurgie de restauration fonctionnelle des membres supérieurs a pour but d'augmenter l'autonomie des patients tétraplégiques en améliorant leur préhension, c'est-à-dire l'ouverture et la fermeture des doigts et de la pince, utilisable dans un champ étendu de l'espace. Ceci n'est possible qu'après avoir rempli si nécessaire certaines conditions préalables :

- La correction des attitudes vicieuses, notamment les atteintes en supination ;
- La réanimation de l'extension du coude ;
- La réanimation de l'extension active du poignet.

Les procédés utilisables dans la chirurgie fonctionnelle du membre supérieur du tétraplégique relèvent de trois catégories : les arthrodèses, les ténodèses et les transferts tendineux.

Une arthrodèse consiste à supprimer une articulation en la bloquant définitivement dans une position choisie. Ce geste peut être indiqué soit pour corriger une mauvaise position articulaire, soit pour stabiliser une chaîne digitale, soit pour les deux raisons à la fois.

Par définition, le mot « ténodèse » signifie « tendon fixé, bloqué ». Lorsqu'une ténodèse est réalisée, il s'agit soit de fixer sur le squelette l'extrémité proximale d'un tendon dont l'insertion distale est conservée, soit de prendre une greffe tendineuse libre et d'en fixer les deux extrémités sur deux endroits différents.

Enfin, un transfert tendineux consiste à réanimer la fonction d'un muscle paralysé par celle d'un muscle actif. Pour cela, deux conditions préalables sont nécessaires : que l'amplitude articulaire de la fonction réanimée soit suffisante, et que la fonction du muscle actif servant de « moteur » soit compensée de façon naturelle par un autre muscle.

En ce qui concerne les muscles transférés, l'expérience de la chirurgie de transferts dans les atteintes périphériques a montré qu'un muscle perdait au moins un point de cotation MRC lorsqu'il était transféré. Cette perte de point est due à l'apparition de frottements créés par le changement de trajectoire. Ce constat amène à ne considérer, pour un transfert musculotendineux, que les muscles cotés à au moins 4 sur 5 MRC.

Puisque la restauration de l'ouverture et de la fermeture des doigts impose des positions d'immobilisation postopératoires contradictoires pour diminuer la tension sur les transferts tendineux, deux temps opératoires sont nécessaires. Le temps d'ouverture précède toujours celui de la fermeture, afin que le patient puisse toujours ouvrir sa main, approcher et lâcher les objets.

La durée d'hospitalisation est globalement de deux à trois mois pour chaque chirurgie d'extension du coude, et d'environ deux mois par temps chirurgical sur chaque main. Pour le patient engagé dans un programme complet de restauration chirurgicale des deux coudes, de l'ouverture et de la fermeture des doigts des deux mains, cette durée peut ainsi atteindre au minimum 14 mois. Un grand nombre de patients ne terminent pas leur programme chirurgical. Le regroupement des temps opératoires permet de raccourcir les durées de séjours hospitaliers et en centre, et permet dès la première intervention d'obtenir l'objectif principal du programme, à savoir la restitution d'une pince utilisable dans un champ étendu de l'espace.

c. Bilans

Aux bilans préalablement vus lors de l'évaluation du membre supérieur du tétraplégique, peuvent s'ajouter des bilans élaborés pour le tétraplégique opéré. Idéalement, ces bilans sont passés avant et après la chirurgie afin de pouvoir évaluer le gain fonctionnel apporté.

- Le bilan d'autonomie de Lamb (annexe 7) [34]: Présenté dans sa version anglaise, Lamb ne l'a rapporté que dans une seule de ses publications. Il a été repris sous une forme modifiée par Mohammed en 1992 qui en conserve les 25 premiers items. Ces 25 items sont répartis dans sept rubriques fonctionnelles. L'échelle de cotation est à trois niveaux et prend en compte la difficulté de réalisation et la qualité d'exécution. Les résultats sont exprimés en quatre groupes selon le score total (> 90 : excellent ; 70-89 : satisfaisant ; 50-69 : moyen ; < 50 : médiocre). Les conditions de passation sont imprécises, il n'est pas précisé si le bilan est réalisé sur

interrogatoire ou lors d'une mise en situation. Certains auteurs [20] évaluent les items comme peu pertinents en regard de la tétraplégie et de la chirurgie fonctionnelle. Ce bilan n'a jamais fait l'objet d'une validation.

- L'échelle des capacités motrices (ECM) (annexe 8): Elaborée par un groupe français dirigé par C. Fattal [20], cette échelle rassemble 31 items répartis dans six rubriques fonctionnelles: transferts, positionnement sur plan Bobath, positionnement au fauteuil roulant, déambulation, aptitudes motrices d'exploration et aptitudes motrices de préhension. Sa particularité est de se référer à l'ensemble des actes élémentaires de base qui permettent à la personne tétraplégique de réaliser des actes finalisés. Ces actes élémentaires sont par définition indépendants du contexte et de l'environnement. Cette évaluation présente une bonne reproductibilité interjuges et une bonne sensibilité au changement issu de la chirurgie fonctionnelle du ou des membres supérieurs tétraplégiques. Initialement proposée à des sujets opérés du ou des membres supérieurs, elle se prête aussi à une utilisation chez le tétraplégique non opéré, compte-tenu du fait que l'équilibre postural du tronc et le contrôle postural du membre supérieur sont pris en compte et que la problématique fonctionnelle du tétraplégique complet relève en fin de compte de la fonctionnalité des membres supérieurs.
- La grille des situations de handicap (annexe 9), associée à l'ECM, est constituée de 3 domaines : soins d'hygiène et d'exonération, habillage-déshabillage et activités domestiques, déplacement et communication. Chaque domaine inclut de nombreux items et pour chacun, un score de la valeur de l'habitude de vie, du niveau de réalisation, du type d'aide requise, et du niveau de satisfaction est donné. Le temps de passation est long.
- Le **Grasp and Release Test**: ce test a été conçu par l'équipe de Cleveland, initialement pour le tétraplégique haut implanté d'une neuroprothèse. Les sujets prennent, transportent et relâchent 6 objets dont la configuration, la taille et le poids varient : trois nécessitant une préhension latérale (cheville, fourchette, presse-papier), trois nécessitant une prise palmaire (cubes, cannette, cassette vidéo). Cette manipulation doit se faire autant de fois possibles durant 5 essais de 30 secondes pour chaque objet.

d. Rééducation et appareillage préopératoires

La rééducation préopératoire est primordiale et prépare le patient autant psychologiquement que physiquement à sa chirurgie du membre supérieur. Cette rééducation peut impliquer le médecin généraliste et le kinésithérapeute libéral, et permet d'engager le patient dans la connaissance de ses ressources musculaires, des procédures et des modifications de fonction après transferts musculotendineux.

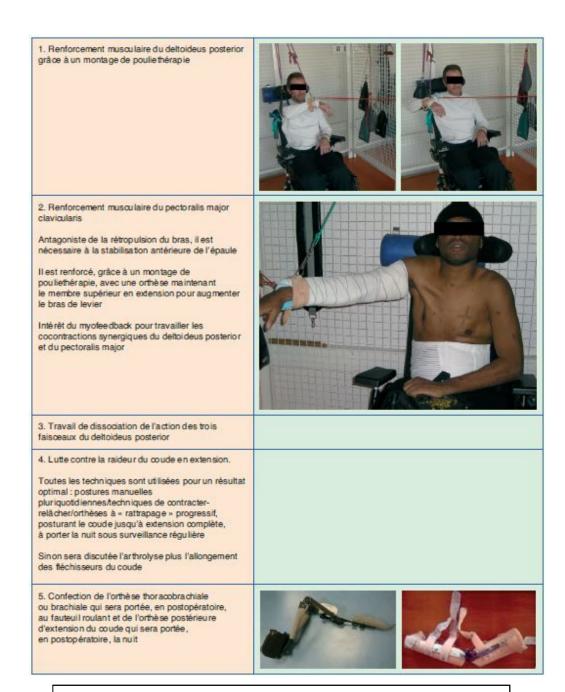
La préparation physique repose sur plusieurs objectifs :

- Renforcer le ou les muscles moteurs. Cela peut permettre de passer à un groupe de niveau supérieur selon la classification internationale de Giens, et d'ouvrir de nouvelles perspectives chirurgicales.
- Renforcer les muscles dits de relais qui assureront la fonction du muscle transféré (par exemple, le brachioradialis en cas de transfert du biceps brachial sur le triceps brachial).

- Lutter contre les raideurs articulaires, afin d'éviter des gestes chirurgicaux supplémentaires destinés à les réduire. Les amplitudes des mouvements des épaules et des avant-bras (pronosupination) doivent être totalement libres avant l'opération de transferts tendineux.
- Solliciter certains muscles en synergie avec d'autres, afin de préparer le patient à la modification de fonction d'un complexe tendon-muscle dérivé de sa fonction d'origine.
- Solliciter certains muscles dans un travail de dissociation, en utilisant des techniques de biofeedback, afin que le patient visualise mieux les contractions musculaires à reproduire en postopératoire dans une nouvelle fonction. Ce travail peut être complété d'une stimulation électrique des muscles.

Ce temps pré-opératoire est également utilisé afin de confectionner des orthèses :

- Afin de lutter contre les raideurs articulaires tout d'abord, par exemple pour réduire un flexum de coude.
- Ou au contraire afin d'inciter une légère raideur des articulations métacarpo-phalangiennes dans le cas d'une « main plate » par le port d'une orthèse d'enroulement des doigts pour obtenir une fermeture des doigts en ténodèse.
- Des orthèses à vocation de simulation, afin de visualiser l'effet de la future opération. Ce positionnement est essentiellement testé sur la colonne du pouce, avant arthrodèse de la métacarpophalangienne par exemple.
- L'orthèse qui sera utilisée en postopératoire (par exemple, l'orthèse thoracobrachiale après chirurgie de restauration de l'extension active du coude par transfert du deltoïde postérieur sur le triceps brachial).
- Une orthèse de posture destinée au positionnement optimal de la main et du poignet en position de fonction, afin de préparer la future main opérée en imposant aux tendons une course optimale sur le plan fonctionnel.



<u>Figure 48</u>: rééducation pré-opératoire proposée par l'équipe de Propara avant chirurgie de restauration de l'extension active du coude de type Möberg [17]

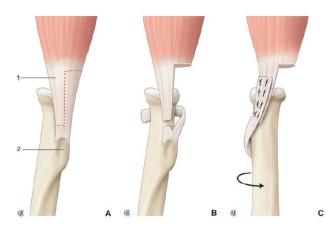
4. Correction de l'attitude en supination

Les attitudes vicieuses en supination des avant-bras et flessum des coudes sont surtout présentes dans les groupes 0, 1 et 2 et dépendent des déséquilibres musculaires. Il est important de les corriger au préalable de toutes les autres procédures dans l'objectif de récupérer une mobilité en pronosupination.

a. Transfert pronateur du biceps

Cette technique, décrite par Zancolli, consiste à convertir l'action supinatrice du biceps en action pronatrice, et ainsi à corriger le déséquilibre musculaire à l'origine de cette attitude vicieuse. Elle est indiquée dans les attitudes en supination souples et réductibles (Figure 49). Une bonne stabilité antérieure de l'épaule est nécessaire afin de permettre l'utilisation du deltoïde postérieur dans la réanimation de l'extension du coude.

En postopératoire, le membre supérieur est immobilisé par une attelle postérieure en pronation complète de l'avant-bras, avec une flexion de 120° du coude, pendant 4 semaines. La mobilisation passive est débutée à 4 semaines, la mobilisation active à 6



<u>Figure 49</u>: Transfert pronateur du biceps (A à C). 1 : Tendon distal du biceps brachial; 2 : tubérosité bicipitale du radius [2].

semaines. Aucun travail contre résistance n'est demandé avant 8 semaines. [4, 17].

b. Ostéotomie de dérotation pronatrice du radius

C'est une technique initialement utilisée en cas de lésion obstétricale du plexus brachial. Elle est proposée aux tétraplégiques ayant une attitude en supination fixée, ou en cas d'une stabilisation antérieure de l'épaule déficitaire, nécessitant l'utilisation du biceps brachial pour réanimer l'extension du coude. Néanmoins, cette intervention ne rééquilibre pas la balance musculaire, et si le biceps est laissé en place, le risque de récidive de l'attitude vicieuse persiste. Après ostéotomie, le segment distal du radius subit une rotation pronatrice de 80°. La pronation passive est alors complète, et une supination de 30° est possible.

L'immobilisation postopératoire est assurée par une résine brachio-antibrachio-palmaire pendant 6 semaines [17]. La mobilisation du coude et du poignet peut être débutée à condition de protéger la synthèse en dehors des séances de rééducation par une gouttière postérieure pendant encore 4 semaines. Cette mobilisation, en flexion/extension, est autorisée en maintenant le blocage de la pronosupination [17].

Le flessum du coude éventuellement associé n'est pas corrigé par les deux procédures citées. D'autres procédures sont alors nécessaires (allongement des fléchisseurs, arthrolyse du coude) si les postures de récupération d'amplitude n'ont pas été efficaces.

5. Rétablissement de l'extension active du coude

Il est indispensable pour un tétraplégique d'avoir une extension active du coude, afin de saisir les objets au-dessus du niveau de son lit ou de son fauteuil roulant. De plus, en l'absence d'extension

active du coude, la propulsion d'un fauteuil roulant manuel reste laborieuse, l'équilibre du tronc en position assise reste précaire et nécessite un geste de cravatage de la poignée du dossier.

a. Stabilité antérieure de l'épaule

Deux possibilités de transferts musculaires sont possibles, le faisceau postérieur du deltoïde et le biceps brachial, et le choix est inhérent à l'équipe chirurgicale. Néanmoins, il faut veiller à la présence ou non du muscle grand pectoral qui va assurer la stabilisation antérieure de l'épaule lors de l'extension active du coude. En cas de transfert du deltoïde postérieur, lors de l'extension du coude, en l'absence de stabilisation antérieure de l'épaule, le deltoïde va induire une rétropulsion de l'épaule préjudiciable à la qualité de l'extension du coude (figures 50 et 51). En cas d'absence de grand pectoral, la réanimation de l'extension du coude est donc assurée par le biceps brachial.

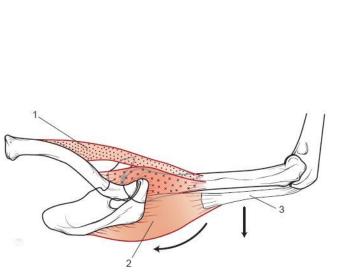
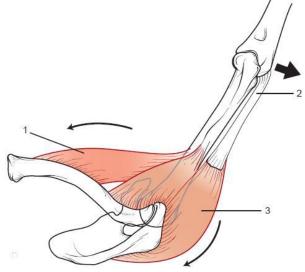


Figure 50: En cas de non-stabilisation antérieure de l'épaule (grand pectoral paralysé et deltoïde antérieur insuffisant), le transfert du deltoïde postérieur sur le triceps entraîne une rétropulsion de l'épaule paralysant son action recherchée d'extension du coude. 1: grand pectoral, 2: deltoïde postérieur, 3: triceps brachial réanimé [4].

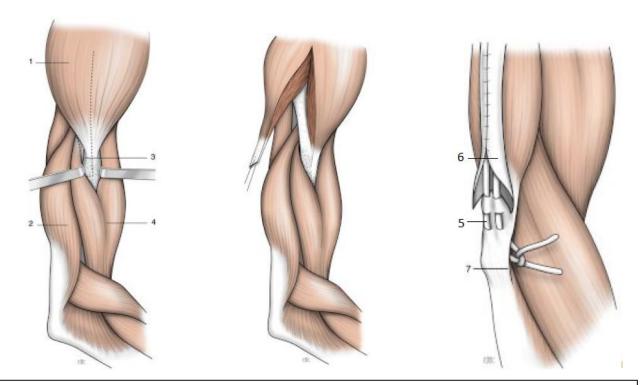


<u>Figure 51</u>: Action d'extension du coude du deltoïde postérieur transféré sur le triceps, nécessitant une stabilisation antérieure de l'épaule par le grand pectoral et le deltoïde antérieur.

1 : grand pectoral, 2 : triceps brachial réanimé, 3 : deltoïde postérieur [4].

b. Transfert du deltoïde postérieur sur le triceps

La technique dite de Möberg consiste à transférer le deltoïde postérieur sur l'insertion inférieure du triceps brachial avec interposition d'une greffe tendineuse constituée par les tendons extenseurs des orteils. Plusieurs variantes de cette technique existent désormais, elles se distinguent par l'élément interposé entre le deltoïde et le triceps, et le mode de fixation distale. L'utilisation d'une tresse synthétique de Dacron[®] entourée de fascia lata apparait comme la technique la plus utilisée désormais [2].

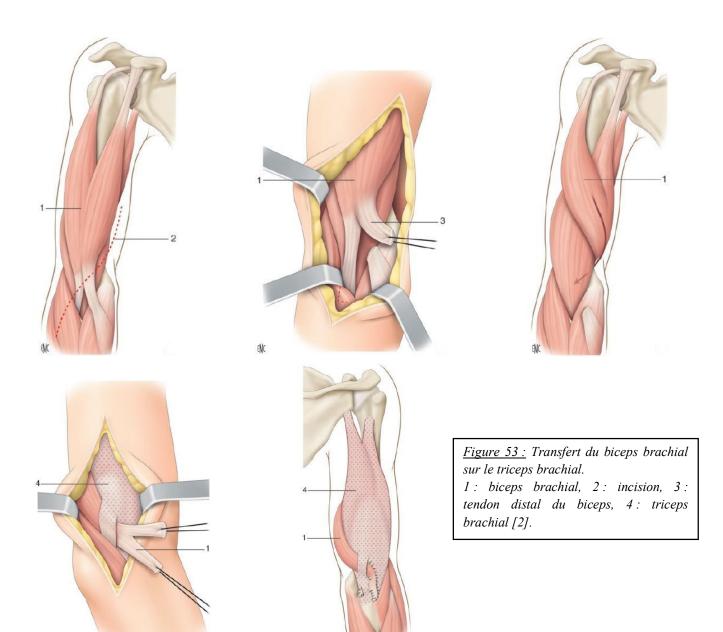


<u>Figure 52 :</u> Transfert du deltoïde postérieur sur le triceps.

1 : deltoïde postérieur, 2 : triceps brachial, 3 : humérus, 4 : biceps brachial, 5 : ligament synthétique, 6 : fascia lata, 7 : olécrâne [4].

c. Transfert du biceps sur le triceps

La technique de Zancolli, c'est-à-dire le transfert du biceps brachial sur l'insertion du triceps brachial, est préférée pour les cas où il n'existe pas de stabilisation antérieure de l'épaule par le grand pectoral ou le deltoïde antérieur (Figure 53).



6. Rétablissement de la préhension

La reconstruction d'une pince termino-latérale, ou key grip, est l'objectif principal de la chirurgie fonctionnelle du membre supérieur du tétraplégique dans le programme de Möberg. Le programme chirurgical proposé dépend totalement du niveau neurologique du patient et donc de ses muscles disponibles pour des transferts tendineux.

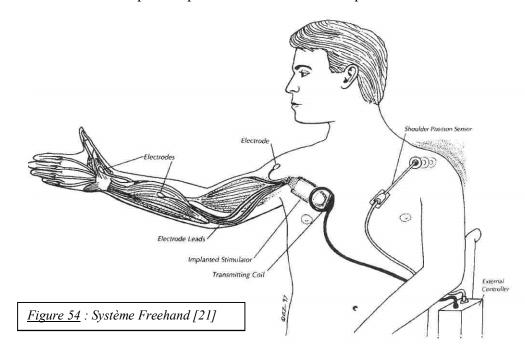
a. Groupe 0 : neurostimulation électrique fonctionnelle

Les patients de ce groupe ne possèdent aucun muscle actif au-dessous du coude. Aucun transfert tendineux n'est donc possible afin d'apporter un bénéfice fonctionnel. La restauration de l'extension active du coude est parfois possible.

Néanmoins, sous réserve d'un bon contrôle de l'épaule, certains tétraplégiques hauts se sont vus proposer, en 1988 par une équipe américaine, une restauration de la préhension par électrostimulation (Figure 54) [21]. C'est la neurostimulation électrique fonctionnelle, dont le principe est fondé sur la stimulation électrique de muscles clefs sous-lésionnels, innervés par un 2^{ème} motoneurone intact, dans le but de générer une ouverture et une fermeture des chaînes digitales. La stratégie chirurgicale combine :

- Un programme de neurostimulation électrique de muscles sous-lésionnels dans le rôle qui leur est propre ;
- Une chirurgie de réimplantation d'un muscle sous-lésionnel, susceptible d'être électrostimulé, en lui imposant une fonction qu'il n'avait pas ou pour suppléer à l'absence d'un muscle synergique ;
- Une chirurgie de stabilisation de segments articulaires.

Bien que des dizaines de patients aient été implantées dans le monde, la commercialisation de ce système *Freehand* a été suspendue pour des raisons économiques.



b. Groupe 1

Le muscle transférable pour ces patients est le BR, seul muscle présent en-dessous du coude à ce niveau lésionnel. Après la restauration de l'extension active du coude, la chirurgie consiste à transférer le BR sur le court extenseur radial du carpe. L'efficacité de ce transfert est directement liée à la restauration préalable de l'extension active du coude, faute de quoi le BR a tendance à se rétracter et à entraîner une raideur en flexion du coude et en extension de poignet. La flexion passive du poignet est alors possible par la pesanteur, lorsque l'avant-bras est en pronation.

Il est possible d'améliorer légèrement la morphologie et la stabilité de la pince latérale par des procédés passifs associés de ténodèses et d'arthrodèses. Cela peut être une ténodèse du long fléchisseur du pouce au radius [2], avec ou sans ténodèse du long extenseur du pouce, une stabilisation de la colonne du pouce. Un lasso sur l'index, et parfois le majeur, dans le but d'entrainer

la flexion passive de ces doigts lors de l'extension du poignet peut y être associé [37]. La prise obtenue sera toujours dépendante de la position du poignet, et permettra à la personne de saisir et d'utiliser des objets relativement légers.

c. Groupe 2

Dans ce groupe, le patient, en plus de la flexion forte du coude, est capable d'effectuer une extension faible du poignet. Le programme chirurgical commence par la restauration de l'extension active du coude. Le BR reste le seul muscle transférable, mais en présence du long extenseur radial du carpe, il peut être utilisé pour créer une key grip active en le transférant sur le long fléchisseur du pouce [27]. Comme dans le groupe 1, les interventions de stabilisation de la colonne du pouce sont également effectuées. Cette chirurgie permet au patient de saisir des objets plus lourds, quelle que soit la position du poignet, et contre résistance.

M. Revol [37] préfère transférer le BR sur le fléchisseur commun profond des doigts et le long fléchisseur du pouce.

d. Groupe 3

Les patients appartenant au groupe 3 ont une extension forte du poignet grâce à la présence de deux extenseurs actifs : le long et le court extenseurs radiaux du carpe. En plus du transfert du BR sur le long fléchisseur du pouce pour activer une key grip, l'utilisation du long extenseur radial du carpe est possible pour réanimer les fléchisseurs profonds des doigts. Ce temps de fermeture, accompagné d'une stabilisation de l'interphalangienne (IP) du pouce, est précédé d'un temps d'ouverture de la main afin que tout objet saisi puisse être relâché. Cette ouverture passive de la main est réalisée grâce à une arthrodèse de la trapézométacarpienne, une ténodèse des extenseurs au radius, et une

stabilisation des métacarpophalangiennes (MCP) par la technique des «lassos» décrite par Zancolli [2]. Cette technique consiste à sectionner les bandelettes du fléchisseur commun superficiel des doigts, de les retourner au-dessus de la poulie A1 et de les fixer à elles-mêmes, les MCP étant mises à 40° de flexion (Figure 55). Ce geste reproduit la manœuvre de Bouvier et empêche les doigts de se fermer en griffe après la réanimation des fléchisseurs.

Après ces interventions, le patient aura les capacités de saisir des objets plus diversifiés et plus lourds, comme une bouteille d'eau, une poignée de sac... L'autonomie sera quasi complète pour la toilette et l'habillage de la partie supérieure du corps, la préparation et la prise des repas.



<u>Figure 55</u>: Technique des lassos de Zancolli [2].

e. Groupes 4 et 5

Dans le groupe 4, le rond pronateur est désormais actif, et disponible pour un transfert. Dans le groupe 5, la présence du fléchisseur radial du carpe va permettre une flexion active du poignet, et permettra une stabilisation antérieure du poignet. Il ne faudra donc pas le transférer. Les muscles disponibles pour des transferts sont donc le rond pronateur, le long extenseur radial du carpe, et le BR.

Le BR, selon les auteurs, peut servir soit pour activer l'extension des doigts longs en le transférant sur l'extenseur commun des doigts et le long extenseur du pouce dans un premier temps opératoire [4, 26]; soit pour créer une flexion active du poignet, activer un lasso ou renforcer le pouce en adduction [28, 37].

Le long extenseur radial du carpe peut être utilisé pour la fermeture des doigts en étant transféré sur le fléchisseur commun profond des doigts dans un deuxième temps opératoire [26] et le long fléchisseur du pouce [37, 19, 4].

Le rond pronateur, quant à lui, peut être transféré sur le long fléchisseur du pouce [28, 26, 19]. Certains auteurs ont abandonné ce transfert du fait des risques importants d'adhérences [37].

Les gestes associés précédemment décrits dans le groupe 3 sont également effectués.

Bien que les patients récupèrent les mêmes fonctionnalités que dans le groupe 3, on peut quand même noter une meilleure ouverture des doigts, ce qui permet de saisir des objets de volume plus important.

f. Groupes 6 et 7

Dans les groupes 6 et 7, les patients possèdent une extension active efficace des doigts, et plus (groupe 7) ou moins (groupe 6) efficace du pouce. Bien que le nombre de muscles actifs soit meilleur, les capacités fonctionnelles de ces patients sont moins bonnes que ceux des groupes 3, 4 et 5. En effet, la présence des extenseurs créé une main plate, non propice à l'utilisation de l'effet ténodèse. La key grip n'est donc pas fonctionnelle.

Pour le groupe 6, un premier temps d'ouverture est proposé, consistant en une suture latérale du long extenseur du pouce à l'extenseur des 2^{ème} et 3^{ème} doigts et un lasso activé par le BR [28, 26]. Ce temps n'est pas utile pour les groupes 7, qui se voient proposer directement le 2^{ème} temps de fermeture, par transferts du long extenseur radial du carpe sur les fléchisseurs des doigts, et du rond pronateur ou du BR pour la flexion du pouce [28, 26, 4, 2, 37].

Une réanimation de l'opposition du pouce par le long palmaire peut être réalisée, ou par transfert du fléchisseur superficiel du 4^{ème} doigt [28].

A ces gestes de transferts sont associés des gestes de positionnement : quatre lassos avec le fléchisseur commun des doigts superficiel [4] réanimés par l'extenseur ulnaire du carpe [37], stabilisation de l'IP du pouce [28].

Les résultats fonctionnels sont les plus importants chez les patients de ces groupes, ceux-ci sont généralement les plus satisfaits des interventions [26].

g. Groupes 8 et 9

Pour les groupes les plus bas, la paralysie des membres supérieurs s'apparente à une paralysie médioulnaire. La chirurgie fonctionnelle, dans ces cas, n'est plus vraiment spécifique à la tétraplégie. Ces patients ont déjà une fonction assez bonne et n'envisagent souvent qu'avec beaucoup de réticence une intervention chirurgicale.

Un tableau récapitulatif (Annexe 10) résume les possibilités chirurgicales.

7. <u>Programmes de rééducation postopératoire</u>

La rééducation postopératoire s'appuie sur une étroite collaboration entre le chirurgien et l'équipe de rééducation (kinésithérapeutes, ergothérapeutes, personnels soignants) sous la responsabilité du médecin MPR. Cette rééducation est fondée sur des protocoles bien rôdés, orientés vers deux objectifs : assurer la sécurité de la cicatrisation pour éviter les ruptures ou les détentes, et éviter les adhérences et autres complications locales et/ou générales.

a. Rééducation après opération de Möberg

i. Immobilisation et protection du transfert

Cette immobilisation repose sur le port d'une orthèse de posture. L'orthèse thoraco-brachiale est parfois remplacée par une orthèse de coude non articulée, la nuit et le jour si l'installation au fauteuil s'y prête et que les conditions de sécurité sont réunies. L'orthèse thoraco-brachiale est cependant privilégiée lorsque des spasmes importants des membres inférieurs diffusent vers le membre supérieur et compromettent la cicatrisation des sutures. Elle sécurise le nursing lorsqu'il est assuré par les soignants moins aguerris à cette chirurgie. Elle facilite la posture au lit, en décubitus latéral, et s'avère nécessaire soit pour faciliter le drainage positionnel d'un œdème distal du membre supérieur, soit pour décharger le patient de tout appui sur une escarre post alitement opératoire.

L'immobilisation évolue avec le temps selon les paliers suivants :

- 0 à 7 jours : immobilisation stricte dans une orthèse thoraco-brachiale ou une orthèse de membre supérieur ou une contention en résine, coude en extension complète. Le patient est confiné au lit jusqu'à ablation des drains. Le membre supérieur est parfois entouré d'un bandage élastique tubulaire, en déclive discrète pour favoriser le drainage de l'œdème.
- 2^{ème} et 3^{ème} semaines : immobilisation maintenue jusqu'à la fin de la 3^{ème} semaine. Le positionnement du membre supérieur est alors assuré en abduction d'épaule à 45° ou 60°, en rétropulsion et en rotation externe de l'épaule afin de laisser au maximum le transplant en position de

détente. L'interdiction de toute élévation antérieure de l'épaule jusqu'à la 4^{ème} semaine pour certains [37] et jusqu'à la 8^{ème} semaine dans la majorité des protocoles doit être strictement respectée.

 $-4^{\rm ème}$ à la $8^{\rm ème}$ semaine : l'évolution du schéma d'immobilisation et de protection des orthèses est présentée dans la figure 56. Le déverrouillage de l'orthèse de coude sur un secteur de mobilité autorisé de 0° à 30° est effectué dès lors que le coude a rejoint une flexion active hors orthèse de 45° , et de 0° à 45° dès lors que le coude fléchit activement à 60° .

Semaine	Orthèse utilisée	Épaule	Coude	Coude		
			Position du coude Gain d'amplitude en flexion		déplacement et de transfert	
1	Orthèse thoracobrachiale	Abduction de 45-60°	Extension complète	0°	Confinement au lit de 0 à 7 j	
2	± rétropulsion ± rotation externe Élévation antérieure interdite			0°	FRM + tierce personne ou FRE Transferts interdits	
3	ou orthèse de membre supérieur			0°		
			Hors rééducation	Rééducation		
4	Orthèse de	Adduction complète et rotation interne autorisées	Extension complète	15° à 20°	FRE autorisé Transferts interdits	
5	coude à verrou, non articulée			30° à 40°		
6	Orthèse de	Élévation antérieure interdite	Secteur de flexion autorisé	45° à 60°		
7	coude à verrou, articulée			60° à 80°		
В				75° à 95°		
9	Pas d'orthèse	Libre	Libre			
10					FRM et transferts autorisés	

<u>Figure 56</u>: Protocole d'immobilisation et de protection après chirurgie de restauration de l'extension de coude selon la technique de Möberg. FRM: fauteuil roulant manuel, FRE: fauteuil roulant électrique [19].

ii. Rééducation

L'activation du néotriceps doit respecter l'équilibre entre l'extensibilité nécessaire pour retrouver une flexion du coude fonctionnellement utile et la contractilité attendue pour assurer une extension forte contre pesanteur. Elle doit aussi respecter des paliers de progression :

- 0 à 7 jours : seule la mobilisation articulaire du poignet et des chaînes digitales en passif et, si possible, en actif est effectuée.
- 2^{ème} et 3^{ème} semaines : certaines équipes démarrent précocement une dynamisation isométrique du transfert tendineux, afin d'entamer la prise de conscience de la contraction d'un muscle dérivé de sa fonction initiale et de lutter contre les adhérences [19]. Cette rééducation est associée à un travail de drainage mécanique de l'œdème par massages et postures en déclive, et un travail actif du poignet.
- 4^{ème} à la 8^{ème} semaine : l'objectif est de retrouver une flexion du coude par paliers hebdomadaires de 15° à 20°. Cette progression s'assure à chaque franchissement de palier d'une extension active du coude complète. Elle est associée au même travail de drainage, de lutte contre les adhérences et de mobilisation du poignet ; d'un travail de renforcement du néotriceps sur un mode concentrique.
- A partir de la 9^{ème} semaine, les principes de prise en charge intègrent la récupération optimale de toutes les amplitudes articulaires passives, notamment de l'épaule, mais également le renforcement musculaire du néotriceps à l'aide de charges de 2 à 3 kg. L'intégration du néotriceps dans les activités de la vie quotidienne est déterminante.

b. Rééducation après opération de Zancolli

La rééducation post-opératoire après la technique de Zancolli se distingue par les mesures suivantes :

- Une immobilisation dans une orthèse d'extension de coude non articulée, et non une orthèse thoraco-brachiale, pendant 3 à 4 semaines relayée ensuite par une orthèse articulée portée jusqu'à obtenir une flexion du coude à 90°. Pour ce type d'intervention, l'épaule doit être, au fauteuil et au lit, protégée de toute rétropulsion. La récupération progressive de la flexion du coude suit les mêmes modalités que pour la technique de Möberg.
- Un travail précoce de lutte contre les cocontractions et de dissociation des autres fléchisseurs du coude.

c. Rééducation de l'extension du poignet

En postopératoire, l'immobilisation est assurée par une orthèse maintenant le coude en flexion à 90° et le poignet de 20 à 30° d'extension pendant 3 semaines. La mobilisation passive est débutée après la 4ème semaine, le travail actif à partir de la 6ème semaine. D'autres auteurs [17] préconisent un travail en actif aidé à partir de la 3ème semaine. Aucun travail contre forte résistance n'est proposé avant la fin du 6ème mois. Seules des charges légères de 2 à 3 kg maximum sont préconisées.

Cette rééducation s'attache essentiellement à renforcer l'efficacité motrice du BR et à obtenir sa commande sélective. L'indicateur principal de réussite de cette procédure est la capacité du poignet à maintenir une position neutre lorsque la main est relâchée en flexion palmaire.

d. Rééducation de la fermeture et ouverture des doigts

Les protocoles sont moins codifiés, car les variantes sont nombreuses. Ils sont guidés cependant par trois principes :

i. Protection des transferts musculo-tendineux

La position de protection dans la contention en résine ou thermoplastique doit imposer aux transferts une détente maximale, en course interne :

- Lors du temps d'ouverture : le poignet est en extension de l'ordre de 20 ou 30° et la flexion des MCP est limitée par une butée sous P1 ;
- Lors du temps de fermeture : le poignet est en légère flexion palmaire de l'ordre de 10°, voire en position neutre, et l'extension des MCP est limitée par une MP Stop sur P1 (MCP en flexion de 30 à 45°).

Lors des séances de mobilisation articulaire, l'objectif est d'obtenir un libre glissement des tendons, de prévenir l'apparition d'adhérences et de récupérer les amplitudes articulaires.

- Lors du temps d'ouverture : la mobilisation passive des MCP en flexion est assurée, poignet en extension et celle du poignet en flexion palmaire est assurée, MCP en extension ;
- Lors du temps de fermeture : la mobilisation passive des MCP en extension est assurée, poignet en flexion palmaire et celle du poignet en extension est assurée, MCP en flexion, les doigts étant enroulés.

ii. Activation des transferts musculo-tendineux

L'activation est précoce, dans les 7 à 10 jours jusqu'à la fin de la 3^{ème} semaine, sous la forme de contractions prudentes de type isométrique. La résine doit donc être bivalvée, ce qui permet par la même occasion de surveiller l'état cutané et d'appliquer de la glace si nécessaire.

L'activation du transfert est poursuivie dès la 4^{ème} semaine en actif aidé puis en actif, toujours en position de protection. Un travail de renforcement progressif de l'extension du poignet y est associé.

L'activation du transfert par stimulation électrique fonctionnelle (SEF) est possible à partir de la 5^{ème} semaine seulement en cas d'importantes difficultés d'intégration de la nouvelle fonction motrice par le patient. Autrement, elle n'est proposée qu'à partir de la 7^{ème} semaine pour éviter tout risque de rupture. Elle est alors censée améliorer le glissement des tendons et augmenter la course passive et active. Cette SEF est alors appliquée de manière biquotidienne sur des durées courtes ne dépassant pas 15 à 20 minutes, en position de protection des transferts.

De la même façon, la stimulation vibratoire transcutanée associée à un retour d'information via du biofeedback peut s'avérer contributive dès la 5^{ème} semaine.

iii. Dissociation de l'activité des transferts musculo-tendineux

L'apprentissage des nouvelles préhensions doit aussi se faire précocement de manière dissociée afin que le réglage de la key-grip et du grasp se fasse indépendamment l'un de l'autre, mais aussi afin que

l'effet ténodèse, incontournable même en cas d'activation de la flexion des doigts et du pouce, n'intervienne qu'en fin de prise.

Les autres éléments de la prise en charge kinésithérapique et ergothérapique sont moins spécifiques et reposent sur :

- L'adaptation de l'environnement du patient et du fauteuil roulant électrique ;
- La lutte contre l'œdème par le positionnement en déclive au lit et au fauteuil et par des massages circulaires ;
- La reprise de la propulsion du fauteuil roulant manuel à partir de la 9^{ème} semaine postopératoire;
- La reprise des transferts sur les poings à la 9^{ème} semaine et sur les talons des poignets à la 10^{ème} semaine ;
- La rééducation posturale du membre supérieur et plus précisément de l'épaule ;
- L'adaptation des nouvelles fonctions gestuelles aux activités de la vie quotidienne.

8. <u>Transferts neuron</u>erveux

Ces transferts nerveux sont utilisables lorsque le segment sous-lésionnel est actif. Ils n'ont été décrits pour l'instant que pour des cas isolés, et le recul est pour le moment insuffisant.

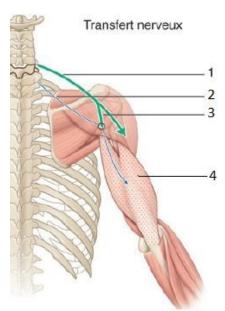
a. Extension du coude

Des transferts nerveux, prometteurs selon Y. Allieu [2], offrent d'autres alternatives à la réanimation du triceps brachial par transfert tendineux :

- Transfert du nerf du brachial antérieur sur le nerf du triceps ;
- Transfert du nerf circonflexe (un fascicule) sur le nerf radial;
- du nerf du petit rond sur le nerf de la longue portion du triceps (figure 57).

Cette dernière technique a réanimé l'extension des deux coudes chez un tétraplégique neuf mois après l'accident. Quatorze mois après l'opération, une extension complète des deux coudes cotée

à 4 sans préjudice fonctionnel pour l'épaule a été obtenue.



<u>Figure 57</u>: Transfert du nerf du petit rond sur le nerf de la longue portion du triceps. 1 : nerf circonflexe, 2 : nerf radial, 3 : nerf du petit rond, 4 : triceps [2].

b. Extension du poignet

Pour restaurer l'extension du poignet, le nerf du brachial antérieur a été transféré sur le nerf du court extenseur radial du carpe [2].

9. Réflexions sur la chirurgie du tétraplégique

Les auteurs estiment que 60 [34] à 75% [18] des personnes tétraplégiques pourraient bénéficier de la chirurgie fonctionnelle du membre supérieur. Or, seulement 10% [34] de ces personnes sont opérés. N'y a-t-il que la méconnaissance de cette chirurgie et le manque d'informations qui expliqueraient une telle différence ?

L'objectif de la chirurgie du membre supérieur chez le tétraplégique, est de redonner à la personne le maximum d'autonomie dans les activités de vie quotidienne. Ses attentes fonctionnelles doivent être réalistes, discutées au sein d'une équipe expérimentée. Un accompagnement psychologique est utile avant la décision opératoire afin de lever les malentendus sur les attentes irréalistes de certains patients [19]. La restauration de l'extension active du triceps ne permettra pas par exemple la réalisation des transferts si ceux-ci n'étaient pas acquis auparavant.

Cette chirurgie peut déboucher, par exemple, sur une indépendance urinaire avec la pratique des autosondages, une réinsertion socioprofessionnelle avec la reprise d'une écriture rapide et la facilitation des actes usuels de la vie quotidienne. La reprise de la conduite automobile, la pratique d'un sport comme la natation, le soulagement des points d'appuis en position assise, une meilleure propulsion du fauteuil roulant, l'ablation de certaines aides techniques, sont autant d'exemples de gains fonctionnels possibles après chirurgie, en fonction du niveau lésionnel initial. C'est une chirurgie gagnante, car elle n'a jamais entrainé d'aggravation fonctionnelle [3].

Mais cette chirurgie a un prix, trop coûteux pour certaines personnes.

En termes de perte d'autonomie tout d'abord. Le retour à l'hôpital, avec son lot de contraintes institutionnelles, peut être difficile à revivre pour certains. L'installation dans un fauteuil roulant électrique, l'obligation d'être nourri par un tiers, la dépendance pour la toilette et l'habillage, placent la personne tétraplégique dans une situation transitoire de régression fonctionnelle et de « surhandicap ». C'est une perte de liberté que certains ne sont pas prêts à accorder, même de manière momentanée.

Egalement en termes de coupure sociale et professionnelle. Les durées d'hospitalisation sont longues, et bien que le regroupement des temps opératoires soit de plus en plus pratiqué, le programme chirurgical nécessite bien souvent plusieurs opérations suivies à chaque fois de plusieurs mois de rééducation exigeante. La personne tétraplégique, se désociabilise de nouveau, interrompt ses éventuels projets professionnels. Une coupure géographique y est généralement associée afin d'intégrer un centre spécialisé dans cette chirurgie et sa rééducation, et ne permet pas à l'entourage social et familial des visites régulières.

En termes d'acceptation du handicap enfin. En effet, cette chirurgie est définitive, et certains patients ne sont pas prêts à modifier leur anatomie car ils sont dans l'attente de progrès dans la chirurgie médullaire. [26].

C'est pour cela que l'indication chirurgicale doit être établie en fonction de la demande fonctionnelle du patient, et sur l'investissement personnel qu'il est prêt à accorder, et non sur son niveau neurologique.

Les résultats fonctionnels restent cependant difficiles à évaluer car ils font intervenir des facteurs individuels différents pour chaque patient. Un outil commun d'évaluation des résultats est souhaitable pour progresser dans la diffusion des gains fonctionnels qu'offre la chirurgie. De même, le développement d'une prise en charge ambulatoire, au sein d'équipes spécialisées de plus en plus nombreuses, permettrait d'alléger le coût social et personnel à investir. La chirurgie du membre supérieur du tétraplégique trouverait peut-être dans ce cas un plus grand nombre d'adeptes.

CONCLUSION

La chirurgie du membre supérieur du tétraplégique fait partie des solutions thérapeutiques régulièrement proposées aux patients blessés médullaires, au même titre que les solutions orthétiques et technologiques de compensation. L'accès aux nouvelles technologies peut être une alternative à la chirurgie lorsque le niveau lésionnel de la personne tétraplégique est trop haut et qu'il n'y a aucune possibilité chirurgicale. Mais ces deux solutions ont plutôt tendance à être complémentaires. Elles sont en tout cas étroitement liées, la chirurgie pouvant offrir l'accès à certaines nouveautés technologiques, ou au contraire, permettant de réduire le nombre d'aides techniques indispensables au quotidien.

Ces deux volets essentiels de la prise en charge des conséquences de la tétraplégie s'intègrent dans un programme complet de traitement et de suivi qui a évolué de façon très rapide ces dix dernières années, à la faveur des avancées scientifiques dans les domaines médical et technologique.

Les perspectives d'avenir pour les deux domaines sont particulièrement prometteuses : robotique mobile et amélioration des technologies d'informations et de communications pour l'un, transferts neuronerveux et développement des techniques chirurgicales pour l'autre.

Annexes

	4	•	. •	. •	
A 1010 O XX O		1010	*** *** ***	1000 + 11100	segmentaire
Annexe		111111	- 1 (/ai i() ()	THOSE ICE	Seomeniane
7 111110710		11111	or vacioii	1110 11 100	505IIIOIIIuii C

Annexe 2 : Score Asia

Annexe 3 : Bilan de Sollerman

Annexe 4: Bilan des 400 points

Annexe 5: Capabilities of Upper Extremity (CUE)

<u>Annexe 6</u>: SCIM III (Spinal Cord Independence Measure)

Annexe 7 : Test de Lamb

Annexe 8 : Echelle des capacités motrices (ECM)

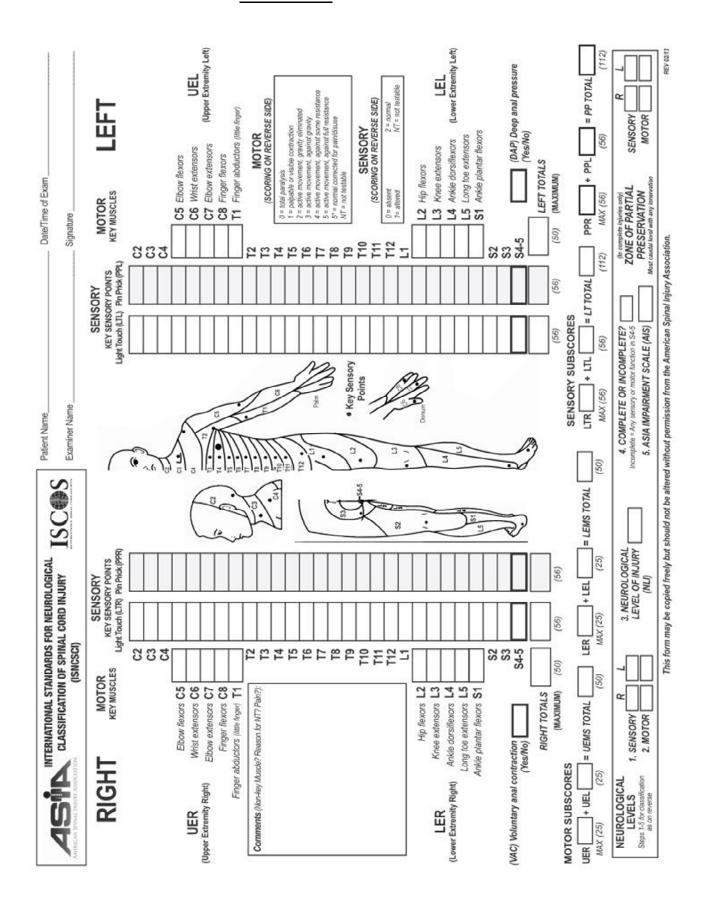
Annexe 9 : Grille d'évaluation des situations de handicap

Annexe 10 : Muscles donneurs, receveurs et programmes chirurgicaux

<u>Annexe 1</u>: Innervation motrice segmentaire [14]

	Innervat	ion motrice s	egmenta	ire du membr	e supérieur	
C4	C5		C6	C7	C8	D1
homboïde						
	Petit rond					
	Supra-épineux					
	Infra-épineux					
	Deltoïde					
	Dentelé antérieur					
	Grand rond					
	Biceps brachial					
	Brachial antérieur					
	Subscapulaire					
	Grand pectoral					
	Long supinated	ır				
	Supinateur					
	Peti	t pectoral				
	Cora	co-brachial				
	long	et court extenseur r	adial du carpe	•		
		Flé	chisseur ulnaire	e du carpe		
		Flé	chisseur radial	du carpe		
			Extense	eur commun des doigt	ts	
				eur ulnaire du carpe		
				eur propre du II		
			Extense	eur propre du V		
				tenseur du pouce		
				xtenseur du pouce		
				ducteur du pouce		
				brachial		
				Carré pronateur	'	•
				Fléchisseurs sup.	et profond des doid	ıts .
				Long fléchisseur du		
					nt du pouce	
					ducteur du pouce	
					chisseur du pouce	
					Court palmaire	<u>'</u>
					Abducteur du po	ouce
					Court fléch, du	
					Abducteur du V	
					Opposant du V	
					Interosseux	
				Lombricaux		

Annexe 2: Score ASIA



Muscle Function Grading

- = palpable or visible contraction
- 2 = active movement, full range of motion (ROM) with gravity eliminated
- 3 = active movement, tul ROM against gravity
- 4 = active movement, full ROM against gravity and moderate resistance in a muscle
- 5 = (normal) active movement, ful ROM against gravity and ful resistance in a
- 5* = (normal) active movement, full ROM against gravity and sufficient resistance to be considered normal if identified inhibiting factors (i.e. pain, disuse) were not present functional muscle position expected from an otherwise unimpaired person

C = Motor Incomplete. Motor function is preserved below

functions below the neurological level of injury (NLL) have a

muscle grade less than 3 (Grades 0-2).

the neurological level", and more than half of key muscle

Sensory Grading

be graded, amoutation of limb, or contracture of > 50% of the normal range of motion) NT = not testable (i.e. due to immobilization, severe pain such that the patient cannot

- 0 = Absent
- Altered, either decreased/impaired sensation or hypersensitivity
- 2 = Normal
- NT = Not testable

Non Key Muscle Functions (optional)

May be used to assign a motor level to differentiate AIS B vs. C

Movement	Root level
Shoulder: Pexion, extension, abduction, adduction, internal and external rotation. Elbows Supination	8
Elbow: Proration Wrist: Revion	93
Finger: Rexion at proximal joint, extension. Thumb: Rexion, extension and abduction in plane of thumb	20
Finger: Review at MOP joint Thumb: Opposition, adduction and abduction perpendituriar to palm.	8
Finger: Abduction of the index finger	F
Hip: Addudson	7
Hip. External rotation	ខ

INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY

7

Hip: Extension, abduction, internal rotation

Ankle: Inversion and eversion foe: MP and IP extension

Knee: Rexon

2 S

Hallux and Toe: DP and PIP flexion and abduction

Hallux: Adduction

Steps in Classification

The following order is recommended for determining the classification of Individuals with SOI.

A = Complete. No sensory or motor function is preserved in

the sacral segments S4-5.

ASIA Impairment Scale (AIS)

is preserved below the neurological level and includes the sacra

pressure) AND no motor function is preserved more than three

evels below the motor level on either side of the body.

segments S4-5 (light touch or pin prick at S4-5 or deep anal

B = Sensory Incomplete. Sensory but not motor function

Determine sensory levels for right and left sides.

The sensory level is the most caudal, intact dermatome for both pin prick and Aght touch sensation.

Determine motor levels for right and left sides.

supine testing), providing the key muscle functions represented by segments Defined by the lowest key muscle function that has a grade of at least 3 (on Note: in regions where there is no myotome to lest, the motor level is above that level are judged to be intact (graded as a 5).

presumed to be the same as the sensory level, if testable motor function above

that level is also normal.

3. Determine the neurological level of injury (NLI)

antigravity (3 or more) muscle function strength, provided that there is normal This refers to the most caudal segment of the cord with intact sensation and The NLI is the most caphalad of the sensory and motor levels determined in (intact) sensory and motor function rostrally respectively.

Determine whether the injury is Complete or Incomplete.

steps 1 and 2.

E = Normal. If sensation and motor function as tested with the

ISNCSCI are graded as normal in all segments, and the patient had prior deficits, then the AS grade is E. Someone without an

nitial SCI does not receive an AIS grade.

D = Motor Incomplete. Motor function is preserved below

the neurological level", and at least half (half or more) of key

muscle functions below the NLI have a muscle grade ≥ 3.

If voluntary anal contraction = No AND at S4.5 sensory scores = 0AND deep anal pressure = No, then injury is Complete il.e. absence or presence of sacral sparing) Otherwise, injury is Incomplete.

5. Determine ASIA Impairment Scale (AIS) Grade:

(2) sacral sensory sparing with sparing of motor function more than three levels below the motor level for that side of the body. The International Standards at this time allows even non-key musdle function more than 3

status, they must have either (1) voluntary anal sprincter contraction or

" For an individual to receive a grade of C or D, i.e. motor incomplete

evels below the motor level to be used in determining motor incomplete

status (AIS B versus C).

ZPP (lowest dermatome or myotome If YES, AIS=A and can record Is injury Complete? 9

on each side with some preservation)

(No=voluntary anal contraction OR motor function more than three levels below the motor level on a given side, if the patient has sensory incomplete Is injury Motor Complete? If YES, AIS=B 9

proportion of key muscle functions with strength grade 3 or greater) the

neurological level of injury is used.

side is used; whereas to differentiate between AIS C and D (based on

NOTE: When assessing the extent of motor sparing below the level for distinguishing between AIS B and C, the motor level on each

Are at least half (half or more) of the key muscles below the neurological level of injury graded 3 or better?

classification)



Mote: ASE is used in follow-up testing when an individual with a documented SCI has recovered normal function. If at initial testing no deficits are found, the individual is neurologically intact; the ASIA Impairment Scale does not apply If sensation and motor function is normal in all segments, AIS=E

<u>Annexe 3</u>: Test de préhension de Sollerman

Prénom :	
Prises autorise	es Test Préop Postop
1-2	1. Mettre la clé dans la serrure. La tourner à 90°
1	2. Prendre la monnaie sur la table, la mettre dans le
	porte-monnaie
1 - 2	3. Ouvrir puis fermer les fermetures Eclair
1	4. Prendre les pièces d'un porte-monnaie
4	5. Prendre les 2 cubes de la boice
б	6. Prendre le fer à repasser
5	7. Utiliser un tournevis
1-2-3	8. Visser les écrous sur les vis
7	9. Dévisser les 2 couvercies
1-2	10. Défaire les 4 boutons
3-3-B	11. Couper pâte à modeler avec couteau et fourchette
2-4-3	12. Enfiler le tubi-grip sur l'autre main
3	13. Ectire
2-4-3	14. Plier le papier, le mettre dans l'enveloppe
1-2-3	15. Mettre un trombone sur l'enveloppe
3	16. Décracher le combiné du téléphone et le porter à l'oreille
ó	17. Tourner la poignée à 90°
4	18. Verser l'eau du pack en carton
6	19. Verser de l'eau avec le pichet
1-2	20. Vider l'eau de la tasse
	Total/30
Согатіол	, ·
< 50 2.	4 Exécute le test normalement sans difficulté
20 à 40 s	1 Légère difficulté ou prise modifiée
40 à 60 s	2 Beaucoup de difficultés ou autre prise
>60 s	Exécute partiellement avec autre prise
	0 N'exècute pas le test
Prises autorisées	
10	
	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,
1	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,
	5 6 7

Annexe 4: Bilan 400 points

Fiche récapitulative Bilan 400 Points Nom: Prénom: date: Main dominante: main lésée : Résultats de la main lésée : Epreuve 1 - mobilité de la main : Epreuve 2 - force de préhension : Epreuve 3 - prise monomanuelle et déplacements d'objets : Epreuve 4 - fonction bimanuelle : Total des scores : 0,0 /400 Soit une utilisation de : 0,0%

Epreuve 1: fonction de la main et des doigts

	Epreuve 1: ionction de la main et	aes	s ao	ngts			
	m:		roit	е	G	aucl	he
Pre	enom: date:	points	coef.	score	points	coef.	score
1	Flexion des doigts		.3			3	
2	Extension des doigts		2			2	
3	Ecartement des doigts		3			3	
4	Rapprochement des doigts		2			2	
5	Adduction du pouce		2			2	
6	Ecartement du pouce		3			3	
7	Opposition du pouce		3			3	
8	Opposition contre résistance		2			2	
9	Pince latérale contre résistance		2			2	
10	Prise pleine main contre résistance diam 3mm>3 pt / diam 10mm>2pt diam20mm>1pt		3			3	
11	Pronation		3			3	
12	Supination		2			2	
	3 : mouvement normal et conforme 2 : normal mais lent ou dysharmonieux 1 : incomplet / exclusion / compensation 0 : impossible	tota droi			tota gaud		

Epreuve 2 : Force de préhension

Nom: Date:

Prénom:

, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,			
	Droite		Gauche
Vigorimètre		bar	
Dynamomètre de Collins		kg F	
Dynamomètre de Jamar 3éme cran		kg F	
Pinch Gauge		kg F	
Pince étau		mmHg	

Epreuve 3 : Prise mono-manuelle et déplacements d'objets

No	m:	Date:		1/2
Pr	énom:		Droite-	Gauche
1	Cube de 10 cm	44		
2	cube de 7,5 cm			
3	cube de 5 cm			
4	cube de 2,5			
5	cylindre de 10 cm			
6	cylindre de 4 cm	M. C.		
7	tourillon de 8 mm			
8	balle de tennis			
9	briquet électronique (prise et allumage)			
10	bille 25 mm			

Epreuve 3 : Prise mono-manuelle et déplacements d'objets

No	m:	Date:		1/2
Pr	énom:		Droite-	Gauche
1	Cube de 10 cm			
2	cube de 7,5 cm			
3	cube de 5 cm			
4	cube de 2,5			
5	cylindre de 10 cm			
6	cylindre de 4 cm	Me		
7	tourillon de 8 mm			
8	balle de tennis	43		
9	briquet électronique (prise et allumage)			
10	bille 25 mm	-		

Epreuve 3 : Prises mono-manuelles et déplacements d'objets

	2/2		Droite	Gauche
11	bille de 15 mm			
12	clef de serrure ouverture / fermeture			* .
13	pièce de 5 fr		ı	
14	pièce de 1 fr	3		1
15	pièce de 5 cts de fr	3		
16	clou			
17	fer à repasser			
18	verre	WITT TO THE PARTY OF THE PARTY		
19	verser en pronation			
20	verser en supination			
		total		
		temps en s		

Epreuve 4 : Fonction Bimanuelle

Nom: Date:

IVOI	II. Date:	
Pré	nom:	Score
1	couper 3 petits morceaux de pâte	
2	ouvrir et refermer une bouteille fermée	-
3	ouvrir et refermer un bocal	
4	dévisser et visser un écrou de 20 mm	
5	dévisser et visser un écrou de 4 mm	
6	défaire 3 boutons	
7	rattacher 3 boutons	
8	dénouer 3 nœuds	
9	refaire 3 nœuds	
10	enfiler une aiguille	
11	ouvrir une boîte d'allumettes, en sortir une fermer la boîte	
12	allumer et éteindre l'allumette sans souffler	
13	prendre et remettre de l'argent dans un porte- monnaie	
14	écrire une phrase de 15 mots	
15	tracer un trait	
16	plier la feuille sur le trait	
17	déchirer la feuille sur la pliure	
18	couper une bande de 20cm de carton 1mm	
19	couper 3 morceaux de cuivre à la pince coupante	
20	déchirer un journal 32 épaisseurs	
	Total	
		- Language and the same and the

<u>Annexe 5</u>: Capabilities of Upper Extremity (CUE)

	Membre supérieur gauche	Membre supérieur droit
Atteindre un objet et le soulever vers l'avant		
2 Atteindre un objet et le soulever vers le haut		
3 Atteindre un objet et le soulever vers le bas		
4 Tirer un objet léger vers soi		
5 Tirer un objet lourd (5 kilos) vers soi		
6 Pousser un objet léger loin de soi		
7 Pousser un objet lourd (5 kilos) loin de soi		
8 Étendre le poignet vers le haut (extension)		
9 Tourner le poignet, paume de la main vers le bas (pronation)		
10 Prise de force (par exemple un marteau)		
11 Pince termino-terminale		
12 Pince termino-latérale		
13 Prise d'ouverture (ouvrir un bocal)		
14 Manipuler un petit objet		
15 Presser avec l'index (par exemple sonner à la porte)		
Sous total A:		B:
Les 2 membres supérieurs		
16 Soulever un poids de 2,5 kg au dessus de la tête		
17 Pousser vers le bas pour se soulever de la chaise (push-up et transfert du poids)		
Sous total C:		

Grille de cotation

- 7 : Illimité
- 6: Un petit peu limité
- 5 : Quelques limites
- 4 : Modérément limité
- 3 : Très limité
- 2 : Extrêmement limité
- 1 : Totalement limité, ne peut rien faire

Score total = Score A + B + C

Interprétation

Score total minimum : 32Score total maximum : 224

- Plus le score est haut plus la fonction motrice du membre supérieure est élevée

Questionnaire des capacités du membre supérieur

Lisez les instructions suivantes au patient et assurez-vous qu'il (ou elle) comprenne bien les réponses types mentionnées ci-dessous avant de débuter le questionnaire.

Ce questionnaire a été élaboré afin de nous renseigner sur ce dont vous êtes capable de faire à l'aide de vos bras et de vos mains. Je vais vous poser des questions à propos de différents mouvements, qui chez certaines personnes lésées médullaires peuvent être limités. S'il vous plait, veuillez considérer lors d'un jour normal, si vous avez des difficultés ou bien que vous soyez limité pour accomplir ces actions. Par difficultés ou problèmes pour accomplir une action, je veux dire tout empêchement qui grève le nombre d'actions utiles que vous souhaitez faire au cours de la journée et qui permettent l'accomplissement des activités journalières. Pour chaque question, veuillez considérer seulement la partie spécifique que représente votre bras ou votre main. Par exemple, s'il vous est demandé de tirer quelque chose avec votre bras, ne vous souciez pas de savoir si vous êtes capable de l'attraper avec votre main. Choisissez une des réponses suivantes afin d'indiquer le degré de votre déficience, s'il y en a une.

- 7 : Illimité
- 6 : Un petit peu limité
- 5 : Quelques limitations
- 4 : Modérément limité
- 3 : Très limité
- 2 : Extrêmement limité
- 1 : Totalement limité, ne peut rien faire

Les questions suivantes évoquent vos capacités d'atteindre ou de soulever :

- Lorsqu'il vous vient à l'esprit d'étendre le bras afin de toucher quelque chose situé devant vous à hauteur d'épaule :
 - a. En utilisant votre BRAS DROIT, de combien ce mouvement est-il limité ?
 - b. En utilisant votre BRAS GAUCHE, de combien ce mouvement est-il limité?
- 2. Lorsqu'il vous vient à l'esprit de lever votre bras au dessus de votre tête, le coude tendu :
 - a. En utilisant votre BRAS DROIT, de combien ce mouvement est-il limité ?
 - b. En utilisant votre BRAS GAUCHE, de combien ce mouvement est-il limité ?
- Lorsqu'il vous vient à l'esprit de baisser le bras afin d'atteindre le sol et ensuite de vous redresser sur votre siège, sans s'accrocher avec votre autre bras ou de l'utiliser afin de vous redresser :
 - a. En utilisant votre MAIN DROITE, de combien ces mouvements sont-ils limités ?
- b. En utilisant votre MAIN GAUCHE, de combien ces mouvements sont-ils limités ?
- 4. Lorsqu'il vous vient à l'esprit de soulever un objet de plus de 2 kilos comme une grosse couverture au dessus de votre tête au moyen de vos deux bras (ne vous inquiétez pas si vous êtes dans l'impossibilité de l'attraper avec vos mains, il s'agit seulement de savoir s'il vous est possible de soulever quelque chose de ce poids au dessus de votre tête) :
 - En utilisant vos DEUX BRAS, de combien ce mouvement est-il limité ?
- 5. Lorsqu'il vous vient à l'esprit de tirer ou de faire glisser (sans le prendre) un objet léger posé devant vous sur une table, tel qu'une canette de soda :
 - a. En utilisant votre BRAS DROIT, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité?
 - b. En utilisant votre BRAS GAUCHE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
- 6. Lorsqu'il vous vient à l'esprit de tirer ou de faire glisser (sans le prendre) un objet lourd (de 5 Kg environ) posé devant vous sur une table :
 - a. En utilisant votre BRAS DROIT, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité? b. En utilisant votre BRAS GAUCHE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité?
- 7. Lorsqu'il vous vient à l'esprit de poussez loin de vous un objet léger posé sur une table,
 - comme une canette de soda :

 a. En utilisant votre BRAS DROIT, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
- b. En utilisant votre BRAS GAUCHE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
- Lorsqu'il vous vient à l'esprit de pousser loin de vous un objet lourd (de 5 Kg environ) posé sur une table :
 - a. En utilisant votre BRAS DROIT, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité?
 b. En utilisant votre BRAS GAUCHE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité?
 - Lorsqu'il vous vient à l'esprit de vous propulser à l'aide de vos deux bras afin de décoller
- les fesses (des deux côtés) de votre siège (comme un mouvement d'haltérophilie) :

 De combien pour faire cette chose êtes-vous limité?

Les questions suivantes évoquent les mouvements et le positionnement de votre bras et de votre poignet :

- 10. Avec vos mains posées sur vos genoux, la paume vers le sol, pensez-vous que relever vos mains tout en maintenant vos avant-bras sur vos cuisses :
 - a. En utilisant votre MAIN DROITE, de combien ce mouvement est-il limité ?
 - b. En utilisant votre MAIN GAUCHE, de combien ce mouvement est-il limité?
- 11. Lorsqu'il vous vient à l'esprit de tourner vos mains à partir d'une position de départ, la paume regardant le ciel pour qu'ensuite celle-ci regarde le sol, le coude fléchi contre le thorax (chez certain il existe des mouvements du bras spontanés lorsqu'on tourne le bouton d'une porte on l'on compose un numéro sur un cadran):
 - a. En utilisant votre BRAS DROIT, de combien ce mouvement est-il limité ?
 - b. En utilisant votre BRAS GAUCHE, de combien ce mouvement est-il limité?

Les questions suivantes évoquent les possibilités d'utilisation de vos mains et de vos doigts :

- 12. Lorsqu'il vous vient à l'esprit d'attraper et de tenir avec votre main un objet, comme un marteau :
 - a. En utilisant votre BRAS DROIT, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
 - b. En utilisant votre BRAS GAUCHE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité?
- 13. Lorsqu'il vous vient à l'esprit le fait de ramasser un petit objet tel qu'un trombone, le bouchon d'un tube de dentifrice à l'aide de l'extrémité de votre pouce associé à votre index et à votre majeur :
 - a. En utilisant votre MAIN DROITE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
 - b. En utilisant votre MAIN GAUCHE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
- 14. Lorsqu'il vous vient à l'esprit de pincer et de tenir un objet entre votre pouce et le coté de votre index, comme par exemple une clef:
 - a. En utilisant votre MAIN DROITE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
 - b. En utilisant votre MAIN GAUCHE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
- 15. Lorsqu'il vous vient à l'esprit la prise d'un gros objet comme le couvercle d'un grand pot de mayonnaise d'un kilo avec le bout des doigts de façon assez forte afin que vous puissiez soulever le pot voire dévisser le couvercle :
 - a. En utilisant votre MAIN DROITE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
 - b. En utilisant votre MAIN GAUCHE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
- 16. Lorsqu'il vous vient à l'esprit l'usage de vos doigts afin de manipuler des objets, comme par exemple tenir une pièce de monnaie et la faire tourner avec vos doigts :
 - a. En utilisant votre MAIN DROITE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
 - b. En utilisant votre MAIN GAUCHE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
- 17. Lorsqu'il vous vient à l'esprit de presser sur quelque chose avec la pulpe de votre index (pas l'articulation) comme par exemple appuyer sur une touche de téléphone ou sur le bouton d'une sonnette :
 - a. En utilisant votre MAIN DROITE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?
 - b. En utilisant votre MAIN GAUCHE, de combien pour faire cette chose êtes-vous limité ?

<u>Annexe 6</u>: SCIM III (Spinal Cord Independence Measure)

La Spinal Cord Independence Measure (SCIM) s'adresse aussi bien au paraplégique qu'au tétraplégique. Elle couvre 4 domaines fonctionnels : les soins personnels, la respiration, le contrôle sphinctérien et la mobilité. Elle est composée de 16 rubriques. Le score minimum est de 0 et le score maximum de 100. Toutes les qualités métrologiques sont réunies pour faire de ce test, l'outil de référence de l'évaluation des aptitudes fonctionnelles globales du blessé médullaire.

Dat	es
SOI	NS PERSONNELS
1. à la	Alimentation (couper la viande, ouvrir une boîte, tenir un gobelet plein, verser du liquide, porter les aliments bouche)
0	Nutrition parentérale, gastrotomie ou assistance totale pour alimentation orale
1	Assistance partielle pour manger et/ou boire, ou pour aliments coupés, assiette et couverts adaptés, incapable de tenir un gobelet
2	Indépendant pour manger, besoin d'AT ou assistance seulement pour couper les aliments et/ou verser et/ou ouvrir une boite)
3	Indépendant dans toutes les tâches sans assistance ou AT
2.	Toilette (utiliser le savon, manipuler les robinets, se laver, se sécher le corps et la tête)
	A. Partie supérieure du corps
0	Assistance totale
1	Assistance partielle
2	Indépendant avec AT ou installation spéciale
3	Indépendant sans AT ni installation spéciale
	B. Partie inférieure du corps
0	Assistance totale
1	Assistance partielle
2	Indépendant avec AT ou installation spéciale
3	Indépendant sans AT ni installation spéciale
3	Habillage (préparation des habits, habillage, déshabillage, chaussage, mise en place des orthèses permanentes) A. Partie supérieure du corps
0	Assistance totale
1	Assistance partielle pour avec les vêtements sans boutons, fermetures éclairs ou lacets (vsbfl)
2	Indépendant pour vsbfl; besoin AT et/ou installation spéciale
3	Indépendant pour vsbfl ; pas besoin AT et/ou installation spéciale sauf pour bfl
4	Indépendant (pour tout type de vêtement) sans AT et/ ou installation spéciale
	B. Partie inférieure du corps
0	Assistance totale
1	Assistance partielle pour avec les vêtements sans boutons, fermetures éclairs ou lacets (vsbfl)
2	Indépendant pour vsbfl ; besoin AT et/ ou installation spéciale
3	Indépendant pour vsbfl ; pas besoin AT et/ou installation spéciale sauf pour bfl
4	Indépendant (pour tout type de vêtement) sans AT et/ou installation spéciale

- 4 Soins d'apparence (se laver les mains et le visage, se coiffer, brossage des dents, rasage, maquillage)
- O Assistance totale
- 1 Assistance partielle
- 2 Indépendant avec AT
- 3 Indépendant sans AT

Sous total (0-20)

RESPIRATION ET CONTROLE SPHINCTÉRIEN

- 5. Respiration
- O Sonde trachéale (ST) et ventilation assistée (VA) permanente ou intermittente
- Respire spontanément avec ST; besoin oxygène, assistance pour tousser et soins trachéaux
- 4 Respire spontanément avec ST + peu d'assistance pour tousser ou soins trachéaux
- 6 Respire spontanément sans ST + besoin d'oxygène et soins importants pour tousser, un masque ou VA
- 8 Respire sans ST; besoin d'un peu d'assistance mécanique pour tousser
- 10 Respiration normale sans aide ou AT
- 6. Contrôle vésico-sphinctérien Vessie
- 0 Sonde urinaire à demeure
- 3 Résidu post mictionnel (RPM) > 100 cc, pas de sonde, pas de SI
- 6 RPM <100 cc, ou auto sondages intermittents, aide nécessaire pour vidange vésicale
- 9 Auto sondages intermittents < 100 cc, utilise une AT pour vidange vésicale sans assistance
- 11 Auto sondages intermittents, continent entre les sondages, sans AT
- 13 RPM < 100 cc, vidange vésicale externe uniquement sans aide
- 15 RPM < 100 cc, totalement continent sans vidange vésicale
- 7. Contrôle sphincter anal
- O Évacuation des selles inappropriées, ou irrégulières, ou fréquence < à 1 fois/3j
- 5 Évacuation régulière et adaptée avec assistance (ex : mise du suppo), rares fuites (< 1 fois/mois)</p>
- 8 Évacuation régulière et adaptée sans assistance, rares fuites (< 1 fois/mois)
- 10 Évacuation régulière sans assistance pas d'accidents
- 8. Utilisation des toilettes (hygiène périnéale, déshabillage, rhabillage, utilisation de couches ou de serviettes périodiques)
- 0 Besoin d'assistance totale
- 1 Assistance partielle, ne peut se laver seul
- 2 Assistance partielle, peut se laver seul
- 4 Indépendant dans toutes les tâches, nécessite AT ou installation spéciale
- 5 Indépendant sans AT ni installation spéciale

Sous total (0-40)

MOBILITÉ (Chambre et Toilettes)

- 9. Mobilité dans le lit et prévention des points d'appui
- O Besoin d'assistance totale dans toutes les activités : tourner le haut et bas du corps dans le lit, s'asseoir, push-up en fauteuil, avec ou sans AT, mais sans aides électriques
- 2 Peut accomplir une de ces activités sans aide
- 4 Peut accomplir deux ou trois activités sans aide
- 6 Totalement indépendant pour toutes les activités de mobilité dans le lit et prévention des points d'appui

- 10. Transferts lit-fauteuil roulant (bloquer le fauteuil, soulever les appuis-pieds, enlever et ajuster les repose-bras, transfert, lever les pieds) Besoin d'assistance totale 0 1 Besoin d'assistance partielle et/ou surveillance et/ou AT (ex : planche de transfert) Indépendant (ou n'a pas besoin de fauteuil roulant) 2 11. Transferts fauteuil roulant-W.C. (bloquer le fauteuil, soulever les appuis-pieds, enlever et ajuster les repose-bras, transfert, lever les pieds) Besoin d'assistance totale 1 Besoin assistance partielle et/ou surveillance ou aménagement (ex : barre d'appui) Indépendant (ou n'a pas besoin de fauteuil roulant) DÉPLACEMENTS (à l'intérieur et à l'extérieur, sur surfaces planes) 12. Déplacements à l'intérieur (courtes distances) Assistance totale 0 A besoin d'un FRE ou d'une aide pour déplacer le FRM 1 Se déplace seul avec un FRM Surveillance pour la marche (avec ou sans AT) Marche avec déambulateur ou cannes anglaises (swing) Marche avec 2 cannes anglaises ou cannes simples (marche réciproque) Marche avec 1 canne simple Utilise seulement une orthèse 8 Marche sans AT 13. Déplacements sur distances moyennes (10 - 100 m) Assistance totale A besoin d'un FRE ou d'une aide pour déplacer le FRM 1 2 Se déplace seul avec un FRM Surveillance pour la marche (avec ou sans AT) 3 Marche avec déambulateur ou cannes anglaises (swing) 5 Marche avec 2 cannes anglaises ou cannes simples (marche réciproque) Marche avec 1 canne simple Utilise seulement une orthèse 7 Marche sans AT 14. Déplacements à l'extérieur (> 100 m) Assistance totale A besoin d'un FRE ou d'une aide pour déplacer le FRM Se déplace seul avec un FRM Surveillance pour la marche (avec ou sans AT) Marche avec déambulateur ou cannes anglaises (swing) Marche avec 2 cannes anglaises ou cannes simples (marche réciproque) 5 Marche avec 1 canne simple 7 Utilise seulement une orthèse 8 Marche sans AT 15. Escaliers 0 Incapable de monter ou descendre des escaliers 1 Monte et descend au moins 3 marches avec aide ou surveillance d'un tiers 2 Monte et descend au moins 3 marches avec appui d'une rampe et / ou canne 3 Monte et descend au moins 3 marches sans aucun appui ni surveillance Transferts fauteuil roulant - voiture (accéder à la voiture, bloquer le fauteuil roulant, enlever
- les appuis-pieds et repose-bras, transfert fauteuil roulant-voiture, mettre/sortir le fauteuil roulant)
- Besoin d'assistance totale
- 1 Besoin d'assistance partielle et / ou surveillance et / ou aide technique
- 2 Indépendant sans aide technique
- 16. Transferts fauteuil roulant-sol
- Besoin d'assistance totale
- Indépendant pour les transferts avec ou sans AT

Sous total (0-40)

TOTAL (sur 100)

AT: aide technique / FRM: fauteuil roulant manuel / FRE: fauteuil roulant électrique / RPM : résidu post-mictionnel

Annexe 7 : Test de Lamb

Date				Date			
Activités	Pré op	Post op	Post op	Activités	Pré op	Post op	Post of
Transfert – Se soulever de son siège – FR-lit				Repas - Utiliser un couvert - Couper la viande - Prendre un verre			
Déplacement — Propulsion terrain plat — Propulsion pente douce — Conduite de voiture				Habillage – Le haut – Le bas			
Toilette — Se laver. S'essuyer le haut — Se laver. S'essuyer le bas — Entrer, sortir de la baignoire — Se brosser les dents				Communication Téléphone Écriture, main, machine Manipuler l'argent			
– Se coiffer – Se raser. Se maquiller				Divers - Préparer un repas sandwich - Atteindre une étagère haute			
- Se percuter - Aller à la selle				Ouvrir, fermer un tiroir Manipuler un bouton			
				(TV-radio)			

Notation: Très bien: 4; Assez bien: 2; Mauvais: 0. Évaluation: 90: Excellent; 70/89: Satisfaisant; 50/69: Moyen; 50: Médiocre.

<u>Annexe 8</u> : Echelle des capacités motrices

Nom du patient : Nom de l'ergothérapeute :	Pré- Post- Opératoire Opératoire	
	Date: / / Date: / /	
TRANSFERTS	Eche	Echelle de cotation pour les items 1 à 15
Mettre ses jambes sur un plan situé au niveau de l'assise du fauteuil roulant	5: nı aı 4: aide	5: ni aide humaine ni aide technique 4: aide technique exclusive
2 Se transfèrer du plan au fauteuil roulant et du fauteuil roulant au plan, jambes pendantes et/ou jambes allongées	3: surv 2: aide 1: aide	3s surveillance humaine avec ou sans aide technique 2: aide humaine partielle 1: aide humaine exclusive
POSITIONNEMENT SUR PLAN DE BOBATH	Se réfe	Se référer aux instructions
3 Déplacer latéralement le bassin, en position assise, membres inférieurs allongés		
4 Se mettre en tailleur		
5 Se retourner, sur le plan, de la position ventrale ou latérale à la position dorsale et inversement	Rem	Remarques:
6 Passer de la position allongée sur le dos à la position assise au bord du plan		
POSITIONNEMENT AU FAUTEUIL ROULANT		
7 Déplacer les fesses en avant et en arrière		
8 Décoller les fesses de l'assise		
9 Croiser les jambes		
10 Positionner ses pieds sur les repose-pieds		
11 Se redresser depuis une position penchée en avant, aidé des membres supérieurs		
DEAMBULATION		
en fauteuil roulant manuel		
12 Se déplacer en terrain plat	Echel	Echelle de cotation uniquement pour les items 16 et 17
13 Mettre et enlever les accoudoirs ou protège-vêtements	S: possi	5: possible avec joystick standard sans orthèse de maintien du poignet 4: nossible avec inverick standard avec orthèse de maintien du noi met
14 Mettre et enlever les freins	ssod no	ou possible avec joystick adapté et/ou orthèse de maintien du poignet
15 Se mettre sur les 2 roues arrière et maintenir l'équilibre	3: possi	3: possible avec joystick adapté ou standard mais support pour l'avant-bras 2: nossible avec commande ou contacteur à la rêre (quelque soit la modalité)
en fauteuil roulant électrique	1: impo	1: impossible
16 Se déplacer en terrain plat		
17 Utiliser les commandes		
Score total: A	4	Co roforor any instructions

	APTITUDES MOTRIC D'EXPLORATION Potient(s) on foutavil rou		F	ré-	opér	atoire	I	Post	-opé	ratoire	
	Patient(e) en fauteuil rou	lant	Dat	te:	/ /		Dat	te:	/ /		
18 c	ôté droit: Toucher une cible prédétermin	née					1				
500	ôté gauche: Toucher une cible prédétern		1								Echelle de cotation
	Score total aptit		rat	ion	. R						-2:réalisé 1:non réalisé
	~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~										2.Mon reunse
***********	APTITUDES MOTRICES PREHENSION	S DE	1	Pré-	oire	sion		Post érate		sion	Remarques:
	Patient(e) en fauteuil rou	lant	Dat	te:	//	éhen	-	te:		éhen	
		Objets	ATTRAPER	TENIR	LACHER	Score par type de préhension	ATTRAPER	TENIR	LACHER	Score par type de préhension	
	Types de préhension	"étalon"									-
MA 20	IN DROITE Grasp	canette	Т				T	Г			-
21	Grasp	bouteille	+-	_		10.50	-		-		-
22	······································	carte à jouer	+				+	-			
23		stylo	-						8.		
24	Key grip	fourchette	-								-
25		tablette au chocolat	-								
	Score total aptitudes m		dre	oite	: C		1.				
MA	IN GAUCHE										
26	Grasp	canette					1				
27		bouteille									
28		carte à jouer	-								
29		stylo									
30	Key grip	fourchette				Model Mark				****	10.4
31		tablette au chocolat									
9	Score total aptitudes mo	trices main g	auc	che	: D			1			
		Was not to the			1000				1		
E	Schelle de cotation ATTRAPER	Echelle o									cotation LACHER
	une seule main sans compensation	4:avec une seu compensation	ıle m	nain	san					une seul sation	e main <u>sans</u>
compe	e une seule main <u>avec</u> ensation(pronation ou supination)	3:avec une set compensation supination)	(proi	natio	on o	<u>c</u> u		cor sup	npen	isation(j ion)	e main <u>avec</u> pronation ou
	c aide buccale ou de l'autre main ou avironnement	2:avec aide de l'environneme		tre 1	nair	ou de				aide buc environ	ccale ou de l'autre mai nement
1:l'obj	et ne peut être attrapé	1:l'objet ne pe	ut êt	re te	enu			1:1'	obje	t ne peu	t être lâché
	SCOR	RE TOTAL A	(+ <i>B</i>	+0	'+ D				=		

<u>Annexe 9</u>: Grille d'évaluation des situations de handicap

SOINS D'HYGIENE ET D'EXONERATION	-r	Val	Valeur de l'habitude de vie	le vi		réal	isa	Niveau de réalisation		Type d'aide requise	pe d'aid requise	e e		_ ×	Niveau de satisfaction	fact	de lion		nesit
Postopératoire Date: //	Importante sans aide	humaine Importante avec aide	humaine partielle Importante avec aide	humaine totale Non importante ou Ne	me concerne pas	Réalisé sans difficulté	Réalisé avec difficulté	Réalisé par un tiers Non réalisé	Sans aide	Aide technique	Aménagement		Aide humaine	Très satisfait(e) Satisfait(e)	Peu satisfait(e)		Insatisfait(e) Très insatisfait(e)	Pas de jugement	Situation de hanc
	4	3	7		7	4	3 2	_	4	3	71	_	9	S	4	3	7	_	Score
																	-	-7:40	
2 Laver les cheveux																			
Laver et sécher les bras, les aisselles, le torse et le visage																			
4 Laver et sécher les organes génitaux externes														_		-			
5 Se laver les mains																-			
SOINS D'APPARENCE	4	3	4	-	4	4 3	2	_	4	3	7	_	9	S	4	3	7	_	Score
6 Appliquer un déodorant et/ou se parfumer																			
																\dashv	-		
8 S'épiler et/ou se raser																			
9 Couper les ongles des mains et/ou des pieds																	_		
AUTRES SOINS D'HYGIENE	4	3	7	-		4	3 2	_	4	3	7	_	9	S	4	3	7	_	Score
10 Mettre et enlever une serviette hygiénique et/ou un tampon																			
EXONERATION VESICALE	4	3	7	_	7	4	3 2		4	3	7	_	9	N	4	3	7	_	Score
11 Uriner par percussion																			
12 Uriner par sondage intermittent par voie naturelle																		E	
Uriner par sondage intermittent sur cystostomie ou uriner par stimulateur électrique																		•	
14 Mettre en place un étui pénien ou une poche de stomie															1	-			
15 Vider une poche de vidange urinaire (sonde à demeure)																_			
EXONERATION INTESTINALE	4	3	7	_	7	4 3	71	_	4	3	4	_	9	w	4	3	7	_	Score
16 Faire un toucher rectal															1	\dashv			
17 Mettre un suppositoire et/ou un mini-lavement			.57													0000	_		

HABILLAGE /DESHABILLAGE ET ACTIVITES DOMESTIQUES	Val	Valeur de l'habitude Niveau de de vie réalisation	de l'hab de vie	itude	Z S	Niveau de réalisation	ati	le	Typ	Type d'aide requise	ide	ž	Niveau de satisfaction	de s	atisf	actic	п	
Préopératoire Date : // Date : //	Importante sans aide	Importante avec aide humaine partielle	Importante avec aide humaine totale	Non importante ou Ne me concerne pas	Réalisé sans difficulté	Réalisé avec difficulté	Réalisé par un tiers	Non réalisé	Sans side	Aide technique Amentenspanent	Aide hunaine	Très satisfait(e)	Satisfait(e)	Peu satisfait(e)	(e) Insatisfait(e)	Très insatisfait(e)	Pas de jugement	Situation de handicap
HABILLAGE/DESHABILLAGE	4	3	7	1	4	3	7	,	4 3	7	1	9	5	4	3	2	1	Score
18 Mettre et enlever les gants habituellement portés																		
19 Mettre et enlever des vêtements passés par le haut																		
20 Mettre et enlever des vêtements passés par le bas																		
21 Mettre et enlever le soutien-gorge																		
22 Mettre des chaussettes			1															
23Boutonner																		
PREPARATION ET PRISE D'UN REPAS	4	3	2	1	4	3	7	1 7	4 3	7	1	9	w	4	3	7	-	Score
24 Ouvrir une bouteille neuve avec un bouchon vissé																		
25 Se servir à boire																		
26 Se servir à manger	. 4																	
27 Manger avec couverts			-										-					
28 Couper un aliment dans l'assiette avec un couteau																		
29 Attraper les aliments dans le réfrigérateur et/ou congélateur												7						
AUTRES TACHES DOMESTIQUES	4	3	7	1	4	3	7	1 4	3	7	-	9	S	4	3	7	1	Score
30 Retirer de l'argent avec carte bancaire à un guichet automatique																		
31 Utiliser une clé pour ouvrir une porte													•					

Situation de handicap	Score			core					ou ou				
Pas de Jugement		-	-	-	-	-	+	-	0	2	-	-	-
			-	1	1	-	-	-	1	-	+	-	+
			-	_	+	+	+	1	-	-	+	100 1/8	+
	_		1	+	+		+	+	_	_	+	+	+-
Satisfait(e)				w	-		+	1	-	-	+	+	-
Très satisfait(e)	9			9						_	1		
Aide humaine	-			-						100000			
	~			N					7	ı			
	3			3					1				
Sans aide	4			4					4				
	1			П					-				
Réalisé par un tiers	7			17					7				
Réalisé avec difficulté	3			3					3				
Réalisé sans difficulté				4									
Non importante ou Ne me	1			-					1				
inportante avec aide humaine	7			~					7				177.000
partielle	3			3					8				
Importante sans aide humaine	4			4		4.			4	+	-		
Préopératoire Date: / / Date: / /	SATION DU FAUTEUIL ROULANT MANUEL OU ELECT	er et descendre d'un trottoir	ppulser en terrain accidenté	CEMENTS EN VOITURE	er un transfert fauteuil roulant/voiture et un transfert voiture/fauteuil roulant	er et sortir le fauteuil roulant du véhicule	la ceinture et/ou le harnais	ire un véhicule	UNICATION		r un ordinateur: clavier / souris	une disquette et/ou un CD Rom dans un ordinateur	41 Tourner les pages d'un livre et/ou d'une revue
	Date: Date:	ON DU FAUTEUIL ROULANT MANUEL OU ELECTRIQUE Date: Date:	Postopératoire Date: Date: D	Date: Date:	Date: Da	Date: / Date:	m transfert voiture/fauteuil roulant ANT MANUEL OU ELECTRIQUE A Importante sans aide humaine Bartielle Concerne pas Concern	Date: Da	Postoperatoire Date: / Date: / Date: / FAUTEUIL ROULANT MANUEL OU ELECTRIQUE Importante avec aide humaine Introtoir Incoidente A Mon importante avec aide humaine Introtoir Incoidente A Mon importante avec aide humaine Introtoir Incoidente A Mon importante avec aide humaine Introtoir Introtoi	um transfert voiture/fauteuil roulant ANT MANUEL OU ELECTRIQUE ANT MANUEL OU ELECTRIQUE A Importante sans aide humaine Inportante saus aide humaine Bartielle Concerne pas Concer	Postoperatoire Date: / Date: / FAUTEUIL ROULANT MANUEL OU ELECTRIQUE Importante sares aide humaine Importante savec aide humaine Importante savec aide humaine Importante sares aide ingement Importante sares aide sares aide ingement Importante sares aide sares ai	Postopératoire Date:: / / FAUTEUIL ROULANT MANUEL OU ELECTRIQUE FAUTEUIL ROULANT MANUEL OU ELECTRIQUE Importante sares aide humaine Importante sares aide humaine	dans un ordinateur dans u

Annexe 10: Muscles donneurs, receveurs et programmes chirurgicaux

Classification de Giens										Objectifs chirurgicaux de restauration, de correction et de stabilisation
Groupe 0	BR	ECRL	ECRB	PT	FCR	EDC	EPL	FDP	FPL	Correction d'une attitude en supinatus et autres attitudes
×						72				vicieuses
Groupe 1	BR	ECRL	ECRB	PT	FCR	EDC	EPL	FDP	FPL	Idem + extension active du coude/flexion dorsale poignet/
	ECRB					Ténodèse	Ténodèse		Ténodèse	Ouverture passive des doigts/key-grip passive de ténodèse
Groupe 2	BR	ECRL	ECRB	PT	FCR	EDC	EPL	FDP	FPL	Extension active du coude/ouverture passive des
	FDP ou FPL	S				Ténodèse	Ténodèse		Ténodèse	doigts/key-grip passive de ténodèse et grasp actif ou key- grip active isolée
Groupe 3	BR	ECRL ou l	ECRB	PT	FCR	EDC	EPL	FDP	FPL	Extension active du coude/ouverture passive des
	FPL	FDP			Ú.	Ténodèse	Ténodèse			doigts/key-grip et grasp actifs
Groupe 4	BR	ECRL ou	ECRB	PT	FCR	EDC	EPL	FDP	FPL	Extension active du coude/ouverture passive des
2		FDP		FPL		Ténodèse	Ténodèse			doigts/key-grip et grasp actifs/stabilisation intrinsèque
Groupe 5	BR	ECRL	ECRB	PT	FCR	EDC	EPL	FDP	FPL	Extension active du coude ±/ouverture active des
	EDC/EPL	FDP		FPL						doigts/key-grip et grasp actifs/stabilisation intrinsèque
Groupe 6	BR	ECRL	ECRB	PT	FCR	EDC	EPL	FDP	FPL	Key-grip et grasp actifs
2	Lasso de Z	FDP		FPL			Ténodèse			Stabilisation intrinsèque ± activé
Groupe 7	BR	ECRL	ECRB	PT	FCR	EDC	EPL	FDP	FPL	Key-grip et grasp actifs +- transfert d'opposition du l
2	Lasso de Z	FDP		FPL						Stabilisation intrinsèque ± activé
Groupe 8	BR	ECRL	ECRB	PT	FCR	EDC	EPL	FDP	FPL	Transferts d'opposition ou d'antepulsion du l
	Lasso de Z	10		FPL					8	Stabilisation intrinsèque ± activé
Croupo 9	RD	ECDI	ECDR	DT	ECD	EDC	EDI	EDD	EDI	Transforts d'annocition ou d'antonulsion du l

Groupe 9	BR	ECRL	ECRB	PT	FCR	EDC	EPL	FDP	FPL	Transferts d'opposition ou d'antepulsion du l
	Lasso de Z									Stabilisation intrinsèque ± activé
Groupe 10	E	X	С	Е	Р	Т	I	0	NS	

Pour chaque groupe, ligne du dessus et en gris : muscle donneur disponible ; ligne du dessous : muscle receveur en cas de transfert ou autre procédure réalisée. Lasso de Z : Lasso de Zancolli. BR : brachioradialis ; ECRL : extensor carpi radialis longus ; ECRB : extensor carpi radialis brebis ; PT : pronator-teres ; FCR : flexor carpi radialis ; EDC : extensor digitorum communis ; EPL : l'extensor pollicis longus ; FDP : flexor digitorum profundis ; FPL : flexor pollicis longus

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Aghakhani N, Vigué B, Tadié M. Traumatismes de la moelle épinière. EMC (Elsevier, Paris) Neurologie 17-685-A-10, 1999, 10 p.
- [2] Allieu Y. Chirurgie fonctionnelle du membre supérieur du tétraplégique. EMC Techniques chirurgicales Orthopédie-Traumatologie 2015;10(1):1-16 [Article 44-460].
- [3] Allieu Y, Benichou M, Ohanna F, Rabischong E, Benoit P. Chirurgie fonctionnelle du membre supérieur chez le tétraplégique : Orientations actuelles après 10 ans d'expérience du Centre Propara. Rev Chir Orthop Réparatrice Appar Mot 1993;79(2):79-88
- [4] Allieu Y, Coulet B et Chammas M. Chirurgie fonctionnelle du membre supérieur chez le tétraplégique. EMC Techniques chirurgicales Orthopédie-Traumatologie, 44-460, 2003, 16 p.
- [5] Allieu Y, Chammas M, Coulet B. Restauration chirurgicale d'une préhension par pince pollicidigitale dans les tétraplégies hautes. E-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie, 2002, 1(3):29-32
- [6] Arnoulin P, Kretchmann L, Mounier C, Turlan N, Fattal C. Evaluation pré et post-opératoire de la chirurgie fonctionnelle du membre supérieur chez la personne tétraplégique : La démarche de validation. Expériences en ergothérapie, 17^{ème} série, p.178. Montpellier : Sauramps Medical (2004).
- [7] Audic B. Membres supérieurs et tétraplégie. Aspects médicaux. In Tubiana R. Traité de chirurgie de la main, tome 4 Affections neurologiques. Masson
- [8] Barat M, Goossens D, Penchet G, Dehail P. Syndromes médullaires. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Neurologie, 17-042-A-10, 2010.
- [9] Bénaïm C, Romain M, Pélissier J, Enjalbert M. Les grilles d'évaluation de la préhension. In Thoumie P, Pradat-Diehl P. La Préhension, p. 39-51, Springer, 2000
- [10] Benoit P, Lavier P, Ohanna F, Benichou M, Allieu Y. Rééducation après intervention de Möberg chez le tétraplégique. In : Masson, editor. Expériences en ergothérapie. 1991. p.131-6 Paris.
- [11] Biard N, Fattal C, Laffont I. Assistance technologique et robotique de rééducation : Etat de la recherche et perspectives. In Pouplin S. Accompagnement de la personne blessée médullaire en ergothérapie. Solal Editeur, Marseille, 2011, p. 355-372
- [12] Bonnyaud C, Imandt E, Pouplin S. Aspects de biomécanique fonctionnelle nécessaires pour la compréhension et la prise en charge thérapeutique de la personne blessée médullaire. In Pouplin S. Accompagnement de la personne blessée médullaire en ergothérapie. Solal Editeur, Marseille, 2011, p. 81-97
- [13] Botokro R. Evaluer les fonctions de la main : Tests et bilans validés. In Ergothérapies n°11, Sept 2003, Publication Officielle de l'Association Nationale Française des Ergothérapeutes, p. 43-49
- [14] Cambier J, Masson M, Dehen H. Neurologie. 10^{ème} édition, 2002, Abrégés Masson
- [15] Coulet B. Les attitudes vicieuses au membre supérieur : influence du segment lésionnel médullaire et aspects chirurgicaux. In Fattal C, Perrouin-Verbe B, Albert T. Neuro-orthopédie des

- membres du blessé médullaire adulte, Acquisitions en médecine physique et de réadaptation, Sauramps Medical, p.25-33, 2012.
- [16] Fattal C. Analyse critique des modalités d'évaluation des résultats de la chirurgie fonctionnelle du membre supérieur tétraplégique. Revue de la littérature sur les 50 dernières années. Ann Readapt Med Phys 2004;47:30-47
- [17] Fattal C, Coulet B, Rouays-Mabit H, Verollet C, Gelis A, Benoit P, et al. Chirurgie fonctionnelle du membre supérieur chez la personne tétraplégique : procédures chirurgicales et programmes de rééducation. EMC Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation 2012;8(3):1-17 [Article 26-460-B-10].
- [18] Fattal C, Coulet B, Verollet C, Rouays-Mabit H, Schindler F, Benoit P, Teissier J. La chirurgie fonctionnelle du ou des membres supérieurs chez la personne tétraplégique. Lett Med Phys Readapt (2008) 24:67-72
- [19] Fattal C, Coulet B, Verollet C, Rouays-Mabit H, Schindler F, Benoit P, Teissier J. Programmes de rééducation avant et après chirurgie fonctionnelle du membre supérieur chez la personne tétraplégique : principes et pratiques. Lett Med Phys Readapt (2008) 24:107-112
- [20] Fattal C, Leblond C. Evaluation des aptitudes fonctionnelles, du handicap et de la qualité de vie chez le blessé médullaire. Annales de réadaptation et de médecine physique 48 (2005)346-360
- [21] Fattal C, Teissier J, Leclercq C, Revol M, Enjalbert M. Evolution de la prise en charge chirurgicale du membre supérieur tétraplégique depuis 50 ans. Annales de réadaptation et de médecine physique 46 (2003) 144-155
- [22] Johanson E, Murray W. The unoperated hand: the role of passive forces in hand function after tetraplegia. Hand Clinics Vol. 18, N°3-p.391-198, 2002
- [23] Kapandji AI. Physiologie articulaire, membre supérieur (6ème édition), Maloine, 2005
- [24] Lavier P, Benoit P, Rabischong E, Ohanna F, Benichou M, Allieu Y. Résultats quantitatifs et qualitatifs après chirurgie de Möberg. In : Masson, editor. Expériences en ergothérapie. 1991. p.136-43 Paris
- [25] Laffont I, Biard N, Bouteille J, Pouplin S, Guillon B, Bernuz B, Rech C. Tétraplégie : solutions technologiques de compensation des incapacités découlant de l'atteinte des membres supérieurs. Lett Med Phys Readapt (2008) 24:113-121
- [26] Leclercq C, Albert T, Le Mouël MA. Réanimation chirurgicale du membre supérieur chez les patients tétraplégiques : principes et indications. Lett Med Phys Readapt (2008) 24:103-106
- [27] Leclercq C, Terrade P, Lemouel MA, Chevet F, Sauvageot JL, Floris L, Gajewski A, Turquet C, Villanova O, Vincenti P, Chapin-Bouscarat B. Rééducation des transferts tendineux au membre supérieur. EMC, Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 26-529-A-10, 2000, 14 p.
- [28] Le Mouël MA et Leclercq C. Actualités Chirurgie du membre supérieur chez le tétraplégique. EMC, Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 26-460-B-10, 2003, 3 p.
- [29] Mackinnon S, Yee A, Ray W. Nerve transfers for the restoration of hand function after spinal cord injury. J Neurosurg 117:176-185, 2012

- [30] Marieb E. Anatomie et physiologie humaines, 4ème édition, DeBoeck Université
- [31] Marteil T. Contribution à l'autonomie du tétraplégique par l'orthèse myoélectrique de préhension. Mémoire pour le Certificat d'Etudes Spéciales de Rééducation et Réadaptation Fonctionnelles, Université de Rennes, 1974
- [32] Maury M. La paraplégie. Flammarion Médecine Sciences Ed., Paris, 1981, 733 p.
- [33] Minaire P. Paraplégie et tétraplégie, guide pratique de la rééducation et de la réadaptation. 2^{ème} édition. Collection de rééducation fonctionnelle et de réadaptation. Masson
- [34] Perrouin-Verbe B, Rome J, Touchais S. Chirurgie de réanimation du membre supérieur du tétraplégique : quelle évaluation ? Lett Med Phys Readapt (2008) 24:99-102
- [35] Regnier S, Floris L. Optimisation des préhensions. In Pouplin S. Accompagnement de la personne blessée médullaire en ergothérapie. Solal Editeur, Marseille, 2011, p. 129-142
- [36] Revol M, Cormerais A, Laffont I, Dizien O, Servant JM. Aspects chirurgicaux du rétablissement de la préhension chez le tétraplégique. In Thoumie P, Pradat-Diehl P. La Préhension, p. 187-200, Springer, 2000
- [37] Revol M, Laffont I, Hugeron C, Rech C, Ben Smaïl D, Le Corfec V. Réhabilitation fonctionnelle des membres supérieurs dans les tétraplégies traumatiques. EMC Techniques chirurgicales Chirurgie plastique, reconstructive et esthétique 2013;8(3):1-14 [Article 45-780].
- [38] Rémy-Néris O, Chopin I. Substitution de la préhension par la robotique chez le tétraplégique fonctionnel haut : une tâche longue et difficile. In Thoumie P, Pradat-Diehl P. La Préhension, p. 265-271, Springer, 2000
- [39] Roby-Brami A, Laffont I, Mokhtari M, Heidmann J. Compensation des incapacités du membre supérieur du sujet tétraplégique. In Bussel B, Maury M, Ravaud JF. Les tétraplégies par lésion médullaire, Actes des 14^{èmes} entretiens de l'Institut Garches. Editions Frison-Roche
- [40] Thevenin-Lemoine E, Canny-Verrier F, Makuiza-Wauquier A. Capacité de préhension et tétraplégie. In Thoumie P, Pradat-Diehl P. La Préhension, p. 171-186, Springer, 2000.
- [41] Thevenin-Lemoine E, Delahaye H. Membres supérieurs portants et tétraplégie. Annales de réadaptation et de médecine physique, 29, 253-258, 1986
- [42] Yelnik A, Resch C, Even Schneider A, Dizien O. Paraplégies. EMC Neurologie, 17-005-B-10, 2006.

<u>Site internet</u>:

[43] Haute Autorité de Santé :

http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/ald_20_guide_paraplegie__20_septembre_2007.pdf