

Contrôle médullaire de la motricité 1

Jack R Foucher
Neurophysiologie et psychiatrie
CEMNIS – CHU / Icube

UE3 appareil locomoteur - DFGSM2
Strasbourg
21 novembre 2017

Excitation musculaire contrôlée par des motoneurones médullaires

- Les motoneurones qui innervent les fibres musculaires contractiles sont de grande taille (proportionnelle à ses membranes)
- 2 problèmes :
 - Envoyer une information aussi loin
 - Transmettre la stimulation aux fibres musculaires

Problème de la transmission d'une excitation

Electrode d'injection de courant

1 mm

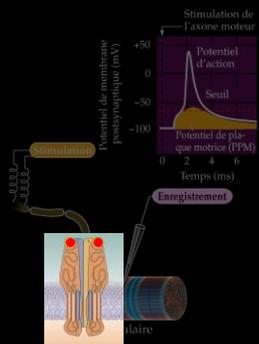
Electrodes d'enregistrement

Potential de membrane (mV)

0 10 20 30 40

Le potentiel de plaque motrice

- La stimulation de l'axone afférent entraîne la dépolarisation du bouton synaptique
- L'entrée de Ca²⁺ (voltage-gated calcium chanelers ou VGCC)
- Le relargage d'ACh (acétylcholine)
- Sa fixation sur des récepteurs spécifiques (canal Na⁺/K⁺), potentiel de plaque motrice
- Ouverture de canaux Na⁺ voltage dépendant



Bloquer la plaque motrice pour la relaxation musculaire en anesthésie

- Le curare se fixe sur récepteurs nicotinique ACh
⇒ bloque le potentiel de plaque motrice
- Plus d'excitation muscles striés
⇒ mort par asphyxie
⇒ ou myorelaxant pour la chirurgie abdominale



Bloquer la JNM pour longtemps avec la toxine botulinique

- La toxine botulique est endocytée au niveau de la synapse et lyse le complexe de fusion synaptique (SNARE) ⇒ paralysie flasque
- DL50 = 1,3 - 2,1 ng/kg IV, 10 - 13 ng/kg par inhalation
- Installation sur plusieurs jours, récupération semaines ou mois



Organisation columnaire

- 1 motoneurone innerve fibres musculaires d'1 muscle
- 1 muscles = pool de motoneurones formant une colonne (plusieurs métamères)

Unité motrice

- 1 motoneurone innerve plusieurs fibres musculaire
- Fibres disséminées dans le muscle
- Motoneurone + fibres = unité motrice

Fibres musculaires innervées par un seul motoneurone

Les 3 types d'unités motrices

	Lentes (S = slow)	Rapides résistantes (FR = fast fatigue resistant)	Rapides fatigable (FF = fast fatiable)
Force développée	Low	High	High
1 stimulation	Graph: single slow twitch peak	Graph: single fast twitch peak	Graph: single fast twitch peak
Train de stim tétanique	Graph: low force, long duration	Graph: high force, long duration	Graph: high force, short duration
Fatigabilité	Graph: high fatigue resistance	Graph: high fatigue resistance	Graph: low fatigue resistance

Différences morphologiques des UM

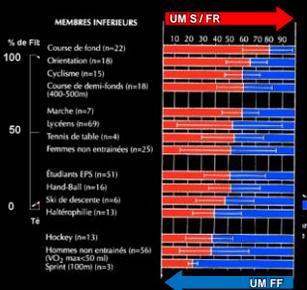


- UM S de plus petite taille que FF et FR :
 - Rapport d'innervation (1/10 ⇒ 1/10000)
 - Corps motoneurone (25-80 µm)
 - Ø axone (10-17 µm)
- Exemples :
 - Soléaire ++ S (posture) = petite taille (RI ~180)
 - Jumeaux ++ FF/R (brusque changement de position) = grd taille (RI ~1 à 2000)
- Fibres :
 - Métabolisme aérobie (S) / anaérobie (FF)
 - Appareil enzymatique différent (myoglobine)



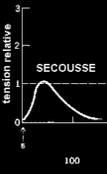
Plasticité des unités motrices

- Phénotype de fibre fonction du motoneurone (expérience d'innervation croisée)
- Détermination congénital / héréditaire
- Pattern de décharge déterminant +++ (stimulateur externe)
- Modifiable avec l'entraînement



Développement de la force musculaire : fusion tétanique

- Ø fréquence de décharge sommation des secousses uniques (plus de relaxation complète)
- Optimum au delà duquel plus de force supplémentaire (20 Hz)



Développement de la force musculaire : principe de taille

- Petite taille → plus excitable
- Recrutement selon le principe de taille (plus petites unités d'abord)

La cellule de Renshaw

- Motoneurone envoi collatérale exciter une cellule inhibitrice
- Cellule de Renshaw inhibe le motoneurone + ceux des muscles agonistes
 - Excitée par frq PA élevée (exp : antidromique)
 - Inhibe d'autant plus que UM-S (facilite mt rapide)
- Toxine tétanique (*clostridium tetani*) inhibe relargage Gly → Contracture

Syndrome neurogène périphérique moteur

- Atteinte du motoneurone (SLA)
 - Hypotonie d'intensité variable (cotation)
 - Amyotrophie si chronique
 - Fasciculations (signe de dénervation) ++ EMG
 - Abolition ou ↘ des réflexes

• Testing muscle par muscle :

5. force normale
4. mouvement possible contre résistance
3. mouvement possible contre la pesanteur
2. mouvement possible si la gravité est éliminée
1. trace de contraction musculaire
0. aucune contraction

La moelle : 1^{er} étage d'intégration sensorimotrice

Une construction sur le modèle des poupées russes

Cortex : Intégration de mouvements complexes non-programmés, et programmation – le cortex

↓

Tronc cérébral : Intégration de mouvements complexes pré-programmés

↓

Moelle : premier étage d'intégration sensori-moteur
Mouvements simples

En cas de lésion : symptômes + / -



John Hughlings Jackson (1855 - 1911)

Atteinte niveau élevé (cortex, tronc) :

- **Symptômes négatifs = défaut de fonction** (paralysie/parésie ++ motricité fine)
- **Symptômes positifs = levé d'inhibition** (spasticité, Babinsky ...)

Cortex : Intégration de mouvements complexes non-programmés, et programmation – le cortex

↓

Tronc cérébral : Intégration de mouvements complexes pré-programmés

↓

Moelle : premier étage d'intégration sensori-moteur
Mouvements simples

Réflexes

Réaction motrice (suite à une stimulation)

Prédictible, constante

Involontaire, inconsciente

Rapide (anticipant toute réflexion)

Innées et spécifiques de l'espèce

La moelle en tant que premier relais présente une activité majoritairement réflexe, mais on observe des réflexes dans des systèmes de plus haut niveau.

Réflexe à moelle

On parle de :

- Réflexe intrinsèque (intéroceptif)
⇒ récepteur dans muscle lui-même (fuseau NM, Golgi)
- Réflexe extrinsèque (extéroceptif)
⇒ récepteur hors du muscle effecteur (cutané)

Réflexes médullaires

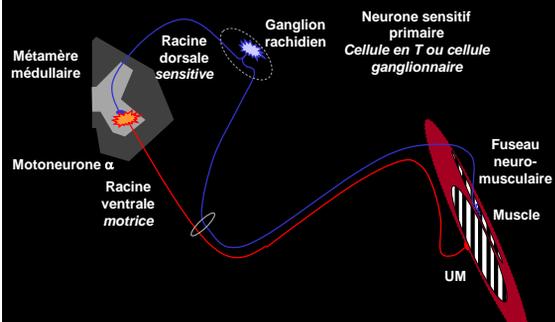
Il existe 3 grands types de réflexes médullaires classé en fonction du type d'afférence :

- Le réflexe myotatique, mono-synaptique sensible au variation de longueurs (fuseau neuromusculaire)
- Le réflexe di-synaptique sensible aux variations de force ou de tension
- Les réflexes poly-synaptiques à la stimulation sensitive, (retrait à la douleur, tactile)

Ils sont tous modulés par le contexte / les centres supra-spinaux

Ils permettent ainsi une réactivité rapide, mais flexible
 Tout en facilitant le travail de programmation des centres supérieurs

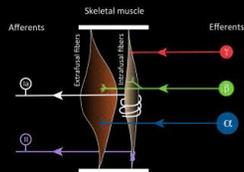
Réflexe d'étirement ou reflexe myotatique = myostatique



Taxonomie des motoneurones

Les motoneurones ont un axone myélinisé rapide de grande taille

- MN α : innervent uniquement les fibres extrafusales
- MN β : mixtes extrafusales + intrafusales (<5% chez homme, 90% grenouille)
- MN δ : fibres intrafusales



Fuseau neuromusculaire

- Partie charnue du muscle
- Fibres musculaires montées en parallèle
- Encapsulées, baignent dans liquide
- Partie centrale non contractile
- 2 types : fibres à sac nucléaire / à chaîne nucléaire
- Sensibilité à la longueur et à son changement

2 types de réponses des fuseaux neuromusculaires

Fibre II résonne à l'étirement

Plus le muscle est étiré, plus il développe de force = **tonus**

Fibre I_a résonne maximale durant l'étirement (changement)

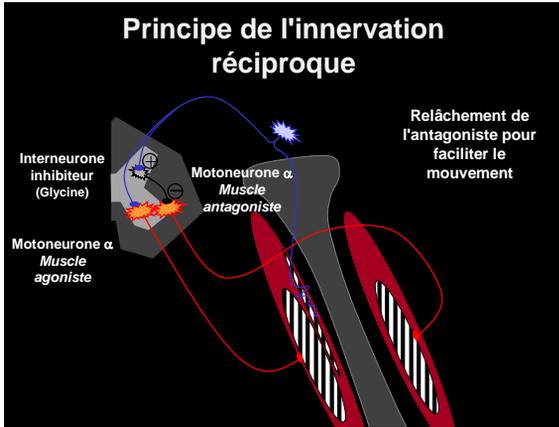
Évite le changement de position (**Myo-statique**)

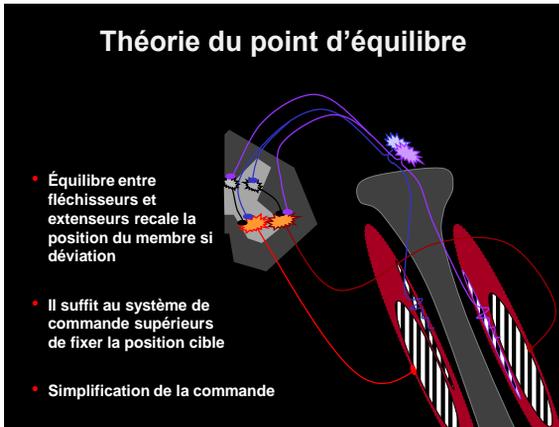
Maintient du tonus par réafférences

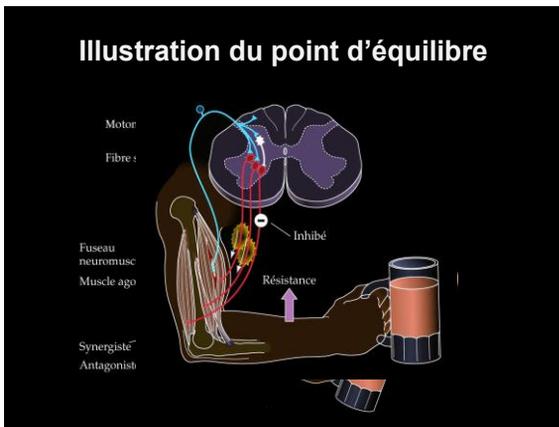
Fibre II maintiennent un tonus excitatif sur motoneurone UM – S

⇒ Boucle myotonique (asservissement pour maintien d'une longueur)

Différent du concept de "Boucle myostatique" issu de la fibre Ia (adaptation aux brusques variations de longueur)







L'innervation afférente du fuseau neuromusculaire

Innervation

- **Sensitive**
 - terminaisons secondaires (II)
 - terminaisons primaires (I_a)
- **Motrice (motoneurone γ)**
 - dynamique
 - statiques

Effets de l'innervation gamma

L'innervation gamma fait varier la sensibilité du détecteur en fonction du type de neurone

Effet de la stimulation du motoneurone γ sur fibre I_a

- Si motoneurone statique
 - ⇒ augmentation ligne de base + post étirement
 - ⇒ Tonus
- Si motoneurone dynamique
 - ⇒ augmentation réponse dynamique
 - ⇒ Maintien de position

Adaptation de la sensibilité à l'étirement

Co-activation $\alpha - \gamma$

activation α seul

Co-activation $\alpha +$ fuseau

Sensibilisation du réflexe d'étirement (expl. ROT)

Participe au maintien du tonus

Réglage du gain et son maintien

motoneurone gamma γ

GAIN

Adaptation de la sensibilité à l'étirement

Flexibilité / adaptation du réflexe myotatique

Perturbation

Perturbation

- Effet des centres supra-médullaires \Rightarrow adaptation des réflexes myotatiques

EMG triceps

Support table

Tasse

-50 0 50 100 150 200

Effet des afférences supra-médullaires

- Réflexe monosynaptique diminue progressivement de debout > marche > course
- Section spinale (déconnection aigue des centres supra-spinaux)
 - \Rightarrow Choc spinal : hypotonie + aréflexie
 - \Rightarrow Réapparition de l'activité réflexive qui devient exagérée (hypertonie pyramidale ou spasticité, exagération ROT)

Prédomine sur extenseur

Met d'autant plus de temps à s'installer que le contrôle supra-spinal est important (chien < singe < homme)

Tester les racines

- Bicipital (C5)
- Stylo-radial (C6)
- Tricipital (C7)
- Cubito-pronateur et palmaire (C8)
- Rotulien (L3-L4)
- Achilléen (L5-S1)

Réflexe bicipital (C5)

Réflexe stylo-radial (C6)

Réflexe tricipital (C7)



Réflexe cubito-pronateur (C8)



Réflexe rotulien (L3-L4)

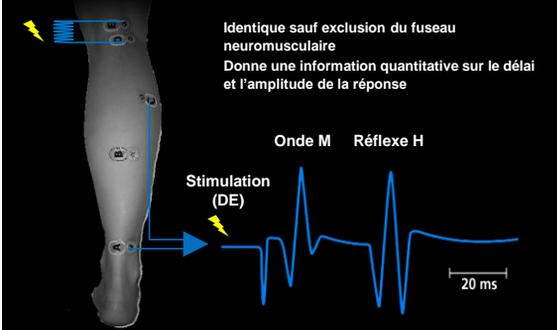


Réflexe achilléen (L5-S1)

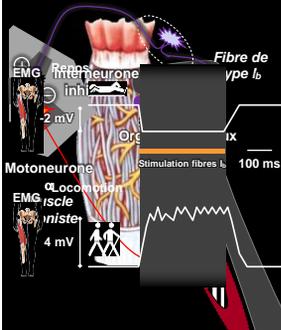


Reflex H à l'EMG

Identique sauf exclusion du fuseau neuromusculaire
 Donne une information quantitative sur le délai et l'amplitude de la réponse



Réflexe disynaptique



- Organe tendineux de Golgi
 - > Articulation entre muscle et tendon
 - > Encapsulées
 - > Monté en série
 - > Sensibilité à la tension
 - > Pas de système de rétro-contrôle
- Au repos, reflexe inhibiteur uniquement sur muscle homonyme
- Mais excitateur lors de la locomotion

Réflexes cutanés

- Retrait à la stimulation thermo-algique (protection) ⇒ prédominance sur les fléchisseurs
- Base du signe de Babinski retrait en triple flexion
- Varie selon contexte :
 - Stimulation tactile du dos du pied sans effet au repos
 - Si marche : ↗ flexion (éviter les embûches)

Contrôle médullaire Psychiatrie

UE3 appareil locomoteur - DFGSM2
Strasbourg
21 novembre 2017

Cas clinique

Mr PdC a souffert d'un traumatisme médullaire il y a 2 ans, suite à une chute en deltaplane.

En l'examinant, vous observez :

- L'absence de mouvements volontaire en dessous de D12.
- Les membres inférieurs sont en triple extension (hanche, genou, cheville)
- Il vous est très difficile de les fléchir, d'autant plus que vous essayer de le faire rapidement
- Mais pour le genou Mr PdC vous dit de forcer, et au-delà d'un certain angle l'opposition cède brutalement
- Il vous dit de le faire rapidement à la cheville et tant que vous maintenez la flexion, elle se met à "trembler"
- Les réflexes ostéo-tendineux (ROT) sont très vifs aux MI.
- Le réflexe cutané plantaire est en triple flexion

Définition de la spasticité

Grec = tirer fort

Exagération du réflexe d'étirement = monosynaptique (hyper-excitabilité des réflexes spinaux – dont cutanée plantaire = polysynapt.)

- Rigidité spastique (↗ tonus vitesse dépendante) autour d'une point d'équilibre (MI : extension – antigravitaire, MS : flexion – bipède) + signe du canif
- Clonus
- Hyper-reflexie (↗ ROT)



Atteinte supraspinale (1er motoneurone) expl : syndrome pyramidal

Exagération des ROT



Hyper-réflexie et clonus de la rotule



Clonus de la cheville



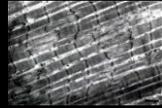
Retentissement fonctionnel 1



Retentissement fonctionnel 2



Conséquences musculo-articulaires



- Stimulation permanente du muscle (effet trans-synaptique)
- Modification des propriétés mécaniques des fibres musculaires si chronique → augmentation de la viscosité musculaire (perte d'élasticité)
- Transformation UM FF (anaérobie) en UM S (métabolisme oxydatif)
- A terme :
 - ✓ Rétractions
 - ✓ Posture vicieuse
 - ✓ Impact cutané



Étiologies de la spasticité



- Lésion cérébrale
 - ✓ Diffuse : anoxie, métabolique, lésions axonales diffuses
 - ✓ Processus expansif : tumeur, abcès,
 - ✓ Traumatisme
 - ✓ Accident vasculaire cérébrale (AVC)
 - ✓ Sclérose en plaque (SEP)
 - ✓ Dégénérative : sclérose latérale amyotrophique (SLA)
- Lésion spinale
 - ✓ Traumatisme
 - ✓ Sclérose en plaque (SEP)
 - ✓ Compression : tumeur, kyste

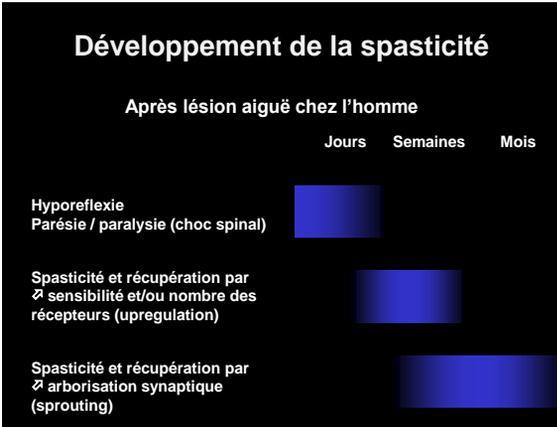
Diagnostic différentiel

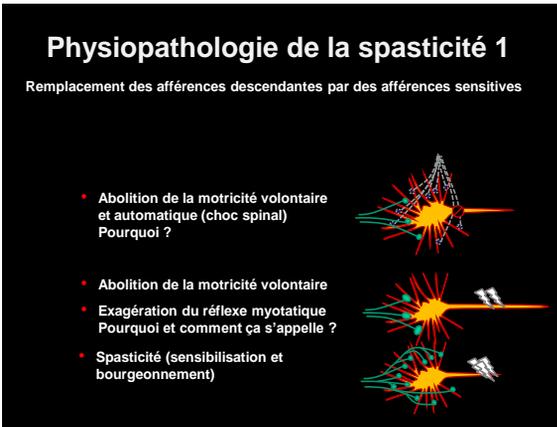
Rigidité spastique (pyramidale)

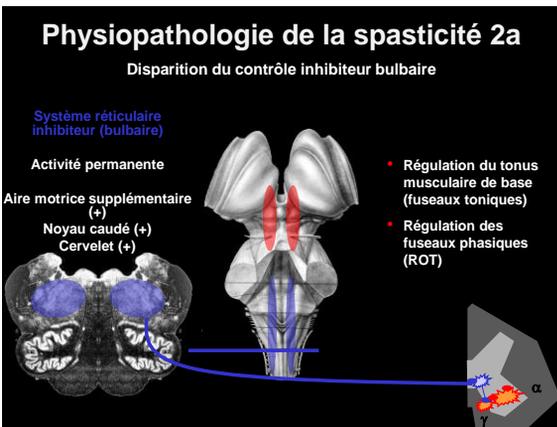
- Résistance au mouvement passif augmentant avec l'éloignement du point d'équilibre
- Dépendant de la vitesse
- Signe du canif
- Hyperreflexie
- Clonus

Rigidité extrapyramidale

- Résistance constante au mouvement passif
- Indépendante de la vitesse
- En tuyau de plomb
- ROT normaux
- Pas de clonus







Physiopathologie de la spasticité 2b

Disparition du contrôle inhibiteur bulbaire

Système réticulaire inhibiteur (bulbaire)

Activité réduite

Aire motrice supplémentaire (+)
~~Noyau caudés (+)~~
~~Cervelet (+)~~

Exagération du réflexe d'étirement

- ⇒ Hypertonie (rigidité spastique)
- ⇒ Hyperréflexie (+ rigidité sensible à la vitesse)

Rappel sur les effets de l'innervation γ

L'innervation gamma fait varier la sensibilité du détecteur en fonction du type de neurone

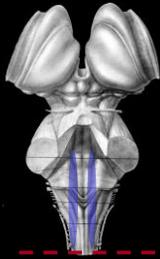
Effet de la stimulation du motoneurone γ sur fibre Ia

- Si motoneurone statique \Rightarrow \neq Tonus
- Si motoneurone dynamique \Rightarrow augmentation réponse dynamique \Rightarrow \neq ROT

Déterminants de la spasticité chez l'homme

- Pas la voie pyramidale (\Rightarrow parésie, trouble de la dextérité manuelle) dans la spasticité
- Mais fibres parapyramidales se projetant sur la formation réticulée du TC
- Et des voies réticulo-spinales inhibitrices (dorso-latérales) / excitatrices (ventro-médianes, diffuses)

Golgi : Feed-back inhibiteur lors d'une décélération



- Si tension trop élevée
- Reflexe inhibiteur bi-synaptique



Signe du canif
Arrêter ROT auto-entretenus

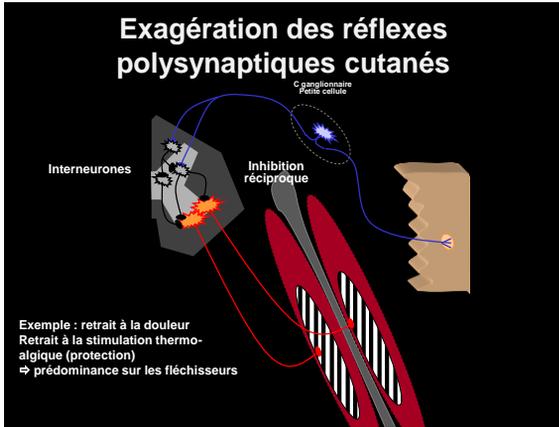
Signe du canif

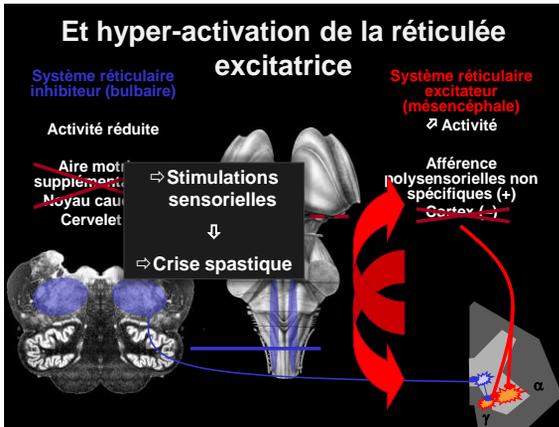


Crises spastiques

Fréquemment induites par un foyer irritatif

- ✗ afférences nociceptives
 - ✓ Infection (vessie, abcès ...)
 - ✓ Lithiase vésicale
 - ✓ Fécalome
 - ✓ Blessures
 - ✓ Douleur
- Changement thérapeutique
 - ✓ Pour la spasticité
 - ✓ Pour une douleur
 - ✓ Interaction pharmacologique
- Positionnement inadéquat
- Fatigue, stress





Traitements

- Neurochirurgie fonctionnelle (neurochirurgie des bas ganglions, thalamotomie, DRZ-tomies ...)
- Éviction des facteurs favorisants (douleur, infection...)
- Physiothérapie (étirements, électrothérapie, froid ...)
- Traitement pharmacologique (voie générale ou locale)
- Traitement chirurgical (neurochirurgie fonctionnelle, chirurgie orthopédique)
- Chirurgie orthopédique (allongements tendineux, transferts musculaires)



Conclusions

- Organisation en unité motrice de 3 types : S, FR, FF
- Recrutement spatial (principe de taille) et temporel (fréquence de fusion tétanique)
- Activité réflexe modulable simplifiant la commande (pt équilibre)
 - R myotatique, mono-synaptique δ longueurs (fuseau neuromusculaire)
 - R di-synaptique δ tension (Golgi)
 - R poly-synaptiques stimulation sensitive (douleur, et tact)
- Pathologie
 - Syndrome neurogène périphérique
 - Spasticité
 - Syndrome pyramidal
