Introduction

En 1955, **Steindler** (1) a décrit le mouvement des membres à partir du concept des chaînes cinétiques. Elles sont au nombre de 3 :

- chaîne cinétique ouverte (CCO): l'extrémité distale du membre est mobile ou peu résistante,
- chaîne cinétique fermée (CCF): l'extrémité distale du membre est fixe ou très résistantes,
- chaîne cinétique semi-fermée (CCSF): l'extrémité distale du membre est mobile malgré une forte résistance.

En effet, l'activité des membres inférieurs étant majoritairement en appui, leur prise en charge rééducative s'oriente le plus rapidement possible vers ce type de travail. La rééducation de la main se fait essentiellement en CCO avec des exercices proches de ceux utilisés dans la vie courante: **le travail en appui ne semble pas être une priorité fonctionnelle.**

Mais peut-on négliger le travail en appui dans la vie quotidienne?

Les transferts, les retournements, les différents niveaux de redressement ainsi que la déambulation nécessitent de pouvoir solliciter son membre supérieur en appui. L'approche **Bobath**, qui utilise largement la CCF pour le membre supérieur, n'a pas abordé la problématique sensori-motrice de la Main (2). Comme pour les genoux, il existe des protocoles d'exercices en CCF pour les épaules. Trouve et al. (3) ont décrit les intérêts suivant du travail en CCF :

- intérêt musculaire : co-contraction des agonistes et antagonistes,
- intérêt articulaire : réduction des contraintes de cisaillement par une meilleure orientation axiale des forces appliquées,
- intérêt proprioceptif : stimuli fonctionnel de l'appui sur le membre supérieur.

Mais peut-on limiter la rééducation au travail en CCO sans risquer:

- d'être incomplète au niveau de la récupération fonctionnelle?
- de ne pas profiter des avantages reconnus d'un travail en CCF?

Déjà en 1994, **Jennifer A. Stone et al.** (4) observaient l'absence d'étude montrant si les programmes de rééducation devaient être spécifique pour des athlètes pratiquant en CCO (exemple: lanceur, volleyeur...) ou en CCF (exemple: gymnaste). Ils insistent sur l'importance d'analyser les particularités de l'activité sportive de l'athlète afin de proposer des exercices de proprioception adaptés.

Ce mémoire s'intéresse à la description :

- des principes de la rééducation de la main jusqu'au coude en CCF, avec les positions de travail et les critères de progression proprioceptifs,
- des limites d'utilisation et de faisabilité,
- des indications de ce travail.

I. Description des différentes chaines cinétiques:

1. La chaîne cinétique ouverte (CCO)

La CCO correspond aux exercices du membre supérieurs durant lesquels la main est libre au cours du mouvement avec une épaule fixe (5). Elle permet de décrire la majorité des mouvements du membre supérieur : geste de lancé, gestes de préhensions et prises fines.
Les exercices en chaîne musculaire ouverte se caractérisent par le recrutement de groupes musculaires permettant le mouvement d'un segment de manière mono-articulaire. Le recrutement des muscles agonistes est nettement supérieur à celui des antagonistes ce qui conduit à un déséquilibre du complexe musculaire et articulaire de l'épaule, lors d'atteinte de la coiffe des rotateurs, ou du genou, lors d'atteinte des ligaments croisés antérieurs (6; 7; 8; 9.).

2. La chaîne cinétique fermée (CCF)

La CCF correspond aux exercices du membre supérieurs durant lesquels les extrémités du membre supérieur sont fixées ou suffisamment résistantes pour que le mouvement s'opère entre celles-ci (5). Elle intéresse de nombreuses actions du membre supérieur: transferts, retournements, différents niveaux de redressement et déambulation.

Les exercices en CCF se caractérisent par le recrutement de groupes musculaires de plusieurs chaînes séries entraînant le mouvement de plusieurs segments de manière poly-articulée. Le recrutement des muscles agonistes et antagonistes est plus équilibré et simultané: la mise en tension est symétrique et contribue à l'augmentation de la stabilité articulaire.

Steindler (1) affirme qu'une véritable CCF existe seulement lors d'exercice isométrique, car selon la définition, ni l'articulation distale ou proximale ne peut bouger dans un système fermée
Les exercices en CCF sont largement utilisée en rééducation du membre inférieur, mais on les utilise également dans les programmes de réhabilitation de l'épaule ou de l'articulation scapulo-thoracique (10; 11 ; 12.).

Ces exercices sont connus pour

- renforcer la stabilité dynamique de l'articulation gléno-humérale en produisant une co-contraction des muscles agonistes / antagonistes autour de l'articulation (12; 13.),
- diminuer la translation gléno-humérale à différents niveaux d'élévation (14),
- exiger la co-contraction des muscles de la coiffe des rotateurs à un niveau sous-maximal (15; 16.),
- améliorer le message proprioceptif (5),
- stimuler la consolidation osseuse par l'application de contrainte mécanique en compression (17).

Contrairement à la proprioception des membres inférieurs, la proprioception des membres supérieurs en CCF apparait plus tardivement dans les programmes de réadaptation à cause de la force nécessaire pour supporter le poids du corps sur le membre lésé (4).

II. Rappel : la biomécanique du membre supérieur en Chaîne cinétique ouverte (CCO):

D'après les recherches menées par **Kapandji** (18), **Duffour et al.** (19) **et Chanussot J.C et al.** (20).

1. Le coude

1.1 Fléchisseurs:

Coude étendu, la force musculaire des fléchisseurs du coude est parallèle au bras de levier: elle est quasi nulle.
Coude fléchi à 90°, la force musculaire des fléchisseurs du coude devient perpendiculaire au bras de levier: elle est maximale.

1.2 Extenseurs :

La force musculaire des extenseurs est fonction de la position du coude:

- entre 20° et 30° de flexion la force musculaire des extenseurs du coude est maximum
- au delà de cette angulation les composantes tangentielle et centrifuge de la force musculaire s'équilibrent pour maintenir l'efficacité
- en flexion maximum, l'efficacité est maintenue par:
  - la réflexion du tendon tricipitale sur l'olécrâne (poulie),
  - la tension maximale des fibres musculaires.

La force musculaire des extenseurs est fonction de la position de l'épaule: par la longue portion du triceps qui s'allonge avec la flexion de l'épaule, la force du triceps est plus grande lorsque l'épaule est à 90°.

2. Le poignet

2.1 stabilité dans le plan frontal:

La glène anti brachiale est orientée en bas et en dedans avec un angle de 25° à 30° avec l'horizontal. C'est pourquoi :

- En rectitude, les forces musculaires ont tendance à faire glisser le condyle carpien en haut et en dedans. La fronde du pyramidal se met en tension et s'oppose à ce déplacement du condyle.
- En inclinaison radiale, la fronde du pyramidal se tend au maximum, le scaphoïde bute sous l'extrémité inférieure du radius et le ligament latérale interne (LLI) se tend. L'articulation est verrouillée.
- En inclinaison cubitale de 30°, le condyle carpien se stabilise sous la glène anti brachiale. C'est la position où la fronde est au repos: c'est la position naturelle de fonction du poignet. C'est la position de mobilité maximum.
- Au delà de cette angle, le pyramidal bute contre le ligament triangulaire et le ligament latérale externe (LLE) se tend. L'articulation est à nouveau verrouillée.

2.2 stabilité dans le plan sagittal:

La glène anti brachiale est orientée en bas et en avant avec un angle de 20° à 25° avec l'horizontal. C'est pourquoi :

- La flexion palmaire du poignet recentre le condyle carpien sous la glène anti brachiale. Il y a la mise en tension de :
  - la première sangle transversales du carpe qui bloque le scaphoïde,
  - du frein postérieur de la lunaire: qui comprime le semi-lunaire sous la glène radiale.

  L'articulation est verrouillée.
- En rectitude, l'ensemble des ligaments est au repos et le condyle carpien est stabilisé sous la glène radiale. C'est la position de mobilité maximum.
- En flexion dorsale, la tension des ligaments antérieurs est maximale, ce qui recentre le condyle carpien sous la glène anti brachiale par:
  - compression du semi-lunaire sous la glène radiale et la butée osseuse de la face postérieur du grand os.
  - enclavement du scaphoïde entre le trapèze et la glène radiale.
  - C'est la position de stabilité maximum: Position privilégiée (Close Packed Position de Mc Conaill) ou Position de Stabilité Articulaire Maximale (PSAM).

3. Les doigts longs:

3.1 Métacarpo-phalangiennes:

En extension, les ligaments latéraux sont détendus: c'est la position de mobilité maximum.
En flexion, les ligaments latéraux sont tendus: l'articulation est verrouillée
Cette articulation est mobilisée en:

- extension par les extenseurs extrinsèques des doigts,
- flexion par:
  - les lombricaux,
  - les interosseux si la métacarpo-phalangienne est en flexion.

3.2 Interphalangiennes:

En extension, les articulations sont verrouillées par la mise en tension:

- des ligaments latéraux des interphalangiennes proximales (IPP) et distales (IPD),
- des Check-rein ligaments des IPP.

En flexion, les ligaments sont détendus: c'est la position de mobilité maximum.
Ces articulations sont mobilisées en extension selon l'angle de la métacarpophalangienne (MCP):

- 90°: action maximale des extenseurs extrinsèques des doigts,
- O°: action maximale des interosseux,
- intermédiaire: action complémentaires de ces groupes musculaires.

Ces articulations sont mobilisées en flexion par les Fléchisseurs extrinsèques.

4. Le pouce

4.1 Trapèzo-métacarpienne:

En opposition, tous les ligaments sont tendus sauf le ligament droit antéro-externe (LDAE). L'articulation est verrouillée: Position privilégiée ou Position de Stabilité Articulaire Maximale (PSAM).
En contre-opposition, le ligament oblique antéro-interne (LOAI) est tendu.

En position intermédiaire, tous les ligaments sont détendus. C'est la position de mobilité maximum.
Cette articulation est mobilisée en:

- antéposions et abduction par le Long Abducteur du pouce,
- abduction par le Court Abducteur du pouce.
- position d'équilibre par l'Adducteur du pouce
- adduction par le Premier interosseux palmaire,
- opposition par l'Opposant du pouce,

4.2 Métacarpo-phalangienne:

En extension, les ligaments latéraux :

- métacarpo-phalangien sont détendus,
- métacarpo-glénoïdien sont tendus.

L'articulation est verrouillée.
En flexion maximum, les ligaments latéraux :

- métacarpo-phalangien sont tendus,
- métacarpo-glénoïdien sont détendus.

L'articulation est encore verrouillée: Position privilégiée ou Position de Stabilité Articulaire Maximale (PSAM).
En flexion intermédiaire, tous les ligaments latéraux détendus. C'est la position de mobilité maximum.
Cette articulation est mobilisée en:

- extension par le Court Extenseur du pouce.
- flexion par Court Fléchisseur du pouce.

4.3 Interphalangiennes:

Les ligaments sont tendus en extension pour les métacarpo-glénoïdiens et en flexion maximum pour les métacarpo-phalangiens. Tous les ligaments latéraux sont détendus en flexion intermédiaire.
Cette articulation est mobilisée en:

- extension par le Long Extenseur du pouce
- flexion par le Long Fléchisseur propre du pouce.

III. Biomécanique du membre supérieur en Chaîne cinétique fermée (CCF):

Les contraintes articulaires et la décomposition des forces musculaires en chaîne cinétique fermée sont justifiées par les auteurs à partir de la biomécanique en chaîne cinétique ouverte. Il y a peu d'études myoéléctriques pour confirmer les données biomécaniques sur la CCF du membre supérieur.

1. Le coude

1.1 Extension du coude complète:

L'articulation du coude est stabilisée passivement par la butée de l'olécrâne sur la fossette olécranienne et la mise en tension de la partie antérieure de la capsule articulaire.
Les études éléctromyographique d'**Andrade et al**. (21) montre que la co-contraction des agonistes et antagonistes est :

- nulle en quadrupédie car les fléchisseurs ne sont pas efficaces,
- meilleur debout en appui face à un mur car cette position demande une contraction synergique des muscles de la gléno-humérale pour maintenir l'épaule fléchit à 90°

Au niveau proprioceptif, cette position n'est pas intéressante pour un travail spécifique du coude mais elle permet par sa neutralité de favoriser le travail sur les articulations sus ou sous-jacentes.

1.2 Flexion du coude de 20° à 30°:

Le maintien du coude dans cette position est dû à la co-contraction des fléchisseurs et des extenseurs.
Cette position d'instabilité ligamentaire est intéressante car les muscles vont être des stabilisateurs actifs de l'articulation. L'intérêt proprioceptif pour le coude est donc majeur.
La mise en pratique va être également très favorable car cette angulation nous permet un travail dans les différents niveaux de redressement.

1.3 Flexion du coude à 90°:

Comme les fléchisseurs vont à leur maximum d'efficacité, cette position semble encore plus intéressante que la précédente.
Cette position en appui n'est pas favorable. On sera limitée dans l'utilisation des niveaux de redressement (notamment en position assise). En plus, cette angulation a tendance à luxer le radius vers l'avant sous la traction du biceps.
Son utilisation sera donc secondaire.

1.4 Prono-supination:

La supination est limitée par le ligament annulaire, le faisceau antérieur du LLE et la corde de Weitbrecht. Sa stabilisation étant passive, il ne semble pas judicieux de l'utiliser. De plus, cette position, le biceps brachial est peu efficace.
La pronation est limitée par l'interposition des fléchisseurs du carpe entre radius et cubitus. Cette position étant maintenue par un verrouillage des pronateurs, la co-contraction des supinateurs n'est pas favorisée. De même que pour la supination, cette position semble peut intéressante.
Afin de favoriser la co-contraction agoniste et antagoniste, la position intermédiaire de prono-supination est la plus intéressante. Cette position réduit les contraintes sur la radio-cubitale inférieur par une meilleure orientation des forces appliquées: Position privilégiée ou Position de Stabilité Articulaire Maximale (PSAM).

En effet, le ligament triangulaire est tendu au maximum et la congruence est maximale entre la tête cubitale et la cavité sigmoïde. Cette position étant la position de fonction, elle optimise le travail proprioceptif.

1.5 Incidence de la position de l'épaule sur l'activité du coude :

Le biceps et le triceps brachial sont bi-articulaires. Leur efficacité dépend de la position de l'épaule. Ils sont plus forts quand ils sont en positions préférentiels, c'est à dire quand les muscles sont dans leur course moyenne:

- bras vertical le long du corps pour le triceps (exemple : en position assise).
- bras fléchit pour les fléchisseurs (exemple : en quadrupédie).

2. Le poignet

2.1 Position de fonction:

C'est le poignet en rectitude dans le plan sagittale avec une inclinaison cubitale de 30°.
La congruence articulaire des articulations radio-carpienne et médio-carpienne est maximale, ce qui réduit les contraintes appliquées par les forces musculaires et l'appui.
Au niveau musculaire, la co-contraction des agonistes et antagonistes est également maximale.
Cette position permet par la congruence articulaire, le relâchement ligamentaire et l'activité musculaire d'obtenir un excellent travail proprioceptif.

2.2 Flexion dorsale (Position privilégiée ou PSAM) :

Le poignet est stabilisé passivement par la butée osseuse du carpe sous la glène et par la mise en tension des ligaments antérieurs et de la capsule articulaire
Au niveau musculaire, la co-contraction des agonistes et antagonistes est nulle.
Au niveau proprioceptif, cette position n'est pas intéressante pour un travail spécifique du poignet mais elle permet par sa neutralité de favoriser le travail sur l'articulation sus-jacente.

2.3 Synergie musculaires des muscles du poignet et des doigts:

Pour obtenir cette synergie, il faudra modifier le type d'appui en fonction du groupe de muscles moteurs des doigts que l'on voudra solliciter:

- les extenseurs communs et propres des doigts: position intrinsèque Plus
- les fléchisseurs communs des doigts : poing fermé.

3. Les Doigts Longs:

3.1 Position de fonction:

C'est la position à partir de la quelle la préhension peut s'effectuer avec le maximum de mobilité articulaire: MCP presque en rectitude, IP légèrement fléchi.

3.2 Synergie musculaire des muscles des doigts:

Pour permettre une dissociation des phalanges entre elles et des doigts entre eux, les fléchisseurs et les extenseurs des doigts sont synergiques. Les lombricaux, grâce à leurs nombreux récepteurs proprioceptifs, coordonnent le tonus des extenseurs et des fléchisseurs.

4. Pouce:

4.1 Position de fonction:

C'est la position qui va combinée le maximum de mobilité pour toutes les articulations du pouce: c'est la flexion intermédiaire.

4.2 Synergie musculaires des muscles du pouce:

Nous avons décrit ci-dessus l'action mono-articulaire des neufs muscles moteurs du pouce. Grâce à la grande mobilité de la colonne du pouce et à leurs insertions spécifiques, ces muscles ont une action associée aux articulations sus ou sous-jacentes:

- sur le poignet: ce qui nécessite la contraction synergique des cubitaux
- sur les différentes articulations du pouce pour permettre la dissociation des phalanges entre elles, l'opposition et la contre-opposition.

IV. Principes de la rééducation en Chaîne cinétique fermée (CCF):

Ce travail se limite à étudier la CCF pour les articulations du coude et de la main. Les indications spécifiques de la CCF dans la réhabilitation de l'épaule ne sont pas abordées, L'épaule sera placée en fonction des besoins de la rééducation des articulations sous-jacentes.
L'objectif de ce chapitre n'est pas de proposer un catalogue d'exercice ou un protocole de rééducation. Nous chercherons à montrer les différentes modalités de travail en CCF afin de le rendre accessible et de permettre aux thérapeutes de:

- les adapter en toute sécurité à leur patient,
- les combiner en fonction de leurs objectifs de rééducation.

1.La position de base du membre supérieur:

Cette position doit répondre à des contraintes:

- musculaire: co-contraction des agonistes et antagonistes,
- articulaire: réduction des contraintes de cisaillement par une meilleur orientation axiale des forces appliquées,
- proprioceptive: stimuli fonctionnel de l'appui.

Elle combine donc les différentes positions de fonction décrites isolément ci-dessus pour chaque articulation du membre supérieur:

- scapulo-thoracique verrouillé en abaissement, translation et sonnette interne,
- la gléno-humérale sera positionnée en fonction des objectifs choisis.
- Flexion du coude de 20° à 30°,
- position intermédiaire de prono-supination.
- rectitude dans le plan sagittale,
- inclinaison cubitale de 30°.
- MCP presque en rectitude,
- IP légèrement fléchi
- appui termino-pulpaire.
- trapèzo-métacarpienne en position intermédiaire,
- MCP et IP en flexion intermédiaire.

Photo 1 : position de fonction en station debout (face)

Photo 2 : position de fonction en station debout (profil)

Photo 3 : position de fonction (coude et poignet)

2. Les positions dérivées et indications:

2.1 Le coude:

Intérêt :	Articulaire	Musculaire	Proprioceptif
Extension complète (photo 4)	Butée de l'olécrâne sur la fossette olécranienne. Mise en tension de la partie antérieure de la capsule articulaire	Verrouillage des extenseurs. Fléchisseurs inefficaces en quadrupédie. Meilleur co-contraction debout épaule fléchit à 90°	Fonctionnelle mais sans intérêt pour le coude. Sa neutralité favorise le travail sur les articulations sus ou sous-jacentes.
Flexion à 90° (photo 5)	Cette angulation a tendance à luxer le radius vers l'avant sous la traction du biceps.	Fléchisseurs au maximum d'efficacité.	Sollicitation des fléchisseurs vis à vis des extenseurs.
Supination complète (photo 6)	Mise en tension du: – ligament annulaire, – faisceau antérieur du LLE – la corde de Weitbrecht.	Verrouillage des supinateurs. Biceps brachial peu efficace.	Peu fonctionnelle et sans intérêt pour le coude.
Pronation complète (photo 7)	Interposition des fléchisseurs du carpe entre radius et cubitus.	Verrouillage des pronateurs.	Sa neutralité favorise le travail sur les articulations sus ou sous-jacentes.

Photo 4 : Extension complète du coude

Photo 5 : Flexion du coude à 90°

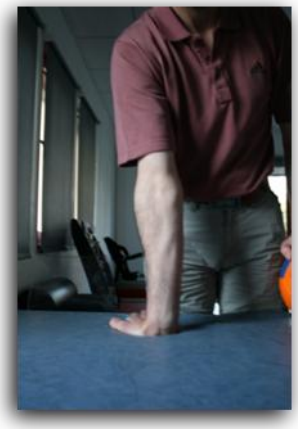


Photo 6 : Supination complète du coude

Photo 7 : Pronation complète du coude

2.2 Poignet:

Intérêt :	Articulaire	Musculaire	Proprioceptif
Position de Stabilité Articulaire Maximale (photo 8)	Butée osseuse du carpe sous la glène. Mise en tension des ligaments antérieurs et de la capsule articulaire	Verrouillage des fléchisseurs du carpe et des doigts. Extenseurs du carpe et des doigts. inefficaces. Pas de co-contraction des agonistes et antagonistes	Fonctionnelle mais sans intérêt pour le poignet. Sa neutralité favorise le travail sur les articulations sus ou sous-jacentes.
Inclinaison radiale complète (photo 9)	Tension maximale de la fronde du pyramidal et du LLI Butée du scaphoïde sous l'extrémité inférieure du radius	Verrouillage du Long Abducteur et du Court Extenseur du pouce. Cubital antérieur et postérieur inefficaces.	Fonctionnelle. Synergie musculaires des Fléchisseurs et des Extenseurs

Photo 8 : PSAM utilisée lors d'un étirement

Photo 9 : inclinaison radiale complète

2.3 Les doigts longs:

Intérêt	Articulaire	Musculaire	Proprioceptif
Poing fermé (photo 3)	Appui sur les premières phalanges. MCP en flexion complète.	Fléchisseurs communs des doigts actifs	Synergie musculaires des muscles du poignet et des Fléchisseurs Très intéressante pour le poignet.
Position intrinsèque Plus (photo 10)	Appui sur les premières phalanges. MCP en flexion complète. IPP et IPD en extension	Extenseurs commun et propres du II et du V actifs	Synergie musculaires des muscles du poignet et des Extenseurs
Position intrinsèque Moins (photo 11)	Appui sur les deuxièmes phalanges. MCP en extension. IPP et IPD en flexion	Co-contraction des Extenseurs et des Fléchisseurs. Interosseux et lombricaux en course externe	Synergie musculaires du muscles du intrinsèques et extrinsèques des doigts Peu fonctionnelle à cause de l'inégalité de longueur des métacarpiens.
IP en extension (photo 13)	Appui pulpaire Mise en tension des ligaments latéraux, des Check-rein ligaments et des ligaments rétinaculaires	Co-contraction des Extenseurs et des Fléchisseurs. Interosseux et lombricaux en course interne	Synergie musculaires du muscles du intrinsèques et extrinsèques des doigts Appui très fonctionnelle qui favorise le travail sur les articulations sus ou sous-jacentes.
IPD en flexion (photo 14)	IPP en extension Appui terminale Mise en tension des ligaments latéraux, des Check-rein ligaments de l'IPP	Co-contraction des Extenseurs et des Fléchisseurs. Prédominance du Fléchisseur Commun Profond Interosseux et lombricaux en course interne	Synergie musculaires du muscles du intrinsèques et extrinsèques des doigts Appui qui favorise le travail du Fléchisseur Commun Profond.
IPP en flexion (photo 15)	IPD en extension Appui pulpaire Mise en tension des ligaments latéraux de l'IPD	Co-contraction des Extenseurs et des Fléchisseurs. Prédominance du Fléchisseur Commun Superficiel	Synergie musculaires du muscles du intrinsèques et extrinsèques des doigts Appui qui favorise le travail du Fléchisseur Commun Superficiel

Photo 10 : Position intrinsèque plus

Photo 11 : Position intrinsèque moins

Photo 12 : IP en flexion

Photo 13 : IP en extension

Photo 14 : IPD en flexion

Photo 15 : IPP en flexion

2.3 Le pouce:

Intérêt	Articulaire	Musculaire	Proprioceptif
MCP et IP en extension (photo 16)	Appui pulpaire Mise en tension des ligaments latéraux. Trapèzo-métacarpienne en position intermédiaire	Muscles de la tabatière anatomique inefficaces. Prédominance des muscles de l'opposition	Peu de Synergie musculaires Appui fonctionnelle qui favorise le travail des muscles de l'opposition
MCP en extension (photo 17)	IP en flexion Appui terminale Mise en tension des ligaments latéraux de la MCP	Co-contraction des muscles du pouce Prédominance du Long Fléchisseur propre du pouce	Synergie musculaires du muscles du intrinsèques et extrinsèques des doigts Appui peu fonctionnelle qui favorise le travail du Long Fléchisseur propre du pouce
IP en extension (photo 18)	MCP en flexion Appui pulpaire Mise en tension des ligaments latéraux de l'IP.	Co-contraction des muscles du pouce Prédominance du Court Fléchisseur propre du pouce	Synergie musculaires du muscles du intrinsèques et extrinsèques des doigts Appui qui favorise le travail du Court Fléchisseur propre du pouce

Photo 16 : MCP et IP en extension

Photo 17: MCP en extension et IP en flexion

Photo 18 : MCP en flexion et IP en extension

3. Les critères de progression du travail proprioceptif:

Chanussot et **Danowski** (20) ont décrit les facteurs de progression lors d'un travail proprioceptif. Ces facteurs ont été adaptés au membre supérieur.

3.1 Les différents niveaux de redressement (NDR):

Pour le travail en CCF nous devrons adapter les NDR en fonction des objectifs rééducatifs.

3.1.1 Décubitus dorsal

C'est le premier NDR, facile à mettre en place, il permet le travail en CCF. En effet, l'appui ne se fait pas au sol mais peut se faire grâce:

- la main du thérapeute (photo 18),
- l'utilisation de matériel adapté (photo 19).

L'épaule peut travailler en antépulsion dans une amplitude qui varie de 0° à 90°.
Le coude peut travailler en flexion-extension dans une amplitude qui varie de 0° à 90°.
Les positions de prono-supination du coude, ainsi que celles du poignet et des doigts sont variables dans toutes les amplitudes.
C'est la première étape de progression dans le travail en appui: la décharge peut être totale au départ et être augmenté progressivement.

Photo 18: CCF avec main du thérapeute

Photo 19: CCF avec Ballon

3.1.2 Décubitus latéral

Main homolatéral avec appui antébrachiale:

C'est un travail spécifique de l'épaule en CCF.

Main homolatéral avec appui manuel :

Ce temps associe toutes les articulations du membre supérieur.

L'épaule travaille en abduction dans une amplitude qui varie de 45° à 90°. Cette position est préférentielle pour le triceps car il est en course moyenne.

Le coude travaille en Flexion-extension dans une amplitude qui varie de 0° à 90°.

Les positions de prono-supination du coude, ainsi que celles du poignet et des doigts sont variables dans toutes les amplitudes (photo 20).

Main controlatéral:

L'épaule travaille en flexion, adduction, rotation interne. Cette position est préférentielle pour le biceps car il est en course moyenne.
Le coude travaille entre 20° et 30° de flexion: c'est sa position de fonction en CCF.
Les positions de prono-supination du coude, ainsi que celles du poignet et des doigts sont variables dans toutes les amplitudes (photo 21).

Position de la main au sol:

Dans le décubitus latéral, quelque soit la main en appui, la force musculaire sollicité pour se redresser est dépendante du positionnement des mains au sol. Le polygone de sustentation est différent:

- côté homolatérale, la main s'écarte du center de gravité du corps ce qui allonge le bras de levier: les forces musculaires de stabilisation sont diminuées.
- côté controlatérale, la main se rapproche du center de gravité du corps ce qui raccourcit le bras de levier. Les forces musculaires de stabilisation sont augmentées.

Pour réduire les variables d'ajustements lors du travail et permettre une meilleure reproductibilité des exercices, l'emplacement de la main au sol est primordial: la représentation au sol de l'épaule homolatérale en décubitus latéral (photo 22).

Ainsi le polygone de sustentation sera identique. Seule l'inclinaison du tronc sera variable.

Photo 20 : main homolatérale

Photo 21 : main controlatérale

Photo 22 : représentation au sol de l'épaule homolatérale en décubitus latéral.

3.1.3 Décubitus ventral:

Appui des membres supérieurs, bassin fixé au sol :

L'emplacement des mains au sol est primordial: la représentation au sol de l'épaule homolatérale en décubitus ventral (photo 23).

L'épaule travaille coude au corps dans une amplitude qui varie de quelques degrés. Cette position est préférentielle pour le triceps car il est en course moyenne.

Le coude travaille en Flexion-extension dans une amplitude qui varie de 90° à 160°. La prono-supination est limitée de la position intermédiaire à la pronation maximale.

Les positions du poignet et des doigts sont variable dans toutes les amplitudes (photo 24).

Photo 23 : représentation au sol de l'épaule homolatérale en décubitus latéral.

Photo 24 : décubitus ventral

Passage en quadrupédie:

C'est l'exercice des “pompes” ou “push-up”. On peut décrire 2 niveaux de progression:

- “kneeling push-up”ou “pompes à genoux”: les genoux reste au sol (Photo 25),
- “full push-up” ou “pompes complète: seul les pointes de pied reste au sol (photo 26).

L'épaule travaille de la position coude au corps (préférentielle au triceps) à l'antépulsion à 90° (préférentielle au biceps).
Le coude travaille en Flexion-extension dans une amplitude qui varie de 0° à 160°.
La prono-supination est limitée de la position intermédiaire à la pronation maximale.
Les positions du poignet et des doigts sont variable dans toutes les amplitudes.
Comme pour le décubitus latéral, l'emplacement de la main au sol est primordial: la représentation au sol de l'épaule homolatérale en décubitus ventral.

Photo 25 : pompes à genoux

Photo 26 : pompes complète

3.1.4 Quadrupédie:

L'épaule travaille en antépulsion à 90°, position préférentielle pour le biceps car il est en course moyenne.
Le coude peut travailler:

- en extension complète, ce qui n'est pas intéressant pour un travail spécifique du coude mais elle permet par sa neutralité de favoriser le travail sur l'articulation sus ou sous-jacentes.
- avec 20 à 30° de flexion, pour un travail spécifique du coude : co-contraction musculaire et détente du système ligamentaire

Les positions de prono-supination du coude, ainsi que celles du poignet et des doigts sont variables dans toutes les amplitudes en fonction des objectifs de la rééducation.
L'emplacement de la main au sol est la projection au sol de la verticale passant par l'épaule homolatérale. De même l'emplacement des membres inférieurs doit être reproductible: hanche et genou fléchit à 90° (photo 27).
La position des membres inférieurs peut également varier:

- élévation du sol d'un membre (photo 28).,
- élévation des 2 membres en appui sur une table de rééducation (photos 29 et 30).

Photo 27 : quadrupédie en position de fonction

Photo 28 : élévation du sol d'un MI

Photo 29 : élévation des 2 MI en appui sur une table de rééducation (face)

Photo 30 : élévation des 2 MI en appui sur une table de rééducation (profil)

3.1.5 Position assise:

L'épaule travaille coude au corps, position préférentielle pour le biceps car il est en course moyenne.
Le coude travaille entre 20° et 30° de flexion: c'est sa position de fonction en CCF (photo 31). Le travail en extension complète est possible en fonction des objectifs.
Les positions de prono-supination du coude, ainsi que celles du poignet et des doigts sont variables dans toutes les amplitudes.
L'emplacement des mains est la projection de la verticale passant par l'épaule homolatérale. De même l'emplacement du tronc et des membres inférieurs doivent être reproductible:

- ceinture scapulaire à la verticale de la ceinture pelvienne.
- hanche et genou fléchit à 90°.

Photo 31 : coude entre 20° et 30° de flexion

Photo 32 : coude en extension complète

3.1.6 Position debout:

L'appui que l'on recherche dans cette position est obtenu grâce à un support: table de rééducation ou mur (photos 33 et 34). On pourra varier la charge de l'appui sur le membre supérieur en fonction des besoins de la rééducation.
L'épaule travaille dans toutes les amplitudes de la gléno-humérale. La scapulo-thoracique sera verrouillée en abaissement, translation et sonnette interne afin d'éviter tous les phénomènes de compensation du moignon de l'épaule.
Grâce à la liberté de positionnement de la gléno-humérale, le coude pourra travailler de 0° à 90° de flexion en fonction des objectifs.
Les positions de prono-supination du coude, ainsi que celles du poignet et des doigts sont variables dans toutes les amplitudes.

Photo 33 : position debout face au mur
Gléno humérale en antépulsion à 90°
coude en extension complète

Photo 34 : position debout en appui
sur la table de rééducation face au mur
poignet en PSAM

3.2 Le poids sollicité lors de l'appui:

Pour le membre inférieur, la variation du poids du corps (de la décharge à la charge complète) permet la progression proprioceptive.

Pour le membre supérieur, la variation de la charge est moindre et est variable en fonction des articulations sollicitées. De l'épaule jusqu'au poignet ont pourra solliciter des charges importantes tandis que pour les doigts les charges seront plus faibles et plus adaptées à la taille des articulations.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons réalisé deux séries de mesure d'appui du membre supérieur. L'objectif est de connaître le poids sollicité en fonction:

- des niveaux de redressement (NDR) pour le coude et le poignet,
- des positions d'appui des doigts pour la Main.

Un antécédent traumatique au niveau du membre supérieur est le critère d'exclusion pour cette étude. Pour les 22 sujets concernés, il n'y a pas de critère d'exclusion de:

- sexe: 19 hommes et 5 femmes,
- d'âge: de 18 à 50 ans,
- de poids corporelle: de 53kg à 90kg.

Les mesures de poids sont faites avec la même balance du côté dominant.

Pour la première série de mesure, les positions choisis sont:

- faciles à mettre en pratique,
- des étapes du relevé de sol.

Pour une meilleure reproductibilité, les 3 positions de base sont les suivantes:

- Assise latéral: c'est la fin du transfert qui permet le passage du Décubitus Latéral à la position assise. Il y a 2 variantes:
  - MS perpendiculaire au sol: toutes les articulations du membre supérieur sont alignées sur la même verticale (photo36).
  - Main sur la projection au sol de la position de l'épaule lors du Décubitus Latéral: le membre supérieur se trouve incliné par rapport à la verticale en fonction de chaque sujet (photo 37).
- Quadrupédie: toutes les articulations des 2 membres supérieurs sont alignées sur la même verticale, de même que les hanches et les genoux (photos 38 à 40).
- Assise sur un banc suédois: toutes les articulations des 2 membres supérieurs sont alignées sur la même verticale, de même que les ceintures scapulaire et pelvienne; les hanches et les genoux sont fléchis à 90° (photos 41 et 42).

La position du membre supérieur choisie est:

- squamule-thoracique verrouillé en abaissement, translation et sonnette interne.
- Coude:
  - Extension complète,
  - pronation complète.
- Poignet en flexion dorsale: Close-packed position

Chaque mesure est enregistrée quand le sujet se trouve en position d'équilibre, sans biofeed-back visuel sur l'écran de la balance. Ces mesures, prises en kilogramme, sont transformées en pourcentage du poids corporel, puis on en déduit :

- la moyenne pour l'ensemble des sujets,
- l'écart type,
- le rapport entre l'écart type et la moyenne des pourcentages : c'est-à-dire le risque d'erreur.

Photo 35 : repère au sol de la position de l'épaule lors du Décubitus Latéral

Photo 36 : MS perpendiculaire au sol

Photo 37 : main sur la projection au sol de la position de l'épaule lors du Décubitus Latéral

Photo 38 : quadrupédie (profil)

Photo 39 : quadrupédie (face)

Photo 40 : quadrupédie élévation du MS controlatérale (profil)

Photo 41 : test en position assise

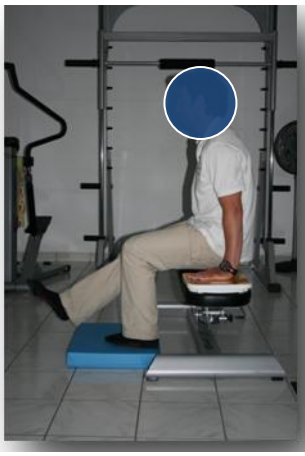


Photo 42 : test en position assise avec élévation du MI controlatérale

	Position	Pourcentage du poids du corps sur la main	Ecart type	Ecart type/ %
Assise latéral	MS à la verticale de la main au sol	26,12%	5,79%	22%
	Main sur la projection de l'épaule lors du Décubitus Latéral	18,35%	3,08%	17%
Quadrupédie	appui 2 mains/2 genoux au sol	21,28%	2,11%	10%
	appui 2 mains/ genou homolatéral levé (MI aligné avec le tronc)	24,65%	4,01%	16%
	appui 2 mains/ genou controlatéral levé (MI aligné avec le tronc)	15,80%	6,49%	41%
	appui 1 main/2 genoux au sol (MS aligné avec le tronc)	34,58%	3,85%	11%
	appui 1 main/ genou homolatéral levé (MS et MI alignés avec le tronc)	32,94%	5,39%	16%
Assise sur banc	appui 2 mains/2 pieds	37,20%	3,72%	10%
	appui 2 mains/ pied homolatéral levé (genou tendu)	39,32%	3,74%	10%
	appui 2 mains/ pied controlatéral levé (genou tendu)	34,78%	8,18%	23,5%

Au cours de cette première série de mesure, il n'y a eu aucune gêne signalée par les sujets.
Sur les 10 positions testées, 9 positions permettent de façon satisfaisante d'estimer le pourcentage du poids corporel sollicité avec 20% de risque d'erreur.
Les 4 positions avec 10% d'erreur permettent une reproductibilité excellente.
Ces positions permettent de travailler avec 20% à 40% du poids total du sujet.
Malgré les consignes précises du test, 1 position présente un risque d'erreur trop important. On peut supposer que les causes sont les:

- compensations des patients,
- déséquilibres engendrés par la position elle-même.

Pour la deuxième série de mesure, le sujet est en quadrupédie avec toutes les articulations du membre supérieur alignées sur la même verticale, dans la position suivante:

- scapulo-thoracique verrouillée en abaissement, translation et sonnette interne.
- coude:
  - Extension complète,
  - pronation complète.
- Poignet:
  - rectitude dans le plan sagittale,
  - inclinaison cubitale de 30°.
- MCP des doigts longs presque en rectitude
- MCP du pouce en flexion intermédiaire.

Chaque mesure est enregistrée quand le sujet se trouve au maximum d'appui possible dans la position demandée. Ces mesures prises en kilogramme sont transformées en pourcentage du poids corporel.

Position	Poids sur la main	Ecart type	Ecart type/ %age
IP des doigts longs et du pouce en flexion	13,93%	5,52%	40%
IP des doigts longs et du pouce en extension	27,74%	7,79%	28%
Doigts longs : IPP en extension/IPD en flexion Pouce: IP en flexion	12,30%	8,16%	66%
Doigts longs : IPP en flexion/IPD en extension Pouce: IP en extension	8,78%	9,23%	>100%

Sur les 4 positions de doigts testées, une seule position permet d'estimer le pourcentage du poids corporel sollicité avec 30% de risque d'erreur. Ce résultat est somme toute médiocre. Cette position ne peut donc être utilisée qu'au cours d'exercice sollicitant moins de 28% du poids du corps.
Les 3 autres positions présentent des pourcentages d'erreur très mauvais.
Pour cette seconde série, nous avons rencontré quelques difficultés Nous avons noté les facteurs limitant l'appui.

Position	Facteurs limitant l'appui			
	Aucun	Défaut de stabilité	Douleur	Incapacité de respect des consignes
IP des doigts longs et du pouce en flexion avec appui terminal	6	5	11	0
IP des doigts longs et du pouce en extension avec appui pulpaire	22	0	0	0
Doigts longs : IPP en extension/IPD en flexion Pouce: IP en flexion Appui pulpaire	8	3	7	4
Doigts longs : IPP en flexion/IPD en extension Pouce: IP en extension Appui terminal	3	5	5	9

Au cours du second test, une seule position a pu être réalisée par tous les sujets du test sans être limitée par la douleur en fin d'appui.

Les 3 autres positions ont toutes un intérêt théorique qui ont été décrit au cours des chapitres précédents. La mise en appui n'est pas satisfaisante car elle est limitée par:

- la douleur unguéale de l'appui terminal,
- l'instabilité de la position difficilement contrôlable activement,
- l'incapacité de respect des consignes par les sujets.

Ces 3 exercices ne sont utilisables qu'en décharge. Ils permettent tout de même de bénéficier des avantages de la CCF au niveau:

- musculaire: co-contraction des agonistes et antagonistes,
- articulaire: réduction des contraintes de cisaillement par une meilleur orientation axiale des forces appliquées,
- proprioceptifs: dissociation des doigts et de leurs articulations.

3.3 Plan d'appui:

Les études éléctromyographique d'**Anderson et al.** (22) lors d'exercices en développé couchés sur plan stable et instable (swiss-ball), démontrent que la force musculaire sollicitée sur plan instable est moindre.
A contrario, les études éléctromyographique d'**Andrade R. et al.** (21) sont réalisées sur plan instable (avec un swiss-ball). Selon eux, le travail sur plan instable exige une activité musculaire supérieure à celles sollicité lors du travail sur plan stable.
Le plan instable le plus utilisé est la canne anglaise. Avec cette aide de marche, les membres supérieurs doivent travailler en CCF afin de remédier à une déficience des membres inférieurs. L'exigence physique de cette marche a été l'objet de plusieurs études contradictoires sur :

- les repères anatomiques permettant d'obtenir 30° de flexion du coude (23),
- la pertinence de l'angulation du coude à 30° lors du réglage des cannes anglaises pour la marche pendulaire unilatérale (24).

Les plans instables sont variés et les possibilités multiples (photos 43 à 48):

- planche d'équilibre ou plateau de Freeman,
- swiss-ball ou ballon de Klein,
- medecine ball,
- trampoline.

Photo 43 : ballon de Klein

Photo 44 : trampoline

Photo 45 : planche d'équilibre

Photo 46 : plateau de Freeman

Photo 47 : ballon en appui unimanuel

Photo 48 : ballon en appui bimanuel

3.4 Le nombre d'appui:

De même qu'en fonction des NDR, on part d'une position stable vers une position instable, l'appui est au départ multiple avec les 2 membres supérieurs puis on cherche à passer à un appui simple (photos 47 et 48).

3.5 Déséquilibre extérieur:

Le thérapeute peut réaliser des poussées résistées ou déséquilibrantes.
Afin de solliciter:

- les centres corticaux et sous-corticaux, le sujet peut être:
  - prévenu au départ puis ne pas l'être.
  - en fin de progression, l'attention du sujet peut être focalisée sur une autre activité (physique ou mentale).
- l'oreille interne, les déséquilibres seront progressivement:
  - de faibles puis de fortes amplitudes,
  - de faibles puis de fortes résistances,
  - lents puis rapides,
  - situé sur les articulations, le membre concerné puis le tronc,
  - en dissociation de ceinture scapulaire et pelvienne.
- le système auditif, le sujet est d'abord guidé par des ordres verbaux stimulant et prévenant puis progressivement il subira une perturbation auditive,
- le système visuel, le sujet peut travailler avec:
  - une référence fixe puis mobile,
  - les yeux ouverts puis fermés.

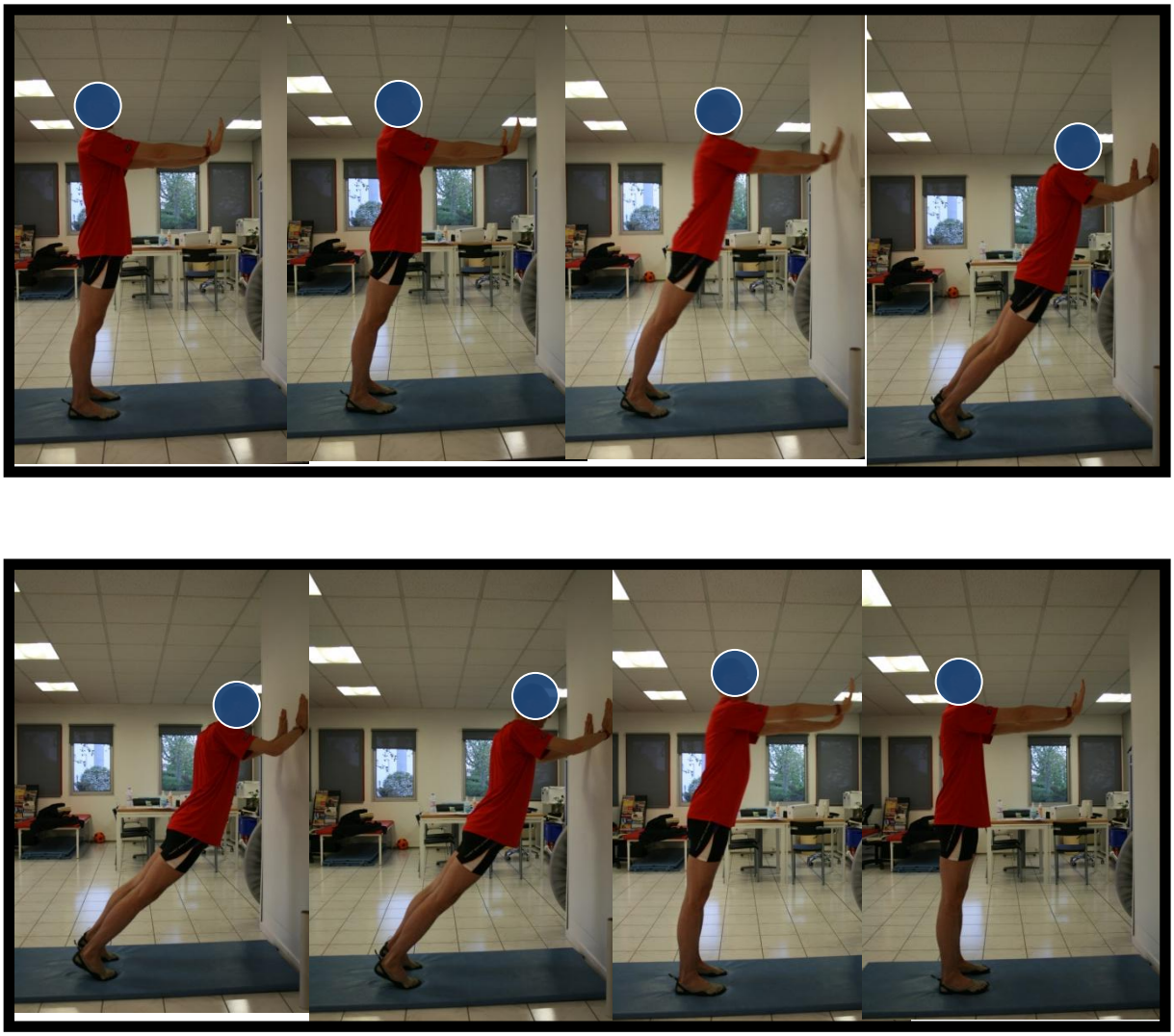
Photos 49 et 50 : travail de déséquilibre extérieur en binôme

3.6 Attitude:

Le maintien des positions peut-être en début de progression statique. A terme, on cherche à intégrer des mouvements dynamiques, comme par exemple, le passage du décubitus ventral à la quadrupédie avec un appui bi-manuel.
Le travail pliométrique (chronophotographie 1) consiste à réaliser rapidement une contraction excentrique puis une contraction concentrique (25). Il est indiqué pour les activités qui impliquent un déplacement :

- de la masse corporelle
- d'objet

Ce mode de travail est décrit par **Marc T. et al.** (26) dans le cadre de la rééducation de l'épaule instable.



Chronophotographie 1

Discussions

1. Complémentarité des chaines cinétiques:

Les études de **Mikkelsen et al.** (7), **Morrissey** (8) et **Hooper et al.** (9), sur des sujets présentant une pathologie du ligament croisé antérieur, ont montré que la combinaison des deux techniques de rééducation est excellente et garantie le retour rapide des sportifs sur le terrain (27).
L'étude de **Ian M. Rogol et al.** (28) sur l'amélioration de la sensibilité profonde de l'épaule grâce à la CCO et CCF, montre qu'il n'y pas de différence entre les progrès réalisés par l'une ou l'autre.
La boucle reflexe responsable de ces progrès proprioceptif n'est pas encore connue, mais il semble qu'il s'agisse de la combinaison de l'activité des récepteurs articulaires et musculaires. **Gandevia et al.** (29) ont tenté de dissocier leur contribution dans le mécanisme de la sensibilité profonde. Après l'anesthésie de l'IPD du majeur, la capacité de détecter le mouvement est diminué mais reste intact.
En interviennent à différentes étapes de la rééducation, les chaînes cinétiques sont complémentaires grâce au recrutement:

- des groupes musculaires isolés pour la CCO,
- des groupes musculaires agonistes et antagonistes pour la CCF.

2. Limite de la CCF:

La méthode de **Bobath** a été largement critiquée récemment soit par les chercheurs, soit par les rééducateurs en confrontation à des principes théoriques non applicables ou inadaptés (2).
En effet la limite du travail en CCF est le manque d'études myoéléctriques pour confirmer les données biomécaniques sur la CCF du membre supérieur.
Comme nous avons pu le voir au cours de la seconde étude statistique, le travail des doigts en appui est rapidement limité par la douleur, l'instabilité et la difficulté de réaliser les exercices. Comme une seule position est réalisable en appui, la rééducation proprioceptive des doigts en CCF s'oriente surtout vers des exercices en décharge.
Les postures articulaires son intéressantes en appui. Avec les Position privilégiée ou Position de Stabilité Articulaire Maximale (PSAM), le patient contrôle l'appui en restant infradouloureux, mais il n'y pas d'intérêt proprioceptif.
Le renforcement musculaire en CCF reste très limité vis à vis de la CCSF.

3. Perspectives:

La première perspective mais aussi la principale serait la réalisation d'études myoéléctriques complètes pour valider les données biomécaniques sur la CCF du membre supérieur.
La mise en appui progressive du membre supérieur peut stimuler la consolidation osseuse par l'application de contrainte mécanique en compression. Il semblerait intéressant d'étudier des protocoles de reprises d'appui après fracture du Membre Supérieur.
La première série de mesure nous permet de valider les valeurs pour la population concernée par le test. Il serait intéressant de pouvoir le faire de manière plus générale.
Inspirée par les fiches de rééducation de la Main du **Groupe dauphinois (**30**)** et compléter par les connaissances acquise au cours du DIU de Rééducation et d'appareillage en chirurgie de la Main, j'ai tenté de donner des indications thérapeutiques des exercices en charge en CCF. Bien évidement, cette proposition de liste non exhaustive (en annexe) mérite d'être validée par des études spécifiques.

ANNEXE

Indications thérapeutiques des exercices en charge en Chaîne cinétique fermée (CCF):

Fractures

Scaphoïde	Traitement orthopédique		Après J 60
	Traitement chirurgical		Après J 60
Métacarpiens	Traitement fonctionnel et post-chirurgical		Progressivement de J 30 à J 45
Phalange	non articulaire	Traitement fonctionnel et post-chirurgical	Progressivement dès consolidation
	articulaire sans distraction		
	articulaire avec distraction	Traitement chirurgical	J 15 après suppression de la distraction
Benett	Traitement orthopédique et post-chirurgical		Progressivement dès J 45
Poignet	Traitement orthopédique et post-chirurgical		Progressivement après ablation du matériel en fonction douleur
Coude			

Entorse/luxation

Doigts longs	Traitement fonctionnel et post-chirurgical	Progressivement dès consolidation
TM	Traitement orthopédique et post-chirurgical	Progressivement dès J45
MCP du pouce	Traitement fonctionnel et post-chirurgical	Progressivement de J 30 à J 45
Poignet	Traitement fonctionnel et post-chirurgical	Progressivement après ablation de l'immobilisation en fonction douleur
Coude		

Rhumatologie

Doigt en maillet	Traitement orthopédique	J 75
	Traitement chirurgical	J 60
De Quervain	Traitement orthopédique et post-chirurgical	Progressivement après ablation de l'immobilisation
Kyste Synoviale	Traitement chirurgical	Progressivement après cicatrisation
Canal carpien	Traitement chirurgical	Progressivement après cicatrisation
Doigt à ressaut	Traitement chirurgical	Progressivement après cicatrisation
Polyarthrite Rhumatoïde	Traitement fonctionnel	Fonction douleur
	Traitement chirurgical de rupture tendineuse	Progressivement après ablation de l'immobilisation en fonction douleur
Dupuytren	Traitement chirurgical	Progressivement après cicatrisation

Lésions tendineuses

Extenseur des doigts longs	Zone 2	Traitement chirurgical	Progressivement dès 60
	Zone 3	Traitement orthopédique	Progressivement de J 30 à J 45
		Traitement chirurgical	Progressivement de J 45 à J6 0
	Zone 4 à 8	Traitement chirurgical	J 45
	Zone musculaire		J 60
	Zone 7 et 8		J 45
Extenseur pouce	Zone T2	Traitement chirurgical	J 60
	Zone T2 à T5	Traitement chirurgical +colonne du pouce immobilisée	Progressivement dès J 45
	Zone T3 à T5	Traitement chirurgical + mobilisation semi active protégée	Progressivement dès J45
Fléchisseur Doigts longs et pouce	Zone 1	Traitement chirurgical (Mantero-Brunelli)	Progressivement dès 60
	Zone 2 à 5	Traitement chirurgical	Progressivement dès J 45
	Zone musculaire		Progressivement dès J 30
	Hunter 1 temps		Progressivement dès J 60
	Hunter 2 temps		Pas pendant 1er temps Au 2ème dès J 45
Hémolyse et arthrolyse		Traitement chirurgical	En fonction état tendineux

Syndrome Douloureux Régional Complexe de type 1

Phase chaude	NON
Phase froide	Fonction de la douleur
Phase séquellaire	

Lésions des nerfs périphériques

Suture, autogreffe, névralgie opérée	J 45
Traitement chirurgical palliatifs	Progressivement après ablation de l'immobilisation et fonction douleur

Autres

Phlegmon des gaines et injection haute pression	Traitement chirurgical	Progressivement en fonction douleur
Panaris et phlegmon celluleux	Traitement post-chirurgical	Après épidémisation
Main contuse	J30	
Résection première rangée du carpe	Traitement orthopédique ou chirurgical	J30 après ablation des broches d'arthrodie ou de l'immobilisation

Bibliographie:

1. Steindler, A. "*Kinesiology of the Human Body*." Springfield, Ill : Charles C. Thomas.
2. Ahmad Rifaii Sarraj, *"Que reste-t-il de la méthode Bobath?"* Kinésithérapie, la revue, Vol 6, n° 56-57 - septembre 2006, pp.63-67.
3. Trouve, Puig, Middleton. "*Travail en chaîne cinétique fermée dans l rééducation*." Site internet CERS Cap Breton.
4. Jennifer A. Stone, Nina B. Partin, Joseph S. Lueken, Kent E. Timm, Edward J. Ryan. *"Upper Extremity Proprioceptive Training"* Volume 29 * Number 1 * 1994 Journal of Athletic Training
5. Viel, E., M. Esnault. "*Récupération du sportif blessé. De la rééducation en chaîne fermée au stretching en chaîne musculaires*." Edition Masson 2003.
6. Frere J. (2005). "*Evaluations des forces musculaires iso-cinétiques de l'épaule dominante et non dominante, chez des perchistes experts et débutants"*. Mémoire Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique Université de Rouen
7. Mikkelsen, C., S. Werner, E. Eriksson. "*Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strenthening after anterior cruciate ligament reconstructionwith respect to return to sports: a prespective matched follow-up study*."Knee Surg. Sports Traumatol, Arthroc, 8, pp. 337-342.
8. Morrissey, M.C. (2000) "*Effects of open versus closed kinetic chain training on knee laxity in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction*." Knee Surg. Sports Traumatol, Arthrose, 8, pp. 343-348. 2000.
9. Hooper. D. M., M. C. Morrissey, W.I. Drechsler, D. Morissey, J.B. King. *"Open and closed kinetic chain exercises in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction."* Am.J.Sports Medecine, 29, N°2, pp.167-174. 2001.
10. Borsa, P.A., Livingston, B., Kocher, M.S., Lephart, S.P. (1994). *"Functional assessment and rehabilitation of shoulder proprioception for glenohumeral instability."* Journal of Sport Rehabilitation, 3, 84-104.
11. Lephart, S.M., Henry, T.J. (1994). *"The physiological basis for open and closed kinetic chain rehabilitation for the upper extremity."* Journal of Sport Rehabilitation, 5, 71-87.
12. Wilk, K.E., Arrigo, C.A., Andrews, J.R. (1996). *"Closed and open kinetic chain exercise for the upper extremity."* Journal of Sport Rehabilitation, 5 (1), 88-102.
13. Goldbeck, T.G., Davies, G.J. (2000). *"Test-retest reliability of the Closed Kinetic Chain Upper Extremity Stability Test: a clinical field test."* Journal of Sport Rehabilitation, 9 (1), 35-45.
14. Warner, J.J.P., Bowen, M.K., Deng, X., Torzilli, P.A., Warren, R.F. (1999). *"Effect of joint compression on inferior stability of the glenohumeral joint."* Journal of Shoulder and Elbow Surgery, 8, 31-36
15. Dillman, C.J., Murray, T.A., Hintermeister, R.A. (1994). *"Biomechanical differences of open and closed chain exercises with respect to the shoulder."* Journal of Sport Rehabilitation, 3, 228-238.
16. Kibler, W.B., Livingston, B., Bruce, R. (1995). *"Current concepts in shoulder rehabilitation."* Advances Operative Orthopaedics, 3, 249-299.
17. Pasquelet A.C. *"Chirurgie orthopédique-Contraintes et Généralités"* Edition Masson, 2005; p214.
18. Kapandji, I. (2001). *"Physiologie articulaire: le membre supérieur."* Paris : Librairie Maloine Editions.
19. Dufour M., Pillu M . *"Biomécanique Fonctionnelle: Membres, Tête et Tronc."* Edition Masson, 2006.
20. Chanussot J.C, Danowski R-G. "*Rééducation en traumatologie du sport. Membre supérieur, muscles et tendons*." Edition Masson, 2005.

21. Andrade R, Araújo R C, Tucci H T, Martins J, Oliveira A S. *"Co-activation of the shoulder and arm muscles during closed kinetic chain exercises on an unstable surface"* Singapore Med J 2011; 52(1) : 35
22. Anderson K, Behm D. *"Maintenance of EMG activity and loss of force output with instability."* J Strength Cond Res 2004; 18:637-40.
23. Quatremerre J., Gouilly P. *"Coude et cannes anglaises"* Journées de Médecine Orthopédique et Rééducation, IFMK Nancy Juin 2003
24. M., Petitdant B. *"Réglage des cannes anglaises pour la marche pendulaire unilatérale-Angulation du coude à 30° ou plus ?"* Kinésithérapie, la revue Vol. 10, n°98, Février 2010, pp. 35-41
25. Décloître N., Veillette R. *"L'entrainement en pliomètrie"* Université Laval, Sante Foye, Québec
26. Marc T., Gaudin T., Lacaze F., Teissier J. *"Rééducation de L'épaule instable: Protocole CGE en 4 phases." C*enter de rééducation du Membre Supérieur et de la Main, Montpellier
27. Seddiki L. (2008). "*Développement et commande T-S d'une machine de rééducation des membres inférieurs en chaîne musculaire fermée"* Thèse Université de Reims Champagne-Ardenne
28. Ian M. Rogol, MEd, ATC; Gregory Ernst, PhD, PT; David H. Perrin, PhD, ATC. *"Open and Closed Kinetic Chain Exercises Improve Shoulder Joint Reposition Sense Equal.y in Healthy Subjects"* Journal of Athletic Training 1998;33(4):315-318
29. Gandevia SC, McCloskey DI. *"Joint sense, muscle sense, and their combination as position sense, measured at the distal interphalangeal joint of the middle finger.* J Physiol. 1976;260:387-407.
30. Sougey-Lardin C., Richelet A., Lacombe P., Thomas D., Lefrere-Miternique B., Valembois B. *"Fiches de rééducation de la Main "* Groupe dauphinois**,** 2008**.**