

cofemer Collège Français des
Médecins et des
Chirugiens
Enseignement National
DES de Médecine Physique et de Réadaptation - DIU de Rééducation

**CHU
Rennes**

Plasticité des systèmes: Outils de la rééducation et de la MPR

Pr Isabelle Bonan
Faculté de médecine de Rennes
Service de Médecine Physique et de Réadaptation (MPR)
Laboratoire EMPENN

Inserm
CIRS
Inria

1

Pourquoi parler de plasticité aujourd'hui?

- **La plasticité des systèmes est un concept structurant de la MPR**
- Connaissances sur la plasticité des systèmes fondamentales pour tout médecin MPR quelque soit son domaine
 - Connaître pronostic
 - Comprendre les modes action de la rééducation
 - savoir orienter et planifier l'ensemble du projet de rééducation
- Plasticité du cerveau, du SNP, de la moelle épinière, des muscles, os, système pulmonaire, système cardiaque,....
- Tous ces systèmes sont plastiques
- Les plasticités sont interdépendantes
- Les MPR s'intéressent à tous ces systèmes
- Aujourd'hui 3 systèmes

2

A quoi sert la plasticité des systèmes?

- **En cas de lésion (ou de recherche d'optimisation par ex sport, cardio)**
- **Plasticité=**
 - **Restitution** post-lésionnelle=récupération +/- complète de la déficience
 - **Adaptation fonctionnelle à la lésion**=adaptation du système à de nouvelles conditions de fonctionnement
- Notion de **Plasticité cérébrale maladaptative +++:**
 - Ne permettant pas d'utiliser toutes les capacités de restitution et/ou d'adaptation fonctionnelle
 - aboutit à une récupération moins bonne
 - Ex sous utilisation acquise du membre supérieur après AVC
 - Des douleurs: Douleur membre fantôme

3

Points clés à connaître

- La plasticité existe pour tous les systèmes
- La plasticité osseuse
 - 3 points: Importance contraintes biomécaniques, site dépendant, vigilance pdt la croissance
- La plasticité musculaire
 - 3 points: effet structurel musculaire spécifique type entraînement, modulation selon beaucoup de facteurs, modulation neurale et cérébrale
- Plasticité cérébrale
 - 4 Points: induite par activité, réversible, parfois maladaptative, techniques spécifiques post lésion cérébrale

= Une intrication des systèmes et de leur plasticité

cofemer Collège Français des
Médecins et des
Chirugiens
Enseignement National
DES de Médecine Physique et de Réadaptation - DIU de Rééducation

4

PLAN

- Définition de la plasticité
- 3 exemples de plasticité
 - plasticité osseuse
 - plasticité musculaire
 - plasticité cérébrale
- Qu'en déduire pour chacune dans le cadre de la MPR

cofemer Collège Français des
Médecins et des
Chirugiens
Enseignement National
DES de Médecine Physique et de Réadaptation - DIU de Rééducation

5

Définition: Comme certains matériaux, L'Homme est plastique

DON'T HATE ME BECAUSE I'M PLASTIC



• Petit Robert: Qui est susceptible de se déformer sous l'action d'une **force extérieure** et de **conserver** sa forme lorsque la force a cessé d'agir

• Ex le plomb

Capacité à modifier **son organisation** et son **fonctionnement** en fonction des contraintes internes ou environnementales qui lui sont imposées

6



8

Rôle des tractions musculaires et de la mise en charge+++

9

The top part of the image shows a human torso with the skeletal system highlighted. A callout box points to the pelvis, containing two microscopic views of bone tissue. The left view is labeled 'Densité minérale osseuse normale' and shows a regular arrangement of bone trabeculae. The right view is labeled 'Osteoporose' and shows a significantly reduced density of bone trabeculae. The bottom part of the image shows a cross-section of a tendon, with labels pointing to its various layers: 'tendon' (the whole structure), 'fascia' (the outermost layer), 'muscle épimysial' (the layer surrounding the muscle), 'épimysium' (the layer surrounding the muscle fibers), 'périosteum' (the layer surrounding the bone), 'fibrocyte' (a cell within the tendon), and 'fibre musculaire' (a muscle fiber).



10

- 11

12

Immobilisation

- Adaptation osseuse à l'absence de contraintes
=résorption
=Effet observé chez astronautes et patients immobilisés sur de longues périodes.
- immobilisation prolongée =ostéopénie au niveau des os porteurs (fémur, tibia) qui se corrige partiellement lors de la reprise de la charge
- L'activité physique uniquement en charge +++ est **préventive** de l'ostéoporose
- Ostéoporose segmentaire: paraplégique, hémiplegique

13

Qu'en déduire en MPR?

- Importance de l'activité musculaire et de la mise en charge
 - Action site dépendant
 - Préoccupation ++ en MPR pédiatrique
 - Équilibre des forces pour construire squelette harmonieux
 - Réduire +++ période immobilisation
 - Maintien tout au long de la vie activité physique en charge + mouvements
 - Surveillance-prévention-traitement de l'ostéoporose patients paralysés
- **Couplage os-muscle dans la plasticité de la fonction locomotrice**

14

2) La plasticité musculaire



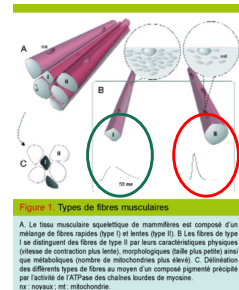
=Problématique fréquente en MPR
Immobilisation au lit
Immobilisation focale (plâtre, traumatisme)
réentraînement à l'effort
Entraînement sportif

15

La plasticité musculaire

Rappel sur la physio musculaire

- Fibres lentes type I (capacité oxydative)
- Fibres rapides type 2 A et 2X (glycolitique)
- ↑ et ↓ activité musculaire induit des **changements phénotypique des fibres musculaires**
- Correspond à **changement expression génique** (codage pour les chaînes lourdes de myosine)
- 2 types entraînement:**
 - Entraînement en **endurance** : augmentation de la proportion de fibres de type I
 - Entraînement en **force** : stimulation des fibres de type II (Gea 1997)



16

Qu'observe-t-on quand augmentation d'activité

- Influence++ du type entraînement sur fibres musculaires (Gea 1997)
 - en force: ↑ fibres musculaires avec myosine à chaîne rapide
 - en endurance: ↑ fibres musculaires avec myosine à chaîne lente
- Sur type métabolisme
 - En force: ↑ capacités oxydatives
 - En endurance: ↑ nb mitochondries, capillaires (Luthi 1986)



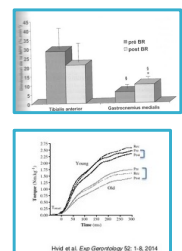
17

Diminution/augmentation d'activité musculaire: quels effets?

Beaucoup de facteurs interviennent :

- Le statut musculaire: atrophie musculaire/normal/hypertrophie
- Caractéristiques du muscle
 - M posturaux/non posturaux (Baldwin 2013)
 - Muscles à fibres rapides /lentes (Duchateau 1998)
- Relation avec longueur du muscle:
 - ↑ atrophie si en position raccourcie/force-longueur
- Facteurs Génétiques
- Age

(Baldwin 2013, Duchateau 1998, Berger 1962, Duchateau 1987, St Pierre 1987, Appell 1990, Larsson 1996, Hvid 2014)



18

Autres facteurs

- Type immobilisation
 - Bed rest: Période de 5 semaines réduit de 20% activité musculaire Qcqs (Berger 1962),
 - Plâtre : période de 6 semaine au mb sup réduit de 55% la force max (Duchateau 1987)
- Positionnement du m ↑ atrophie si en position raccourcie (St Pierre 1987)
- Effet très précoce
 - Atrophie exponentielle 3 à 4%/jour les premiers jours (Appell 1990)
 - Récupération de la force très lente si immobilisation longue (Larsson 1996)
 - 4 j pour 10 j versus 30 à 40 j pour 50 j

19

La perte de force ou le gain en force: n'est pas qu'une histoire de fibres musculaires

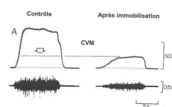
- 1- Changements structuraux musculaire contractile (proportion fibres I et II)
- 2- Adaptations métaboliques :
L'entraînement améliore l'efficacité des mitochondries et des enzymes métaboliques
Modification infiltration graisseuse
- Mais aussi:**
- 3- modulation neurale
- 4- modulation cérébrale



21

Modulation neurale

- A l'échelle neurale:
- L'entraînement musculaire augmente la synchronisation entre les unités motrices par des changements dans les connections entre les motoneurons et la moelle épinière
- = **Adaptation/désadaptation neuro-musculaire**
- entraîne une ↑/↓ activation nerveuse

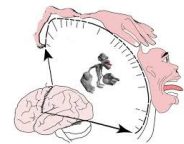


Plâtre avant-bras pdt 6 semaines:
↓ force max du muscle de 55%
33% muscle + 22% déficit d'activation nerveuse
(Duchateau 1987)

22

Modulation cérébrale

- A l'échelle du cerveau:
- Modification de la **carte motrice**
- Et des **autres zones du cerveau impliquées dans le geste**
- = adaptation/désadaptation du geste dans sa globalité sensorimotrice



Ex: pianiste

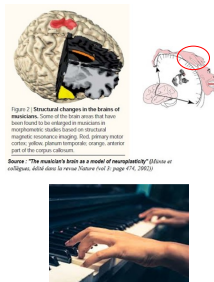
23

Modification de la représentation corticale

Exemple: Carte motrice et sensorielle de musiciens

Sont modifiés

- Cortex moteur primaire **carte motrice (rouge)**
- Planum temporal : du lobe temporal qui correspond à du cortex **auditif associatif (jaune)**
- Corps calleux : commissure transversale composée d'axones qui assure le transfert d'informations **entre les deux hémisphères et leur coordination (orange)**



24

Au total pour la plasticité musculaire

- Effet structurel musculaire induit très spécifique du type l'entraînement/diminution activité
 - Facteurs importants à prendre en compte pour la rééducation: type muscle, état du muscle, effet longueur du muscle, effet durée
 - Modulation à l'échelle métabolique
 - Modulation neurale = coordination des unités motrices
 - Modulation cérébrale = modification représentation corticale
 - Effet également sur la structure osseuse
 - Mais aussi cardio-pneumo non abordé ici
- complexe neuro-moteur et squelettique est un tout

25

Qu'en déduire pour la rééducation musculaire?

- Différenciation de la rééducation selon le type et l'état des muscles
- Importance positionnement immobilisation/renforcement
- Garder schéma moteur pour limiter perte dans représentation corticale
 - Imagerie mentale
- Reprogrammation entité neuromusculaire et cérébrale



26

3) Plasticité cérébrale



- S'exprime en dehors de toute pathologie
- Après cérébrolésion
- Notion de plasticité cérébrale maladaptative

27

Sujet sain

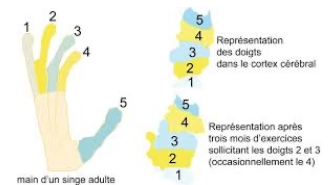
- 1eres études chez le singe
- Puis Homme

28

1eres études chez le singe modification de la carte motrice par execution d'une tâche motrice



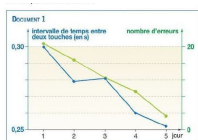
Entraînement différencié des doigts
= Modification de la carte corticale différenciée



29

Réplication chez l'HOMME « sain » en TMS

- 5 jours entraînement avec 1 main d'une séquence (répétition 20 fois)
- 1) Amélioration dextérité motrice
- 2) Expansion Carte motrice main D
- → effet dose et répétition +++



Groupes	Activité des zones du cortex moteur des muscles flexisseurs et extenseurs du plus long doigt (pouce) de la main droite				
	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5
Groupe 1	Muscles flexisseurs				
	Muscles extenseurs				
Groupe 2	Muscles flexisseurs				
	Muscles extenseurs				
Groupe 3	Muscles flexisseurs				
	Muscles extenseurs				

Elbert 1998

30

En pathologie

- Amputation
- Organes sensoriels
- AVC

31

L'absence d'utilisation d'un membre modifie la carte motrice

Amputation + greffe des mains (Lyon)

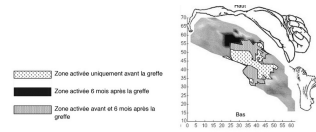
Avant la greffe, disparition zone de la main et élargissement carte motrice du coude et de l'épaule

Après 4 ans greffe des mains

Résultats en IRMf

Re-"colonisation" progressive de la zone main

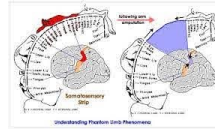
-idem amputé membre inférieur



32

Plasticités maladaptatives du cerveau sain

- Les douleurs de membre fantôme
- Le SDRC: douleur + exclusion du mb



Lésion appareil musculosquelettique
→ plasticité du cerveau maladaptative

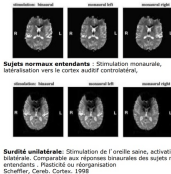


Makin 2017, Lotze 2001

33

Plasticité cross modale

- Surdité unilatérale
 - Augmentation représentation de l'oreille saine dans le **cortex controlatéral**
 - Augmentation du nombre de neurones activés par l'oreille saine
 - Surdité complète bilatérale=Plasticité **cross-modale**
 - Perte progressive de la tonotopie du cortex auditif
 - Réafférentation du cortex par les afférences visuelles
 - Le langage signé et la lecture labiale occupe la zone corticale auditive
 - ce qui gêne la réactivation du cortex par les sons si Implant cochléaire
- Idem Patients aveugles: utilisation du cortex visuel pour audition spatiale et localisation auditive



34

Qu'en déduire pour la rééducation chez ces sujets au cerveau sain?

- La fonction module la représentation corticale
- Et l'absence d'utilisation=modification la carte corticale au profit d'autres utilisation
- Plasticité maladaptative

35

Que faire en rééducation pour la plasticité maladaptative cerveau sain?

- Agir sur le cerveau: ++, imagerie mentale, thérapie miroir



- Et Réinvestir le membre exclu

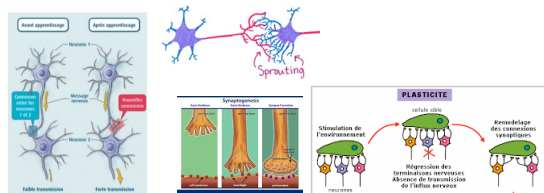
36

La plasticité après AVC



37

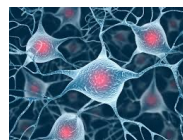
Processus de réparation Réparation à l'échelle des neurones



38

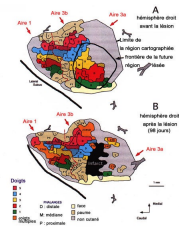
réparation à l'échelle des réseaux de neurones

- Mise en circulation réseaux inutilisés
- Création de nouveaux réseaux



39

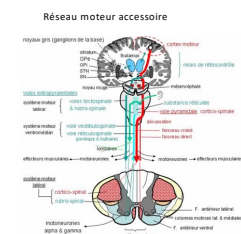
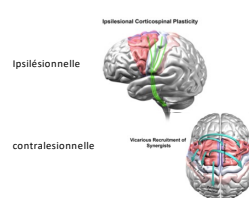
Plasticité cérébrale après AVC les zones adjacentes ou périlésionnelles les plus favorables pour une récupération optimale



Jaillard 2005

40

Plasticités plus à distance récupération beaucoup moins favorable



41

A l'échelle du cerveau: Plusieurs processus de compensation

- Utilisation zones adjacentes à la lésion
- Utilisation zones périlésionnelles
- Utilisation zones prémotrice et aire motrice supplémentaire ipsilésionnelle
- Utilisation aire sensitive ipsilésionnelle
- Cortex controlatéral M1
- Cortex controlatérale zones prémotrice et aire motrice supplémentaire, sensitive controlatérales
- Réseaux moteurs descendant accessoires rubro ou réticulospinal

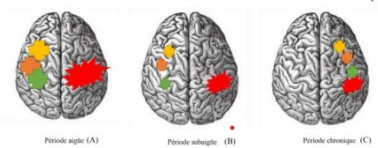
récupération



42

Ce que l'on observe au cours du temps relatéralisation ipsilésionnelle

0 à 6 semaines 6 semaines - 6 mois > 6 mois



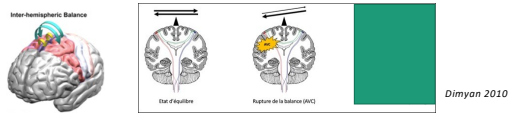
Loubinoux 2017

43

Autre notion indispensable indispensable pour comprendre la plasticité cérébrale:

Il existe une coopération/compétition interhémisphérique

- Encore beaucoup d'inconnus
- Probablement différente en fonction du délai post lésionnel
- De la nature et de l'étendue de la lésion



44

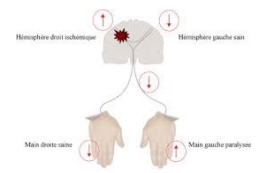
Notion de plasticité maladaptative post AVC

- En l'absence de stimulation ipsilésionnelle

=**Syndrome de sous utilisation acquise**

=récupération non optimale

activation contra-lésionnelle persiste



Meigs 1905, Taub 1980

45

Qu'en déduire pour la MPR Les techniques pour orienter la plasticité cérébrale post AVC



46

Techniques pour entrainer l'hémiphère lésé et lutter contre sous utilisation acquise:

- Stimuler le membre supérieur lésé
- Freiner l'hémisphère controlatéral
- Observation d'une action active les zones motrices
- Le mouvement passif active les zones motrices
- L'imagerie mentale active les zones motrices
- Il est possible d'apprendre à activer des zones spécifiques du cerveau en produisant une boucle de neurofeedback
- Il est possible de tromper le cerveau par le reflet dans un miroir
- La stimulation sensitive a une action sur la motricité

1)Bargas 2018, 2)Lindberg 2004, 3)Decety 1996, 4) Baniqued 2021, 5)Broderich 2018, 6) Schutz 2015

47

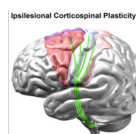
Enjeu en rééducation: stimuler les zones motrices ou prémotrices ipsilésionnelles pour une meilleure récupération

Meilleure récupération si ipsilésionnel*

- (sur)utiliser la main paralysée pour relatéraliser +++
 - Mobilisation activopassive
 - Mobilisation active



(*si intégrité faisceau corticospinal)



Ward 2003

48

lutter contre sous utilisation acquise la thérapie par la contrainte

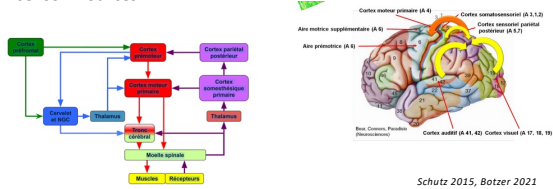


Ne pas laisser le patient se relatéraliser côté « sain » ++++
=Garder carte motrice ipsilésionnelle

49

Il y a des interactions très importantes entre les aires motrices et **les aires sensorielles**

Entraîner les zones sensorielles améliore la motricité → techniques sensorimotrices



56

En conclusion

- La plasticité existe pour tous les systèmes
- Elle est physiologique en l'absence de pathologie
- Existe à l'échelle structurelle, métabolique et fonctionnelle de toutes les structures du corps pour s'adapter aux contraintes internes et environnementales
- À connaître +++
- implication pour nos programmes de rééducation
- Mieux comprendre méca action techniques de rééducation et établir le pronostic
- Intrication de la plasticité des systèmes
- Unité de la MPR



Enseignement National
DES de Médecine Physique et de Réadaptation – DIU de Rééducation

57

Merci pour votre attention



Enseignement National
DES de Médecine Physique et de Réadaptation – DIU de Rééducation

58