

# Rééducation posturale globale

RPG - La méthode



Philippe Souchard



# **Rééducation posturale globale**

## **RPG**

## *Chez le même éditeur*

---

*Du même auteur :*

**Les scolioses**, par M. Ollier et P. Souchard. Masson, 2002, 202 pages.

# Rééducation posturale globale RPG

Philippe Souchard

*Avec la collaboration de :*

Orazio Meli

Diego Sgamma

Iñaki Pastor

Mario Korell

Bernard Michel



ELSEVIER  
MASSON





Ce logo a pour objet d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, tout particulièrement dans le domaine universitaire, le développement massif du « photo-copillage ». Cette pratique qui s'est généralisée, notamment dans les établissements d'enseignement, provoque une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que la reproduction et la vente sans autorisation, ainsi que le recel, sont passibles de poursuites. Les demandes d'autorisation de photocopier doivent être adressées à l'éditeur ou au Centre français d'exploitation du droit de copie : 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris. Tél. 01 44 07 47 70.

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (art. L. 122-4, L. 122-5 et L. 335-2 du Code de la propriété intellectuelle).

2011, Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

ISBN : 978-2-294-71296-8

---

Elsevier Masson SAS, 62, rue Camille-Desmoulins, 92442 Issy-les-Moulineaux cedex

[www.elsevier-masson.fr](http://www.elsevier-masson.fr)

Dépôt légal : octobre 2011

Composition : SPI

Imprimé en Italie par Legoprint

# Liste des collaborateurs

Orazio Meli – Diego Sgamma  
Les fibres musculaires  
Le tonus musculaire – Les réflexes

Iñaki Pastor – Mario Korell  
Les mécanismes de contrôle de l'équilibre  
Le développement moteur

Bernard Michel  
Le fluage

La rédaction de cet ouvrage n'a pu être envisagée que grâce aux attentions inestimables de Sonia Pardella et Rita Loriga

**L' innovation est une bénédiction car elle permet à beaucoup de s'en attribuer  
la paternité et à tous les autres d'en critiquer la validité**

Pipe (Roses Grises 2009)

# Remerciements

Norbert Grau  
Giovanni Onida,  
Altair Souza de Assis,  
Muriel Gruy,  
Carina Rodriguez

*Documentation :*

Soraia Guerra  
Julieta Rubinetti,  
Marcia Simões,  
Débora Pereira,  
Maria Novella Pompa,  
Rubén Fernández

*Dessins :*

Marie-Claire d'Armagnac  
Serge Cap,  
Sophie Duclavé,  
Sonia Pardellas

*Photographies :*

Silvia Terraciano  
Monica Lal,  
Hector Maragna,  
Marcelo Zarate,  
Alessandro Mascia

# De la méthode...

La kinésithérapie ou physiothérapie, pour qui ne pratique pas la langue de Molière ou de Cervantes, est née officiellement au lendemain de la Seconde Guerre mondiale. C'est dire qu'il s'agit d'une toute jeune fille, soumise encore parfois à des pressions identitaires mais qui a su immédiatement se rendre indispensable et démontrer une rare capacité d'évolution. Dès sa création surgit très vite une pléthore de « méthodes de traitement » dont le pic culmina, sans doute, dans les années 1960-1970. Les jeunes physiothérapeutes de l'époque, avides et émerveillés, se trouvaient transportés dans un marché africain bruyant et coloré où chaque étal proposait sa propre version de la panacée universelle. Rien que de très normal, tout était à découvrir.

Peu à peu les choses se sont calmées et, surtout là où la profession s'est structurée en premier, nous avons appris à raisonner, à comparer et à sélectionner, même s'il y a encore beaucoup à faire dans ce domaine. Le culte des gourous n'est pas mort. Des modes étranges voient encore le jour. Les « emprunts » sont monnaie courante et la falsification n'est pas éradiquée. Des méthodes encensées dans un premier temps ont sombré dans l'oubli. Les créateurs de certaines autres se retourneraient dans leur tombe s'ils voyaient l'usage mercantile qui est fait de leur nom et le dévoiement des principes qu'ils ont prônés. Toutefois, ceci n'est pas l'apanage de notre profession et il n'y a encore là rien que de très banal.

Mais l'expression « méthode » continue à s'appliquer avec constance lorsqu'il s'agit de qualifier certains types de traitement, en particulier lorsque ceux-ci se démarquent des façons de faire académiques.

Il n'est donc pas inutile de se pencher sur la réelle signification de ce mot et sur la justification de l'usage qui en est fait.

Le dictionnaire nous apprend qu'une méthode consiste en une démarche rationnelle de l'esprit pour arriver à la connaissance ou à la démonstration d'une vérité. Ou encore, qu'il s'agit d'un ensemble ordonné de manière logique de principes, de règles, d'étapes permettant de parvenir à un résultat.

Ces critères sont suffisamment précis pour qu'on ne puisse confondre méthode et technique (qui a trait à la pratique ou au savoir faire dans une activité). On voit par ailleurs que, dans ces définitions, le caractère innovant de cette vérité démontrée n'est qu'implicite, alors que dans l'inconscient collectif des physiothérapeutes l'expression méthode sous-entend une originalité certaine dont découlent des applications pratiques distinctes des canons classiques.

D'où viendrait cette originalité si ce n'est d'observations inédites, d'idées novatrices ? On objectera que tout changement d'orientation a des références. La connaissance est rarement absente, elle est lacunaire. C'est pourquoi il est toujours difficile de faire admettre que la singularité de l'évolution peut surgir aussi bien de l'interprétation d'une somme d'éléments que de l'approfondissement de leur connaissance isolée.

Reprocher à une innovation d'être inaboutie est un non-sens. Ce qui est coupable c'est de ne pas faire le nécessaire pour sortir d'un empirisme dont il est tentant de s'accommoder. L'inlassable curiosité de l'homme se trouve en effet contrebalancée par la conscience des efforts colossaux qu'il faudra consentir pour arriver à une ébauche de justification. C'est beaucoup pour un homme seul et il ne faut pas s'étonner d'entendre toujours parler d'équipes de chercheurs. Le chemin est long qui mène à l'« *evidence based practice* ». Faisant fi de la levée de boucliers de la faculté qui est, bien

entendu, dans son rôle lorsqu'elle fait preuve de prudence et qu'elle condamne, l'empirisme est parfois assumé et même revendiqué. Cela ne manque pas de confort et permet de mettre en exergue avec toute la virulence souhaitable les propres faiblesses d'adversaires qui n'en manquent pas. En affirmant « Les fous ouvrent les voies qu'empruntent ensuite les sages », Carlo Dossi (1849-1910) semble donner quitus aux pionniers de toute justification... tôt ou tard les sages viendront.

La réalité est plus cruelle. Car s'il veut étayer ses intuitions et donner un sens à des observations qui, prises individuellement n'en ont pas, le fou doit s'astreindre lui-même à un travail méthodologique l'amenant ultérieurement à la preuve scientifique. Les sages aiment les chemins balisés.

Une fois franchi l'obstacle des résultats cliniques, le second écueil, sans doute un des plus difficiles à surmonter, consiste à convaincre quelques esprits universitaires éclairés d'ouvrir les portes de leurs laboratoires d'expérimentation.

S'il s'agit en outre d'un libre penseur, ce qui est probable, il ne s'astreindra au dur labeur menant à la justification scientifique qu'avec la distanciation de celui qui sait que le progrès scientifique n'est pas gravé dans le marbre mais qu'il se gribouille sur le sable humide d'une plage.

Il le fera convaincu que le caractère strictement individuel de réaction du patient à la pathologie et au traitement rend le principe fondamental de reproductivité scientifique difficilement ajustable aux différents aspects de notre profession. Comment quantifier le fonctionnel ?

Il ne pourra ignorer qu'une certaine technologie dérégulée a entraîné, *via* la consumma-

tion, notre malheureuse planète à la situation que l'on sait.

Enfin conscient qu'il risque fort d'être crucifié au pilori de sa propre ignorance, il ne manquera pas de tirer une amère délectation du fait que ses juges sont membres du cénacle, gardiens du temple des acquis, ce qui l'amènera à s'interroger, impertinence suprême, sur un possible conflit d'intérêt.

Tout ceci lui permettra de résister, autant que faire se peut, aux éventuelles dérives castratrices de certains censeurs particulièrement chatouilleux et devrait logiquement l'immuniser contre la vanité, dans le cas improbable où on reconnaîtrait quelque valeur à ses travaux.

Mais cela ne règlera pas pour autant son problème, il n'y a pas de méthode sans démarche scientifique.

Pourtant en ce qui concerne la Rééducation Posturale Globale le terme méthode a été employé dès sa création en 1981.

La passion pour ce métier, l'appel des voies inexplorées, les inexactitudes flagrantes de certains principes classiques et la nécessité d'une plus grande efficacité thérapeutique, ne plaident pas à l'époque pour la prudence.

L'ivresse des premières avancées l'a, de toute évidence, emporté sur l'approfondissement de la réflexion... il faut bien que jeunesse professionnelle se passe.

Bien des années après, il appartient aux lecteurs de ce livre de se forger une opinion sur l'ordonnement cohérent des principes de la RPG, ainsi que sur l'originalité et la logique des modes de traitement qui en découlent, ainsi que sur les recherches qui l'ont apparemment corroborée.

# Le fil rouge

Même lorsqu'on est sincèrement désireux de faire preuve d'une démarche ordonnée susceptible d'éclairer le lecteur, il n'est pas facile de faire transparaître celle-ci dans le sommaire d'un livre, ni même au sein des chapitres qui le constituent, car l'argumentation risque toujours de se perdre dans les détails.

Il n'est donc peut-être pas inutile de préciser dès à présent l'intention d'organisation qui a présidé à la rédaction de cet ouvrage.

La pathologie étant une déviance de la physiologie, seule une connaissance approfondie de celle-ci permet d'en observer les altérations.

C'est l'objectif de toute la première partie de ce livre, du chapitre 1 au chapitre 7 inclus.

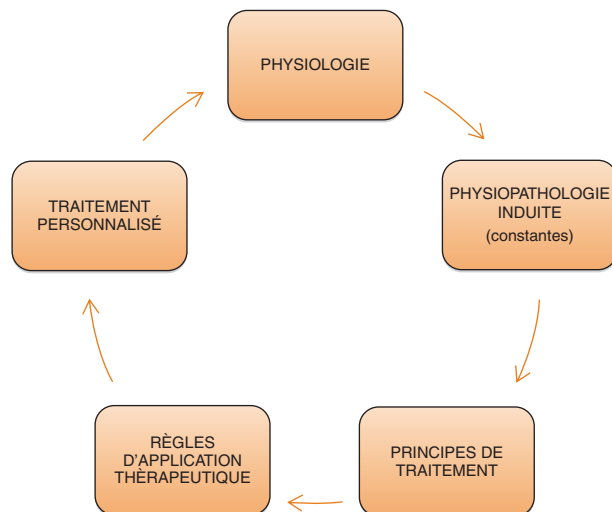
Une fois identifiées les constantes pathogéniques, il devient possible de proposer un schéma général de principes de traitement qu'il appartient, bien entendu, à chacun d'apprécier.

Cela se retrouve dans la deuxième partie, chapitres 8 et 9.

Après le pourquoi vient le comment. C'est ce qu'évoque la troisième partie d'une façon qui, à l'évidence, ne peut pas rendre totalement compte de tous les volets pratiques de la thérapie, dont l'un des aspects essentiels est la manualité. L'autre difficulté est liée au caractère essentiellement individuel de chaque pathologie et de la nécessité dans laquelle se trouve le thérapeute d'ajuster ses principes de traitement à chaque cas particulier (chapitres 10, 11 et 12).

Enfin il est impossible de conclure sans parler de l'importance de la prévention et du maintien, ce qui occupe la quatrième partie.

Se trouve alors bouclé un cycle qui peut espérer remédier, avec quelque logique, aux pathologies qui sont l'apanage de notre profession ([Fig. 0.1](#)).



# Chapitre 1

## Fonction statique

L'organisation musculo-squelettique de l'homme force l'admiration. Elle a fait l'objet d'innombrables études qui constituent les bases de la physiothérapie.

C'est à juste titre que la fonction contractile des muscles a suscité, dès le départ, le plus grand intérêt. Les progrès dans la connaissance de la fonction dynamique ont très vite associé les caractéristiques biochimiques du muscle strié humain à ses finalités fonctionnelles. Les avancées réalisées en neurologie, surtout depuis Sherrington, ont été mises en rapport avec les nécessités de la contraction musculaire et de la coordination motrice. Les évolutions ont été remarquables.

En rééducation, la potentialisation musculaire est devenue, non sans quelque logique, la seule alternative au concept de faiblesse. Dès lors, la musculature n'a plus guère été remise en cause.

Malheureusement, la fonction statique n'a pas bénéficié de la même prise en considération. Non pas que le tonus neuromusculaire, que les propriétés des fibres musculaires lentes, ou celles du tissu conjonctif sont méconnues mais parce que la physiopathologie rétractile des muscles de la statique n'a pas été clairement identifiée. Son effet sur l'ensemble de l'activité musculaire et ses conséquences particulièrement lourdes au niveau de la morphologie ont été ignorés.

Sa prise en compte est pourtant indispensable pour qu'il soit enfin admis qu'un muscle peut être faible d'être trop raide et que les dysmorphismes sont liés aux raccourcissements musculaires chroniques.

Ne seront envisagés dans ce chapitre que les principaux éléments structurels impliqués dans le maintien de la posture.

### Les différents types de fibres musculaires

---

Du point de vue cinétique, deux types de fibres musculaires ont été identifiés. Sur le plan métabolique, des différences plus nettes et plus détaillées sont apparues. Elles concernent les caractéristiques biochimiques et, par conséquent, fonctionnelles du muscle strié (Bosco C., 1997) (Fig. 1.1).

Or, la force de contraction musculaire est conditionnée par le type de fibre dont chaque muscle est constitué et non seulement par le nombre et la synchronisation des unités motrices recrutées.

Il existe plusieurs moyens de classer les fibres musculaires volontaires, basés donc sur leurs caractéristiques biologiques, mais aussi sur leur composition histochimique et leur phénotype. Quelle que soit la méthode employée, le résultat montre la présence de fibres qui vont de celles de contraction lente, résistantes à la fatigue, à celles de contraction rapide, facilement fatigables (Yang H., Alnaqeeb M., Simpson H., Goldspink G., 1997).

Un système de classification commun les subdivise en type I (lentes – slow twitch – rouges); type IIa (intermédiaires, modérément rapides); type IIb (rapides – fast twitch – blanches). (Tableau 1.1)

Les fibres lentes de type I sont de faible diamètre, bien irriguées, elles privilégient la filière aérobie. Elles entrent en jeu dans la plupart des mouvements qui ne réclament pas plus de 20 % de la production maximale de force (Burke R.E. et Edgerton V.R., 1975).



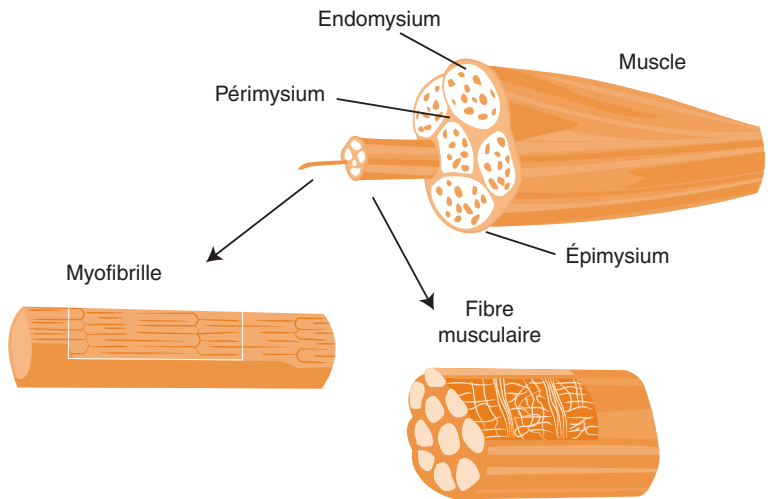


Fig. 1-1. Le muscle strié.

Tableau 1-1 Caractéristiques anatomo-physiologiques des fibres musculaires.

	Type I	Type IIa	Type IIb
Vitesse de contraction	Lentes (5–15 Hz)	Modérément rapides (15–40 Hz)	Rapides (50–100 Hz)
Force de contraction	Légère	Variable	Haute
Fatigabilité	Résistantes à la fatigue	Plutôt résistantes à la fatigue	Rapidement fatigables
Longueur des fibres	+	++	+++
Longueur des sarcomères	+	+++	+++
Nombre de myofibrilles par fibre	+	++	+++
Nombre de fibres de l'unité motrice	+	++	+++
Temps de contraction de la fibre (ms)	100–150	50–90	40–80

● **Points clés**

Les muscles constitués en majeure partie de fibres lentes, de type I, sont à vocation statique, grâce à leur contraction maintenue dans le temps, peu sujette à la fatigue et donc propre à la résistance.

C'est ainsi que le soléaire est presque entièrement constitué de fibres lentes, alors que le quadriceps présente une composition mélangée.

Les fibres rapides de type IIb sont de gros diamètre, peu irriguées, mais disposent de réserves importantes en glycogène et d'un réticulum sarcoplasmique développé. Elles privilégient la filière anaérobie.

Les fibres rapides de type IIb sont capables d'exprimer plus de force dans un laps de temps limité (Moss C.L., 1991).

Les fibres intermédiaires de type IIa témoignent d'un continuum dans la mise en jeu progressive des fibres lentes puis rapides (Greenhaff P. et Timmons J., 1998).

Pour certains auteurs, entrent en jeu successivement les fibres lentes, puis les intermédiaires et enfin les rapides, dans les activités qui vont de la course lente (jogging) aux mouvements à caractère explosif (saut) (Stuart D.G. et Enoka R.M., 1983).

La loi de Henneman (*size principle*) établit que les fibres lentes sont recrutées avant les rapides, quel que soit le type de mouvement.

Si les fibres de type IIb sont globalement capables de produire plus de force que celles de type I, il ne semble pas, en revanche, qu'elles soient plus puis-

santes individuellement. La différence serait due, en réalité, au nombre de fibres recrutées. Les motoneurons affectés aux fibres lentes sont de petit diamètre et innervent de 10 à 180 fibres. Ceux des fibres rapides possèdent un plus gros diamètre et concernent de 300 à 800 fibres musculaires.

L'organisation en « mosaïque » entraîne une distribution en pourcentage qui contribue à définir la fonction de chacun des muscles striés (Tableau 1.2).

Les fibres musculaires mesurent en moyenne de 3 à 4 cm et sont en général capables de se raccourcir dans une proportion de 2/3 de leur longueur.

L'activité musculaire statique constante provoque une augmentation de la section transversale des fibres musculaires, une hypertrophie sélective des fibres lentes et une évolution métabolique des fibres de type IIb en type I (Gollnick P. D. et coll., 1972 ; Eisenberg B. R., Salmon S., 1981).

L'âge entraîne une amyotrophie et les fibres rapides régressent au profit des lentes (Maton et Bouisset, 1996).

**Tableau 1-2** Pourcentage de fibres lentes (type I), intermédiaires (type IIa), rapides (type IIb) dans quelques muscles striés (Johnson et coll., 1973 ; Pierrynowski et Morrison, 1985).

Muscles	Type I Lentes %	Type IIa Intermédiaires %	Type IIb Rapides %
Soléaire	75	15	10
Tenseur du fascia lata	70	10	20
Grand adducteur	55	15	30
Grand fessier	50	20	30
Psoas	50	20	30
Iliaque	50		50
Semi-membraneux	50	15	35
Grand dorsal	50		50
Delhoïde	60		40
Trapèze	54		46
Rhomboides	45		55
Biceps brachial	50		50

La grande majorité des muscles striés possède plus de fibres lentes que de fibres rapides

## Les tissus

Trois éléments possèdent des propriétés élastiques susceptibles de résister aux sollicitations en étirement et donc de garantir la stabilité (Proske et Morgan, 1999) :

- le tissu conjonctif ;
- les structures élastiques du sarcomère ;
- les ponts d'actine et de myosine.

Le modèle proposé par Hill en 1957, et souvent agrémenté par la suite, distingue une composante contractile, une composante élastique en série et une autre en parallèle. La composante contractile se subdivise en un générateur de force (les protéines actine-myosine) et un élément visqueux (résistance passive symbolisée par un piston) (Fig. 1.2).

Les composantes élastiques en série regroupent les myofilaments eux-mêmes, leurs liaisons longitudinales, les attaches entre les filaments et le tendon, le tendon lui-même.

Les structures en parallèle sont surtout représentées par l'endomysium, le périmysium et l'épimysium (voir fig. 1.1). La contraction musculaire met en tension les éléments élastiques qui transmettent la force au tendon. Dans l'étirement, tous les éléments, en série et en parallèle, sont mis en traction (Labeit et coll., 1997 ; Zalpour, 2002).

Huijing (1994) a schématisé tous les acteurs de l'élasticité musculaire en série et en parallèle.

Y apparaissent les structures intimes du muscle (pontage actine-myosine et myofilaments), ainsi que l'organisation des structures conjonctives parvenant au tendon puis à l'insertion terminale (Fig. 1.3).

La proportion entre les éléments en série et en parallèle varie suivant la structure anatomique et la forme des muscles.

La transmission de l'activité musculaire sous forme de contraction ou de résistance ne peut se faire uniquement en série. Winegrad et Robinson (1978), Patel et Lieber (1997), Huijing (1999) l'ont prouvé. Mais le modèle de l'attelage permettrait de l'anticiper. Le corps musculaire a une section ventrale plus importante que celle de ses

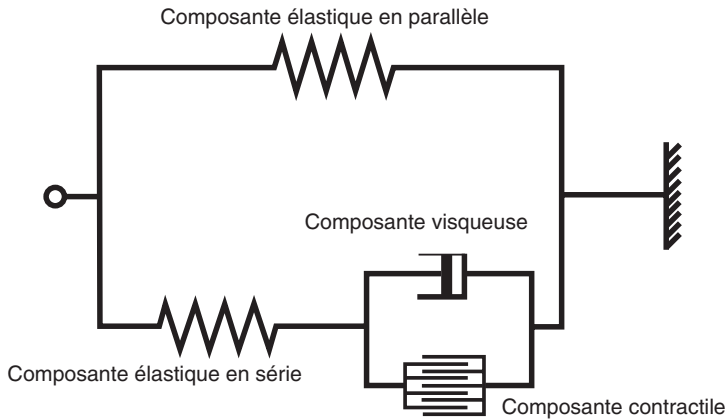


Fig. 1-2. D'après le modèle de Hill.

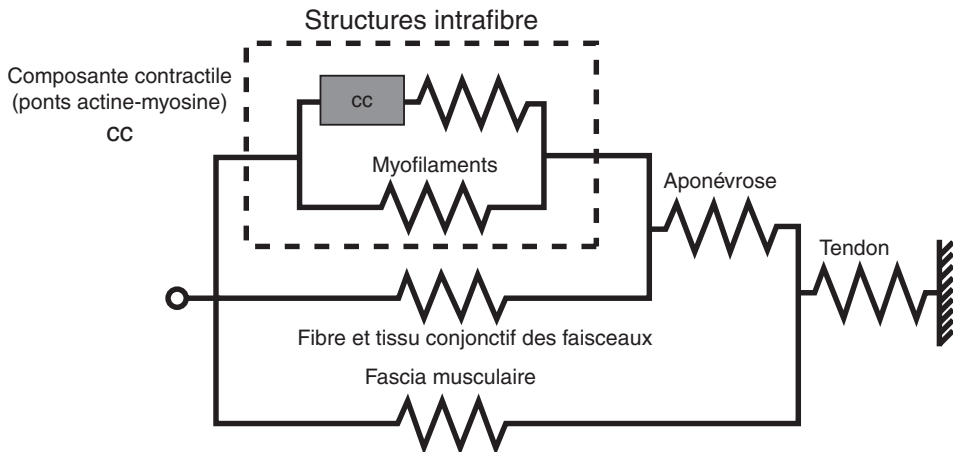


Fig. 1-3. Représentation de l'unité musculo-fibreuse (d'après Huijing, 1994).

attaches au niveau du tendon terminal, principalement lorsqu'il s'agit de muscles triangulaires ou fusiformes. La transmission de force de chaque unité motrice mise en jeu ne peut parvenir intégralement et sans dommage au tendon, puis à l'os, que grâce à une organisation de timon en parallèle.

La quantité et les proportions du tissu conjonctif varient avec la fonction du muscle (Shadwick 1990).

### ● Points clés

Les muscles de la statique sont particulièrement riches en tissu conjonctif.

## Le collagène

Les protéines collagènes (du grec : colle) sont les plus répandues du monde animal. Fibreuses, peu élastiques, appelées également structurales, elles constituent la majeure partie du tissu conjonctif modelé (80 % du poids total). On en répertorie à l'heure actuelle 25 types, divisés en six groupes. Le collagène de type 1 se retrouve dans la plupart des tissus conjonctifs.

Les fibres de collagène baignent dans la substance fondamentale du tissu conjonctif, sorte de gel contenant de nombreuses molécules d'eau.

La molécule de base du collagène est formée de trois chaînes polypeptidiques enroulées en triple hélice. Les multiples brins sont, à leur tour, torsadés en sens inverse, ce qui les comprime et leur donne l'apparence d'un cordage tressé. (Fig. 1.4 a)

Les liaisons croisées (ponts ou liaisons covalentes) entre les brins freinent leurs glissements relatifs. Leur nombre conditionne la cohérence et la résistance de l'ensemble. Ce principe de renforcement transversal se retrouve à tous les niveaux du muscle.

### ● Points clés

À l'étirement, les fibres de collagène glissent les unes par rapport aux autres. Leur résistance dépend du nombre de liaisons croisées (Fig. 1.4 a, b et c).

Bien que peu extensibles, les fibres de collagène sont donc capables de se réorganiser après étirement (Viidik, 1973; Sapega, 1981). En outre, leur structuration en torsion, en ondulation, en maillage (trame grillagée) est une des explications de cette propriété déjà notable au niveau des acides aminés qui les constituent.

La résistance à l'étirement varie en fonction de la disposition des fibres (Fig. 1.5).

### ● Points clés

La force d'inertie développée par le collagène est essentielle à un maintien économique de la station érigée.

Plus le tissu conjonctif est riche en eau, plus il est déformable (Sasaki et Enyo, 1995).

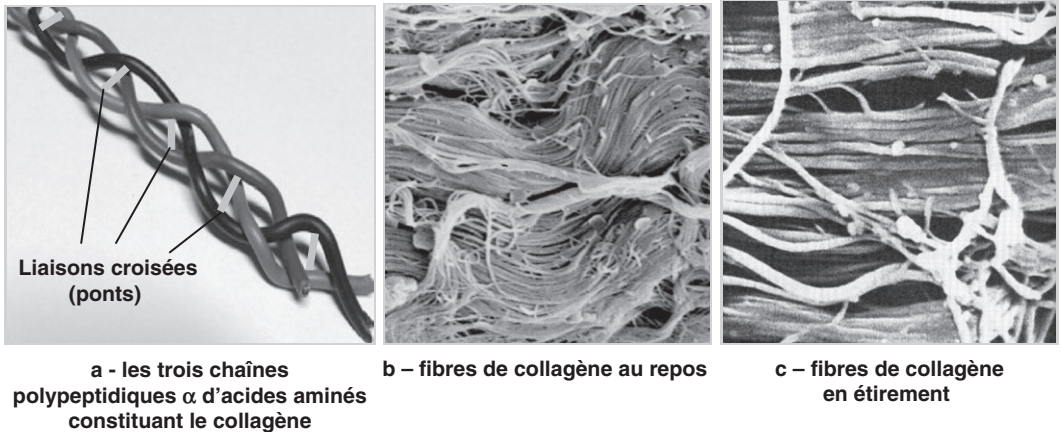


Fig. 1-4. a, b et c.

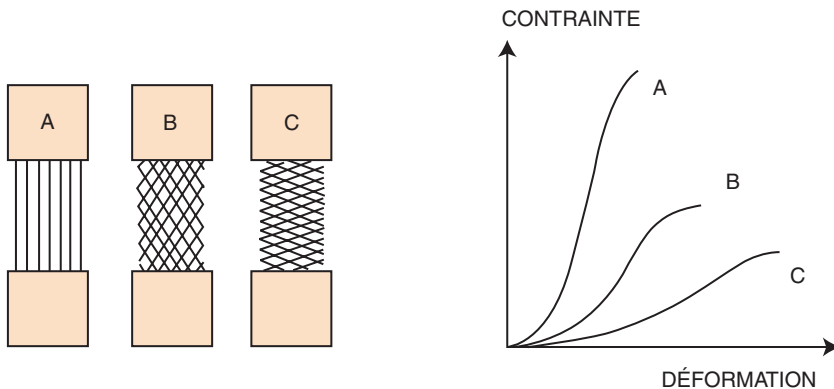


Fig. 1-5. Résistance à l'étirement du tissu conjonctif (d'après Viidik et Vuust, 1980).

A – La disposition unidirectionnelle axiale des fibres augmente la résistance. B et C – Les structururations tridimensionnelles ont un effet de ressort en rapport avec leur orientation.

La concentration de collagène est plus élevée dans les muscles à fibres lentes (Kovanen et coll., 1984), ce qui contribue à améliorer leur fonction de maintien.

Les liaisons inter-fibres cessent d'augmenter à partir de 20 ans environ (Viidik, 1982).

Les fibres de collagène perdent leur souplesse avec l'âge (Cotta, 1978).

Un muscle soumis à un raccourcissement augmente sa proportion de collagène au niveau du périmysium après seulement 48 heures. Il en est de même au niveau de l'endomysium après 7 jours. (Huet de La Tour E., Tardieu C., Tabary J.C., Tabary C., 1979; Williams P., Catanese T., 1988).

### ● Points clés

La proportion de collagène augmente à l'immobilisation.

## L'élastine

Il s'agit d'une autre protéine fibreuse structurale. À l'inverse du collagène, elle possède des propriétés élastiques lui permettant de s'étirer jusqu'à 150 % de sa longueur au repos. L'élastine représente 90 % des fibres élastiques.

Il est intéressant de remarquer que les acides aminés constituant les protéines des tissus les plus élastiques ne sont pas organisés d'une façon linéaire. Dans le règne animal il en est ainsi de la soie d'araignée (tresse hélicoïdale et feuillet en accordéon) et de la résiline de certains insectes (chaîne protéique en U). La soie d'araignée est plus résistante que l'acier, tout en présentant un taux étonnant d'allongement avant rupture de 40 %. La résiline, absente chez l'homme, est plus élastique que le meilleur caoutchouc synthétique. Les protéines humaines dans leur forme tertiaire tridimensionnelle associent, en proportions variées, feuillet bêta, hélice alpha et forme indéterminée. Outre le taux de viscoélasticité des molécules, la forme des composants des chaînes protéiques conditionne leurs propriétés élastiques.

Sécrétée principalement durant la croissance, la synthèse de l'élastine s'arrête vers la puberté (Butel, 1980). Avec l'âge, l'élastine est remplacée progressivement par du collagène (Goldberg, 1984; Micheli, 1986).

### ● Points clés

Les tissus conjonctifs (aponévroses, tendons, ligaments) sont formés principalement d'élastine souple et de collagène plus résistant. Avec l'âge, l'élastine régresse au profit du collagène. Leurs propriétés élastiques respectives diminuent.

## Les aponévroses

Les aponévroses d'enveloppe (épimysium) sont constituées de plusieurs plans de fibres de collagène micro-vacuolaire. Celles-ci sont parallèles entre elles pour un niveau donné. Mais, d'un plan à l'autre, l'orientation des fibres change, créant ainsi un système entrecroisé. Cette organisation de maillage leur permet d'accompagner aussi bien l'amincissement du corps musculaire, en cas d'étirement que son gonflement, en cas de contraction.

Elles cloisonnent les muscles qu'elles entourent et favorisent leur glissement. Elles prennent le nom d'aponévrose d'intersection lorsqu'elles se rejoignent (ligne blanche de l'abdomen) ou d'insertion lorsqu'elles contribuent à l'attache du muscle sur l'os en fusionnant avec le tendon.

### ● Points clés

Les aponévroses séparent les muscles, facilitent leur glissement, renforcent leur résistance et accompagnent leurs modifications de volume.

## Les fascias

L'expression fascia (du latin : bande) est souvent donnée comme synonyme d'aponévrose et parfois employée indifféremment (aponévrose plantaire ou fascia plantaire).

En réalité, elle qualifie plutôt les expansions fibreuses des enveloppes musculaires, créant une continuité et des relais préférentiels au sein du tissu conjonctif. Les fascias couvrent une bonne partie du spectre de l'élasticité du collagène. Ils vont des plus souples aux plus résistants.

Le fascia superficialis, qui est une couche celluleuse englobant tout le corps sans aucune interruption, entre dans la première catégorie. Très mince dans certaines parties du corps, il s'épaissit en particulier au niveau du pubis.

Les autres fascias (lombaire, cervico-abdomino-pelvien, etc.) sont, à des degrés divers, peu extensibles. Le fascia lata et le fascia plantaire sont parmi les plus épais et les plus rigides (Fig. 1.6 a, b et c).

La mise en évidence de l'omniprésence de cette charpente fibreuse, de son caractère plurisegmentaire et de ses renforcements a indubitablement contribué à asseoir l'idée de l'importance des corrélations fasciales ou myofasciales.

Ce réseau s'étend aux viscères dont il assure la suspension et la stabilité. Une interdépendance structurelle viscéro-squelettique est ainsi créée.

### ● Points clés

Le système fascial profond constitue un réseau fibreux peu extensible. Sa résistance passive joue un grand rôle dans la fonction statique.

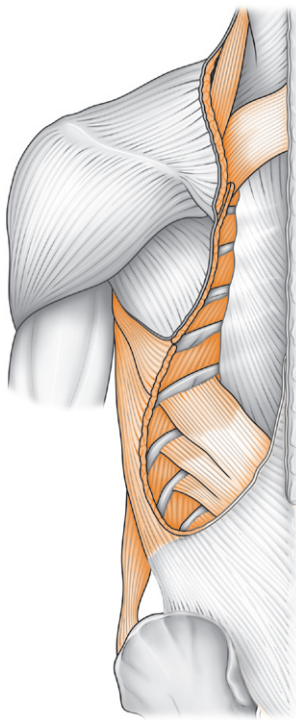
## Les tendons

Ils sont constitués de 70 % à 80 % de collagène (Kastelic et coll., 1978) ce qui les rend particulièrement résistants à l'étirement. Les fibres sont structurées en parallèle (cinq superpositions de faisceaux).

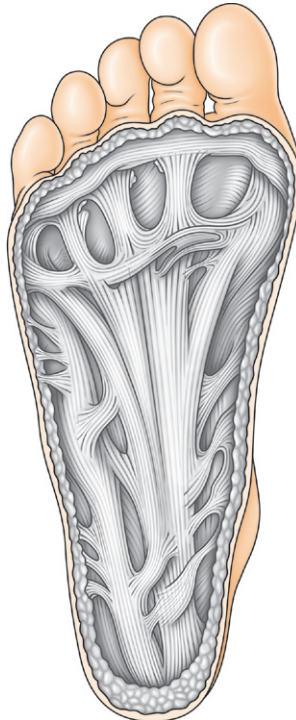
Chaque couche possède sa propre enveloppe, ce qui renforce l'ensemble (Fig. 1.7).

Pour Viidik (1973) un tendon passe d'une position initiale ondulée à une disposition linéaire, lorsque sa déformation est de 1 % à 2 %. Des ruptures partielles apparaissent entre 3 % et 8 %, la rupture totale est atteinte au-delà de 8 % (Buttler et coll, 1978) (Fig. 1.8).

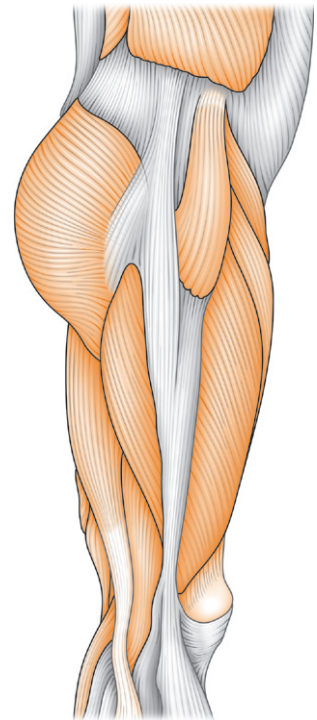
La résistance des tendons à la charge varie en fonction de leur épaisseur (Fig. 1.9 a).



a – Fascia thoraco-lombar



b – Fascia plantaire  
(D'après WernerPlatzer)



c – Tractus iliotibial du fascia lata

Fig. 1-6. a, b et c.



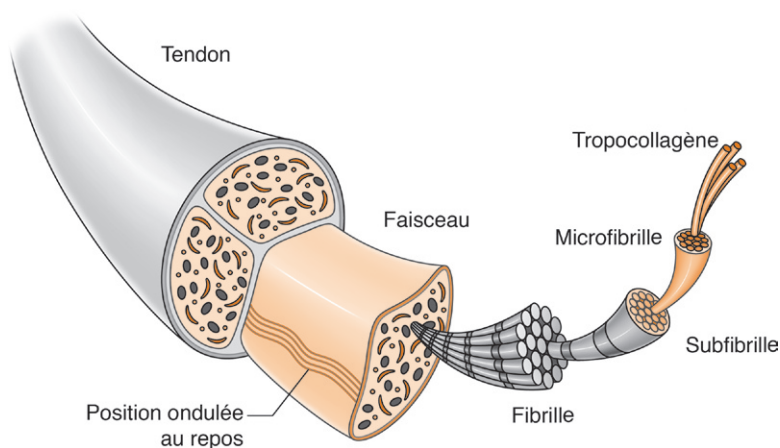


Fig. 1-7. Les différentes épaisseurs du tendon (d'après Kastelic et coll., 1978).

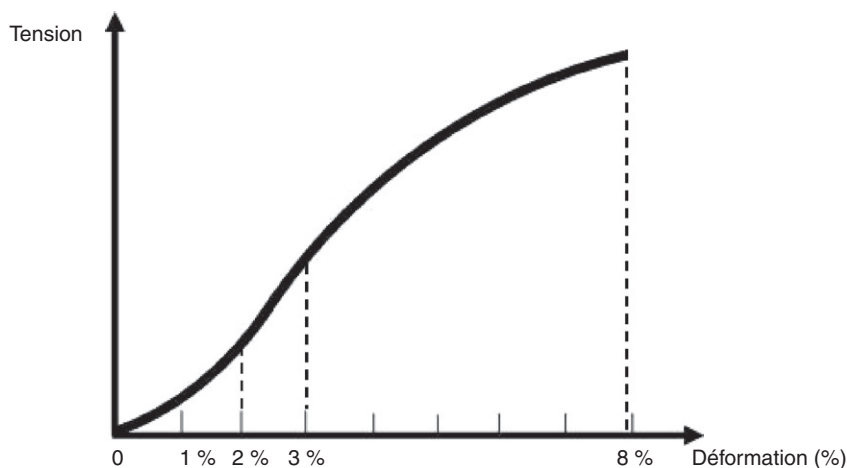


Fig. 1-8. De 1 % à 2 % - les fibres perdent leur forme ondulée et deviennent linéaires.

De 3 % à 8 % - des microruptures apparaissent.

À partir de 8 %, rupture totale. (d'après Butler et coll. 1978)

Leur capacité d'allongement à contrainte égale dépend de leur longueur d'origine au repos (Fig. 1.9 b).

La transmission de force du muscle au tendon se fait par le biais d'une structure transversale : la lame de base. Elle possède de nombreux replis permettant d'amortir les tensions et de lui faire jouer un rôle intermédiaire de tympan.

Au niveau de son insertion osseuse, les fibres les plus périphériques du tendon se mêlent à celles du périoste, les fibres centrales pénètrent la corticale.

### ● Points clés

Les tendons sont très peu extensibles. L'organisation parallèle de leurs fibres permet une transmission directe entre le muscle et l'os.

## Les capsules articulaires

Il s'agit de manchons fibreux hermétiques entourant complètement les articulations et composés d'une membrane interne synoviale et externe fibreuse.

La membrane synoviale est riche en fibres élastiques, en vaisseaux et en nerfs.

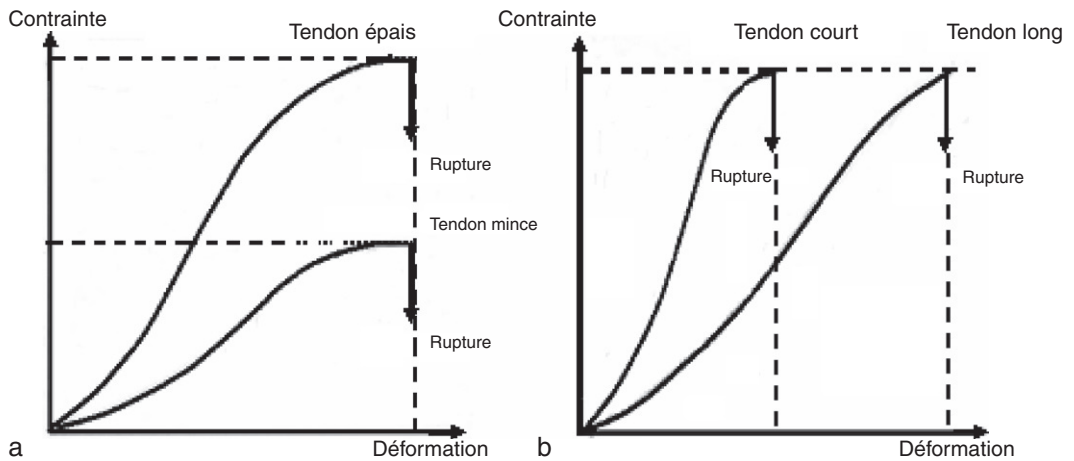


Fig. 1-9. a et b D'après Butler et coll, 1978.

La membrane fibreuse présente peu d'élastine mais une forte proportion de collagène. Elle est très résistante.

Les capsules peuvent être renforcées par des ligaments capsulaires, des fascias ou des attaches musculaires. C'est ainsi qu'au niveau de l'épaule le sous-scapulaire, le sus-épineux, le petit rond et le tendon du long triceps adhèrent à la capsule.

L'épaisseur et l'orientation des fibres dépendent de l'importance des contraintes, à savoir : liberté d'amplitude physiologique du mouvement ou passage de la ligne de gravité.

### ● Points clés

Les capsules résistent en particulier aux contraintes de traction, contribuant ainsi au maintien de la coaptation articulaire.

En 1984 Johns et Wright ont établi un classement de résistance à la mobilisation articulaire de différentes structures présentant des fibres collagènes. Les ligaments n'y apparaissent pas (Tableau 1.3).

La limitation des amplitudes articulaires physiologiques entraîne la rétraction de la capsule.

## Les ligaments

Ils peuvent être fondus dans la capsule (intrinsèques) ou extra-capsulaires (extrinsèques). Même lorsqu'ils sont distants de la capsule on peut les

**Tableau 1-3** Taux de résistance par rapport à la résistance articulaire totale (d'après Johns et Wright, 1984).

Éléments anatomiques	% de résistance
Capsule articulaire	47 %
Muscle	41 %
Tendon	10 %
Peau	2 %

rencontrer à l'intérieur de l'articulation. C'est le cas des ligaments croisés du genou.

70 % à 80 % de leur poids sec sont du collagène, en particulier du type I (Burgeson et Nimni, 1992).

L'élastine représente 3 % à 5 % du total. Les ligaments intrinsèques présentent un peu plus de collagène de type III. Leurs propriétés sont plus fibro-cartilagineuses, ce qui les rend encore plus résistants.

Hoffmann et Grigg (1989) ont montré l'importance frénatrice des ligaments. Lors d'expériences réalisées sur le ligament postérieur du genou du chat, seuls 4 % de la contrainte totale en extension parviennent à la capsule.

La capacité d'allongement des ligaments serait environ de 10 % (Thein, 1999). Mais, suivant leur localisation et la variation des proportions entre collagène et élastine, les propriétés mécaniques changent. C'est ainsi que le ligament jaune de la colonne vertébrale est plus extensible.

La composition des ligaments s'apparente donc à celle des tendons. Ils diffèrent de ceux-ci par



l'orientation des fibres. Contrairement aux tendons, les fibres des ligaments sont multidirectionnelles, de façon à pouvoir toujours opposer une résistance à chaque type de contrainte, quelle qu'en soit l'orientation.

Cela signifie que la résistance du tendon est indissociable de la tension musculaire. Celle des ligaments en est plus indépendante.

### ● Points clés

Les ligaments sont des freins passifs multidirectionnels. Leur action est déterminante lorsque la tension musculaire est minimale.

Il est toutefois arbitraire de mettre systématiquement en opposition l'orientation parallèle unidirectionnelle des fibres tendineuses avec celle multidirectionnelle des ligaments. Lorsqu'une articulation est desservie par différents muscles, ceux-ci forment un réseau aux orientations multiples. Les tendons peuvent pénétrer la capsule ; fascias et aponévroses d'insertion sont souvent intimement liés au tissu conjonctif périartculaire. Mais il est juste de souligner l'importance cruciale des capsules et des ligaments au niveau des articulations dépourvues de muscles courts, par exemple les phalanges des doigts.

La mobilité améliore la résistance à la rupture des tendons et des ligaments (Woo et coll, 1981). L'immobilisation a l'effet inverse (Walsk et coll., 1993 ; Newton et coll., 1995).

Après huit semaines d'immobilisation plâtrée un ligament voit sa capacité d'absorption de la charge avant rupture diminuer de 39 % (Noyes, 1977). Le diamètre des fibres de collagène se réduit (Newton et coll., 1995).

## Les éléments élastiques du sarcomère

La titine (connectine) retient particulièrement l'attention. Il s'agit de la plus grosse protéine connue. Elle est disposée en série depuis la strie Z (disque Z) jusqu'à la myosine. Elle est particulièrement sollicitée lors des étirements (Wang et coll., 1979 ; Wydra, 1997 ; Labeit et coll., 1997 ; Vieman et Klee, 2000) et en particulier dans les grandes longueurs (Whithead et coll., 2002). Elle est composée de deux parties, la moins extensible est liée à la myosine (Patel et Lieber, 1997).

Son élasticité a pour rôle de ramener le sarcomère dans sa position d'origine après allongement (Cazorla et coll., 2001) (Fig. 1.10 a et Fig. 1.10 b).

Les stries Z transversales sont attachées aux costamères du sarcolemme par une protéine, la desmine, qui assure ainsi la stabilité latérale de la fibre musculaire (Patel et Lieber, 1997) (Fig. 1.11 a).

Les myofibrilles sont donc reliées latéralement au sarcolemme, les fibres à l'endomysium, les faisceaux

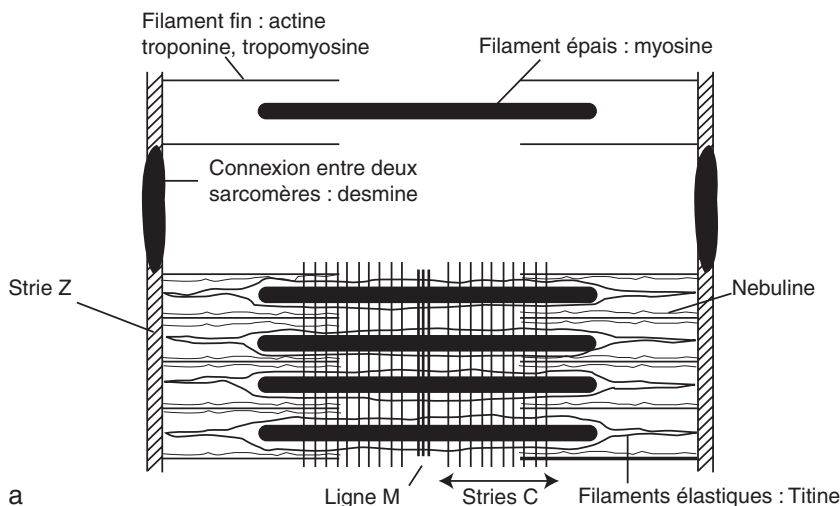
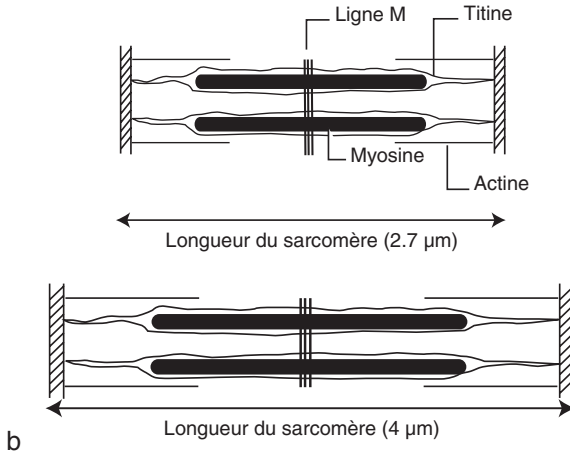
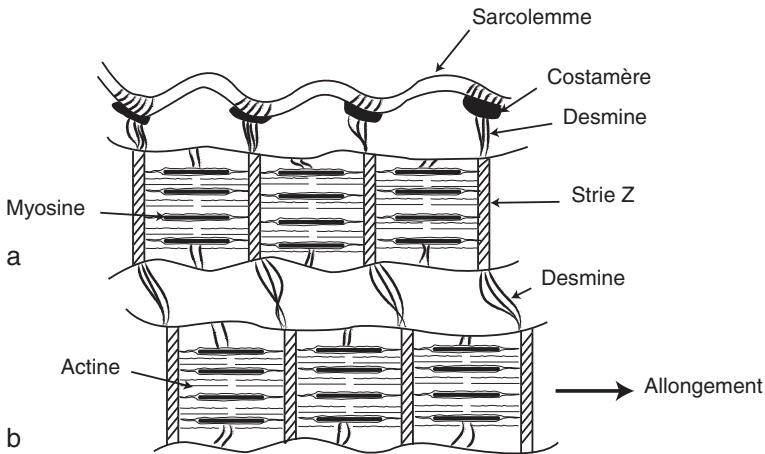


Fig. 1-10. a. Les éléments élastiques du sarcomère (d'après Billeter R. et Hoppeler H., 1994).



**Fig. 1-10. b.** La titine, élément élastique reliant la myosine à la strie Z (d'après Horowitz R. et Podolsky R., 1987). En haut, muscle en repos ; en bas, muscle en allongement.



**Fig. 1-11. a et b.** Modification de l'orientation des fibres de la desmine (d'après Friden et Lieber, 2001). a. Muscle au repos. b. Muscle étiré.

de fibres au périmysium et les muscles à l'épimysium ou aponévrose d'enveloppe.

En cas d'allongement, le glissement des sarcomères modifie l'orientation des fibres de la desmine. En s'étirant, elles deviennent plus longitudinales et participent donc, dans ce cas, elles aussi, au rappel axial (Komi, 2003) (Fig. 1.11 b).

La nébuline est une autre protéine disposée axialement le long de l'actine.

### ● Points clés

Des protéines intrafibres assurent le rappel élastique du sarcomère.

## Les ponts d'actine et de myosine

Lors d'un étirement passif, l'actine et la myosine sont également concernées.

Des mesures effectuées par Magid et Law (1985) montrent que la tension passive du muscle est liée à ses structures internes, plus qu'à la résistance du tissu conjonctif (endomysium, périmysium, épimysium). Hutton (1994) insiste sur le rôle des sarcomères et des ponts entre filaments d'actine et têtes de myosine, et Lakie (1998) privilégie les ponts.

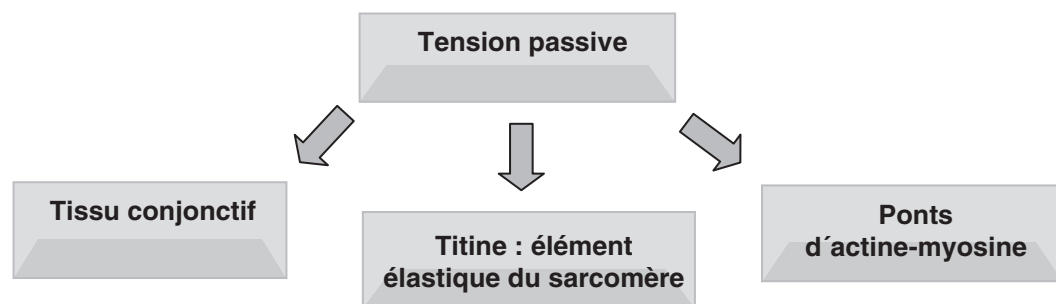


Fig. 1.12. D'après Proske et Morgan.

Proske et Morgan (1999) ont proposé à leur tour une classification, tenant compte des éléments constitutifs propres au muscle. Ils insistent sur le rôle de l'actine-myosine et sur celui des éléments élastiques du sarcomère.

Au sein de cet ensemble ils privilégient les ponts entre l'actine et la myosine, qui maintiennent une activité minimale stable, même au repos. (Fig. 1.12)

Un muscle présente toujours une tension minimale (longueur dite de repos). Il se raccourcit lorsqu'il est désinséré (longueur dite d'équilibre). La longueur de repos lorsqu'il est en place représente 125 % de la longueur d'équilibre.

### ● Points clés

La stabilité au repos des ponts actine-myosine du muscle inséré est donc le résultat d'une activité contractile de fond s'opposant à une charge de base constante.

L'effet de transmission/rappel des éléments élastiques intra-fibres contribue à maintenir et à rétablir les distances longitudinales entre la fibre Z et la myosine. Ils déterminent donc l'importance du recouvrement entre actine et myosine (nombre de ponts en contact) (voir fig. 1.10 a et b).

### ● Points clés

Les tissus élastiques du sarcomère jouent un rôle fondamental dans le maintien de la position de l'actine par rapport à la myosine. Ils sont essentiels dans la stabilisation du nombre de ponts au repos.

Les tensions musculaires post-mortem sont différentes. Le corps entre d'abord dans une période de flaccidité qui dure environ trois heures. Apparaît ensuite la rigidité cadavérique, qui n'est pas accom-

pagnée de raccourcissement musculaire. Elle est due à l'arrêt des pompes ATPasiques entraînant une accumulation de  $\text{Ca}^{++}$  dans le réticulum endoplasmique. Des ponts se forment en position figée.

## L'optimisation de la force active

La force myotensive que peut développer le muscle strié est variable.

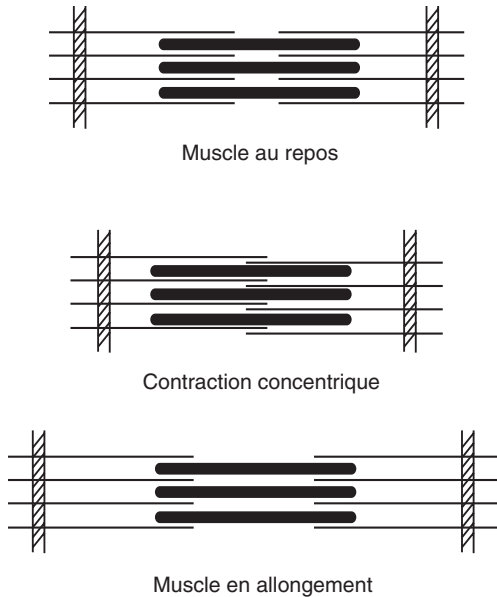
En 1954 H.E. Huxley, J. Hanson et A.F. Huxley, R. Niedergerke ont élaboré la théorie des filaments glissants qui a été démontrée par Gordon et coll. en 1966. La force développée par le sarcomère dépend du nombre de ponts établis (importance du recouvrement) entre les filaments d'actine et de myosine (Fig. 1.13).

La courbe de tension/longueur du sarcomère (force disponible en fonction des différentes positions) rend compte des situations favorables ou défavorables (Gordon et coll., 1966) (Fig. 1.14).

Le maximum de force que le muscle peut développer en conditions isométriques est donc centralisé autour de sa longueur au repos (position A).

Sachant par ailleurs que les dimensions des différents composants des sarcomères sont conservées au cours de l'évolution des vertébrés et que l'actine et la myosine ne varient pas de dimensions, quelle que soit l'augmentation de longueur ou de volume du muscle, Goldspink s'est appuyé sur ces données pour justifier la création de sarcomères en série constatée sur l'animal immobilisé sous plâtre en allongement (Goldspink, C. Tabary, J.C. Tabary, C. Tardieu et G. Tardieu, 1974 ; Williams et Goldspink, 1971).

Ces expérimentations ont été corroborées sur l'homme (Proske et Morgan, 2000; Beckett et coll., 2001).



**Fig. 1.13** Force myotensive et recouvrement entre actine et myosine.

### ● Points clés

L'immobilisation en allongement crée des sarcomères en série.

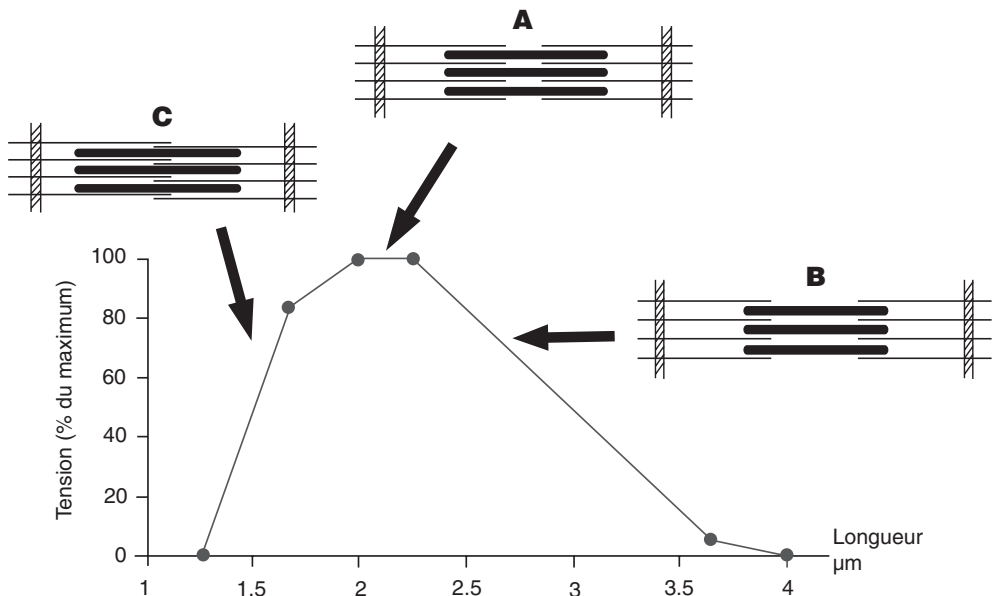
Suivant le principe de Goldspink, pour que le sarcomère puisse fonctionner en position de pontage le plus favorable (Sommet de la courbe de la [fig. 1.14](#)), le muscle doit adapter sa longueur en fonction des positions où il est le plus fréquemment sollicité.

Les nécessités fonctionnelles, dont une des composantes est le maintien de la posture, influencent la structure.

### ● Points clés

Le nombre de sarcomères en série varie pour optimiser le fonctionnement de chacun d'entre eux. La longueur totale du muscle évolue.

Cela peut expliquer pourquoi un muscle, même très fortement raccourci, peut encore développer une certaine force active. Il a « sacrifié » des sarcomères en série plutôt que de créer un chevauchement incapacitant la fonction contractile (Position C de la [fig. 1.14](#)).



**Fig. 1-14.** En A - nombre de ponts maximum - force maximum

En B - nombre de ponts réduit - force décroissante

En C - nombre de ponts réduit (chevauchement de l'actine) - force décroissante .

D'après Gordon et coll., 1966.

## La force passive

Elle dépend fondamentalement des tissus conjonctifs, dont les propriétés sont plus ou moins élastiques ou résistantes suivant la fonction du muscle auquel ils appartiennent.

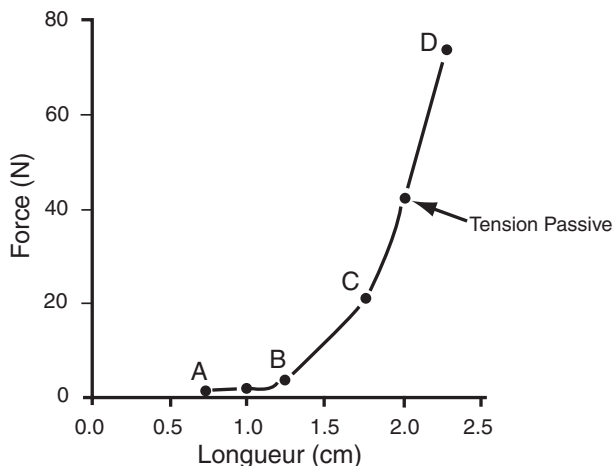
Le rôle stabilisateur articulaire des tissus fibroélastiques est à mettre en parallèle avec la contraction musculaire isométrique, leur capacité d'amortissement avec la contraction isotonique excentrique.

Mais le tissu conjonctif joue également un rôle essentiel de rappel élastique après étirement, qui augmente l'action isotonique concentrique des myofibrilles.

Un élastique emmagasine en effet l'énergie de la force d'étirement qui lui est appliquée, pour la restituer ensuite lorsque cesse la contrainte. La force engendrée est proportionnelle à l'allongement (Hooke :  $F = -K \Delta l$ ;  $K$  pour contrainte de raideur,  $\Delta l$  pour allongement). C'est le cycle étirement-raccourcissement (*Stretch Shortening Cycle*). Hendel (1997) et McHugh (1999) confirment que la souplesse augmente le stockage d'énergie lors de la mise en tension du muscle.

Dans l'étirement, la force de résistance, ou tension passive du muscle, augmente en fonction de l'allongement, suivant une courbe exponentielle caractéristique des matériaux viscoélastiques (Fig. 1.15).

Il s'agit d'une situation inverse de celle des myofibrilles, dont la force active diminue à l'étirement (voir fig. 1.14 position B).



**Fig. 1-15** Au début de la mise en traction les tissus présentent peu de résistance (A-B). Ensuite, la force doit augmenter pour obtenir le même gain de longueur (B-C). À partir du point C le comportement est pratiquement linéaire. Le point de rupture est atteint en D.

La superposition des courbes montre qu'à la décroissance de la force active se substitue l'augmentation de la force passive. La pointe de la courbe correspond à la force de tension totale (Fig. 1.16). Le début de force passive (D) varie suivant les muscles (Wilkie, 1968).

La loi de Franck Starling stipule que la pré-tension facilite le raccourcissement. Il est vrai que l'étirement musculaire amincit le muscle au niveau de sa section transversale, ce qui diminue l'espace latéral entre actine et myosine et augmente leurs probabilités d'inter-action (Moss, 2002). La sensibilité au  $Ca^{++}$  croît.

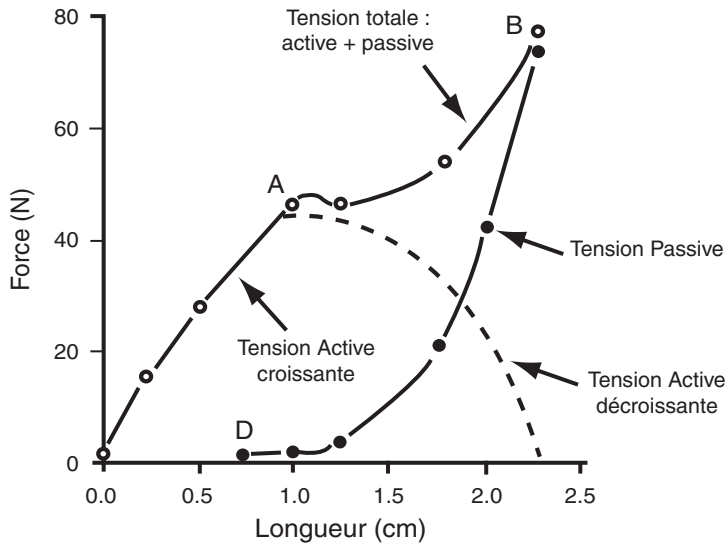
Mais à l'inverse il n'en demeure pas moins qu'un pré-allongement diminue le nombre, donc l'efficacité, des ponts actine-myosine. En l'absence d'action réflexe la facilitation ne peut donc venir que de la restitution de la force passive.

### ● Points clés

L'élasticité du tissu conjonctif conditionne la restitution de force passive en raccourcissement.

## La chronologie des mises en jeu

On sait que la contraction isotonique concentrique rencontre une certaine inertie et doit d'abord mettre en tension les éléments élastiques avant de pouvoir déplacer la charge.



**Fig. 1-16.** À partir du point A, la force active des myofilaments décroît (en pointillé). Elle est relayée par la restitution de la force passive élastique.

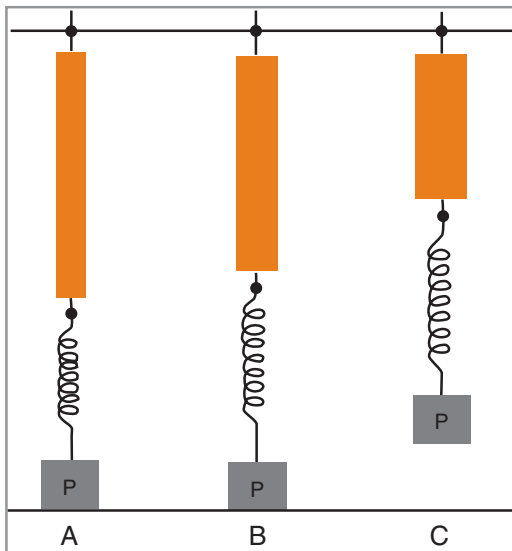
L'ordre de mise en jeu est le suivant :

1. contraction musculaire
2. mise en tension des structures élastiques
3. déplacement de la charge, la force passive s'additionnant à la force active (Fig. 1.17)

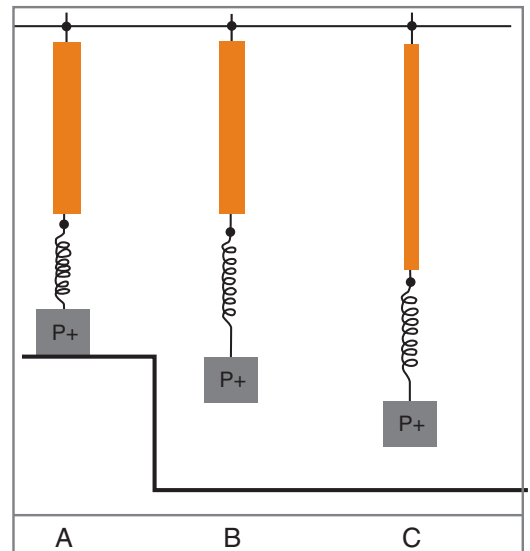
On peut en déduire qu'en contraction isotonique excentrique et en l'absence d'activation

nerveuse anticipée liée à des mouvements mémorisés, la chronologie mécanique s'établit ainsi :

1. éloignement de la charge
2. mise en tension des éléments élastiques, amortissement
3. contraction musculaire résistante (Fig. 1.18)



**Fig. 1-17.** Contraction isotonique concentrique.  
A – Position de repos. B – Contraction concentrique – mise en tension des éléments élastiques – temps de latence. C – Déplacement de la charge.



**Fig. 1-18.** Contraction isotonique excentrique.  
A – Position de repos. B – Mise en tension des éléments élastiques. C – Contraction excentrique.

Dans les deux cas les structures élastiques s'interposent en tampon. Lorsqu'il s'agit de résistance à l'étirement, la dépense énergétique est moindre. À charge égale, le travail excentrique est, en moyenne, trois fois plus économique que le concentrique (descendre les escaliers, plutôt que les monter).

### ● Points clés

L'élasticité des tissus conjonctifs offre une double économie d'énergie par :

- l'amortissement des contraintes arrivant aux myofibrilles, à l'étirement;
- l'aide à la contraction lorsque cesse l'étirement.

## Texture musculaire

Forme, structure et fonction sont indissociables. Sur le plan structurel, on peut parler d'architecture fasciculaire. La classification morphologique distingue des muscles longs, courts, plats ou larges, et annulaires (Fig. 1.19).

L'orientation des fibres change suivant la forme du muscle. Dans les muscles plats les fibres sont orientées dans la même direction. Les muscles fusiformes ont des fibres disposées longitudinalement et qui convergent vers le tendon. Dans les

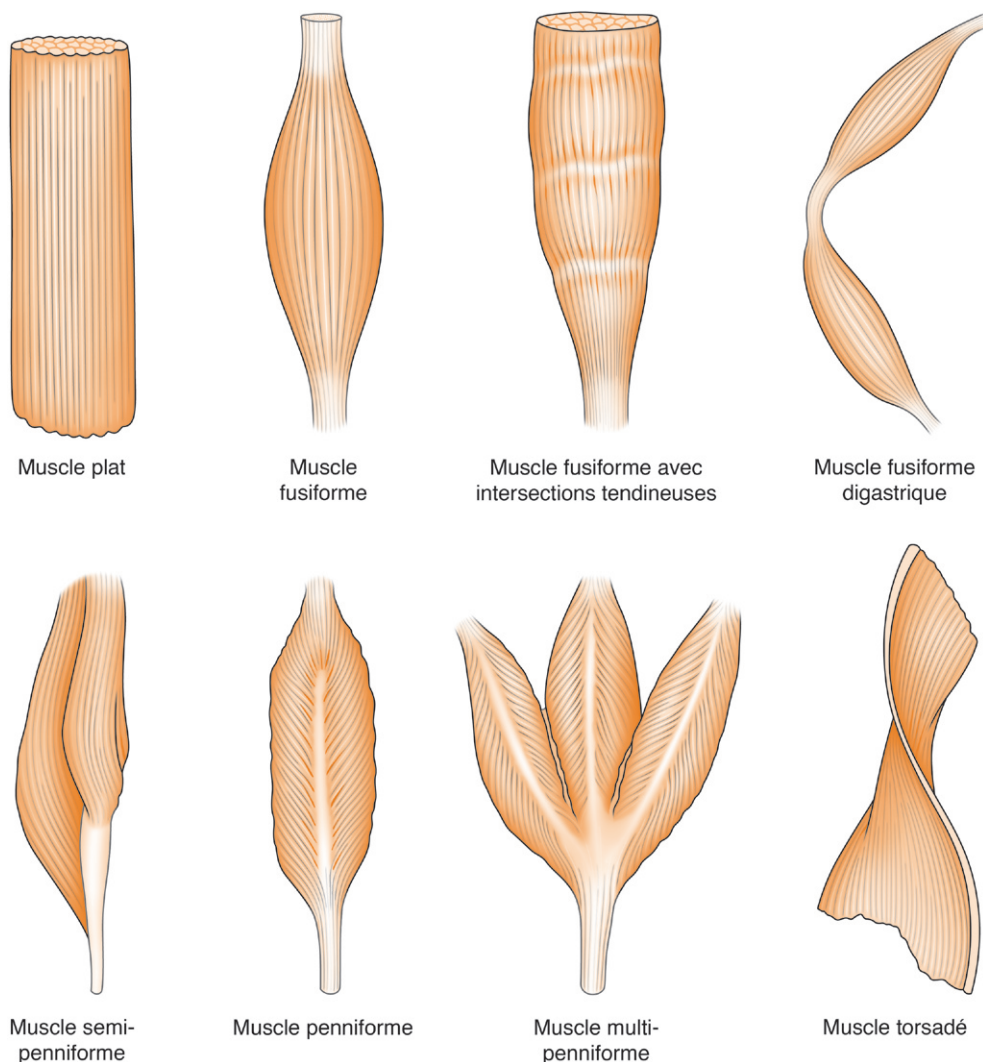
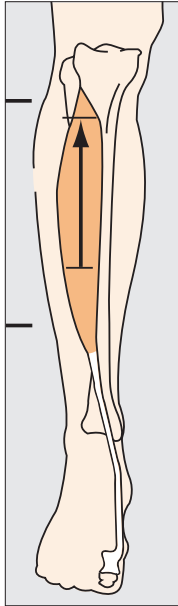
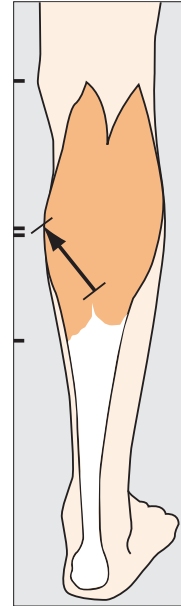


Fig. 1-19. Formes musculaires (d'après Barbara D. Commings).





**Fig. 1-20.** Action des muscles longitudinaux.



**Fig. 1-21.** Action des muscles penniformes ou semi-penniformes.

deux cas et à condition de se rappeler que la transmission de force ne se fait pas uniquement en série mais également en parallèle, on peut en déduire une résultante de force dirigée principalement vers les insertions (Fig. 1.20).

Les muscles à disposition longitudinale permettent donc des mouvements amples et rapides. Ils ne disposent pas d'une grande capacité d'amortissement en allongement.

Les muscles penniformes (de *penna* : plume) possèdent des fibres disposées obliquement (Fig. 1.21).

On distingue les semi-penniformes, les penniformes et les multi-penniformes.

Dans les deux derniers cas les tendons pénètrent profondément dans les muscles, renforçant considérablement leur résistance.

La force résultante au niveau du tendon terminal de ces fibres obliques dépend de l'importance de l'angle de pennation (Fig. 1.22 a et b).

Ils sont puissants, mais dans des amplitudes plus réduites. Ils assurent un freinage progressif en étirement. Ils sont à vocation statique.

La raison de ces caractéristiques physiologiques vient de la modification de l'angle de pennation.



**Fig. 1-22.** a et b. En contraction concentrique la force transmise au tendon est plus importante en a qu'en b. Inversement, l'amortissement à l'allongement est plus progressif en b qu'en a.

En contraction concentrique les fibres s'orientent de façon plus transversale, perdant ainsi une partie de leur efficacité axiale, ce qui est en accord avec des nécessités de mouvements de moindre amplitude.



À l'inverse, en étirement elles perdent de leur disposition transversale et se placent progressivement dans l'axe du tendon, assurant un amortissement modulé devenant de plus en plus résistant au fur et à mesure de l'allongement. L'efficacité de ces muscles croît en contraction isométrique excentrique ou isotonique excentrique (Fig. 1.23).

### ● Points clés

Les muscles fusiformes sont très réactifs à l'étirement.

Les muscles penniformes jouent un rôle essentiel dans l'amortissement des contraintes en allongement.



**Fig. 1-23.** Les muscles penniformes en étirement. La tension passive augmente à l'allongement.

La force musculaire dépend également de la surface de section transversale du muscle (*Cross Sectional Area*), c'est-à-dire, du nombre de fibres disposées en parallèle ou, pour simplifier, de l'épaisseur du ventre musculaire (entre 25 et 35 Newtons par  $\text{cm}^2$ ).

## Élasticité et rebond

La restitution de force élastique passive et la chronologie des mises en jeu de la contraction vis-à-vis des éléments élastiques appuient la thèse de Franck Starling : la pré-tension facilite le raccourcissement.

Mais un élastique préalablement étiré restitue une force égale, qu'on le relâche immédiatement ou de façon retardée. Il faut donc prendre en considération le facteur temps pour expliquer que, lorsqu'on réalise des flexions de genoux à partir de la position debout, il est plus facile de se relever si l'on n'observe pas de pause en position accroupie (économie de 30 % à 40 % chez l'homme).

Afin de réduire le temps de pontage défavorable des myofibrilles et synchroniser la contraction musculaire concentrique avec le retour de force passive, on ne peut que conclure à l'importance d'un autre facilitateur : le réflexe myotatique direct.

Dans les activités de maintien, lorsqu'il s'agit de contrôler de fortes contraintes en traction, entrent en jeu les réflexes d'inhibition.

## Les leviers

Seul un rappel succinct de leurs principes de fonctionnement s'impose ici pour comprendre basiquement comment s'organisent les forces qui produisent ou résistent à un mouvement.

Un levier est constitué d'un segment rigide, en l'occurrence un os, articulé de part et d'autre d'un point d'appui et soumis à deux forces qui tendent à le faire tourner en sens opposé.

La force musculaire appliquée peut déplacer, maintenir ou freiner un segment.

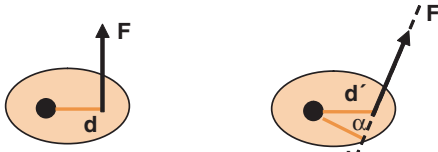
Le vecteur représente la direction, le sens et l'intensité de la force. Sa valeur s'exprime en Newtons. Un Newton (N) permet de communiquer à un kilogramme une augmentation de vitesse de 1 mètre par seconde, chaque seconde.

L'intensité d'une force définit l'efficacité de son action.

Le bras de levier est la droite perpendiculaire au vecteur force tirée depuis l'axe de rotation.

Le moment de la force est le produit de l'intensité de la force par la longueur de son bras de levier : c'est l'efficacité de la force de rotation (Fig. 1.24).

Si le vecteur force passe par l'axe, il n'engendre pas de rotation.



Moment de force =  $F \times d$

Moment de force =  $F \times d' \sin \alpha$

**Fig. 1-24.** Le moment de la force.

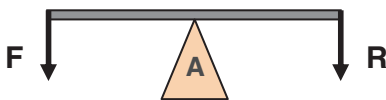
À l'équilibre, la somme des moments de force est nulle, il n'y a aucun déplacement (action isométrique, travail statique).

La force engendrée dépend donc fondamentalement de la distance entre l'insertion du muscle et l'axe articulaire et de l'angulation de ce dernier par rapport au segment.

## Types de leviers

**Leviers inter-appui, 1<sup>er</sup> genre**  
(modèle : balance de Roberval)  
(Fig. 1.25)

Ce type de levier est donné comme peu fréquent chez l'homme, alors qu'en réalité il est très répandu lorsqu'il s'agit d'assurer la position érigée.



**Fig. 1-25.** Levier inter-appui.

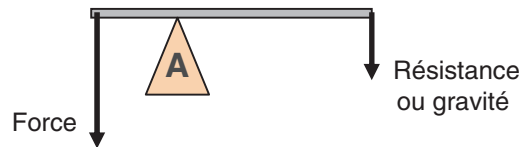
Nos muscles antigravitaires sont quasiment verticaux et fonctionnent à partir de points fixes inférieurs (les pieds, en position debout; le bassin, en position assise) (Fig. 1.26).

L'inter-appui est indispensable pour transformer leur action en force antigravitaire (Fig. 1.27).

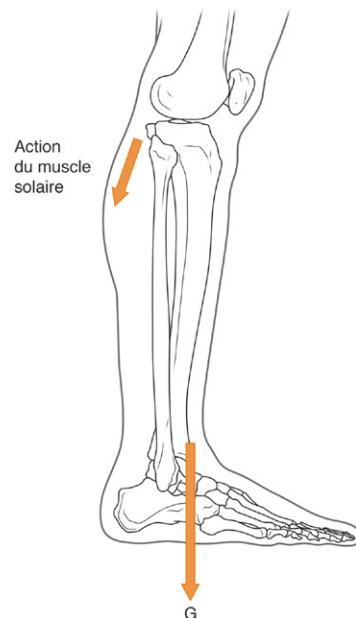
C'est ainsi que le soléaire assure la verticalité de la jambe, les ischio-jambiers la stabilité en rétroversion du bassin, les spinaux le maintien de la colonne dorsale et de l'occipital (Fig. 1.28, 1.29 et 1.30).



**Fig. 1-26.** Disposition des muscles postérieurs des membres inférieurs et de la colonne vertébrale.



**Fig. 1-27.** Distribution force-résistance.



**Fig. 1-28.** Exemple anatomique de levier inter-appui.

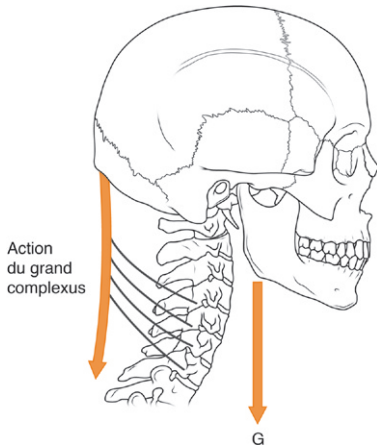


Fig. 1-29. Exemple anatomique de levier inter-appui.

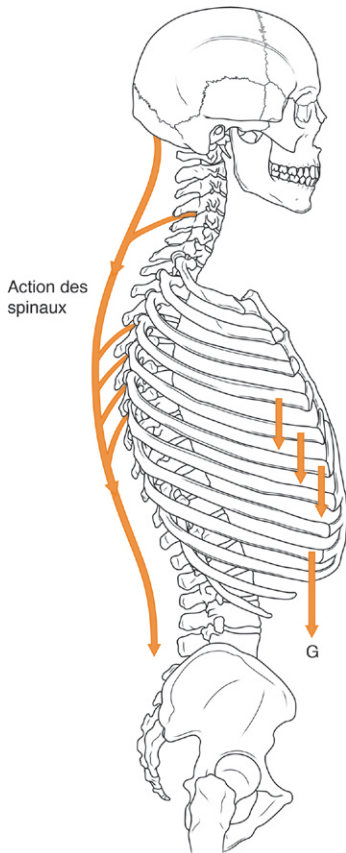


Fig. 1-30. Exemple anatomique de levier inter-appui.

Si le point d'appui se rapproche du point d'application de la force, le levier réalise des mouvements rapides et de grande amplitude, mais doit employer

une force importante pour compenser la longueur de bras de levier  $AR$  (Fig. 1.31).

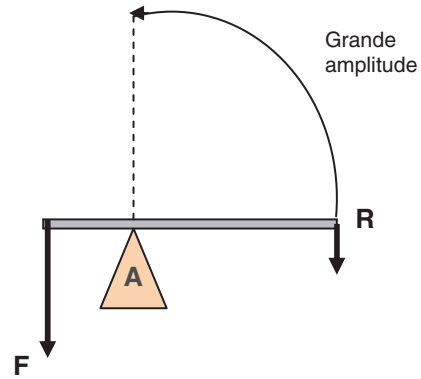


Fig. 1-31. Levier inter-appui "défavorable".

À l'inverse, lorsque le point d'appui est proche de la résistance, la distance  $AR$  diminue. Le mouvement est plus lent, de plus petite amplitude et plus puissant. La force motrice nécessaire est plus faible (Fig. 1.32).

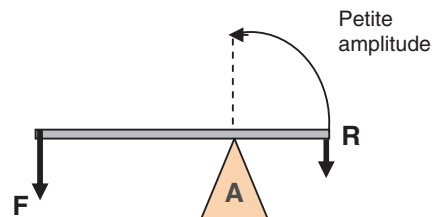
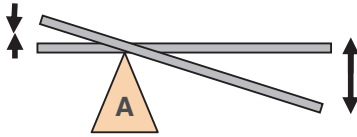


Fig. 1-32. Levier inter-appui "favorable".

Mais si, en contraction concentrique, la position du point d'appui conditionne l'amplitude du mouvement, il convient d'envisager également l'effet de balancier produit sur l'autre bras ( $FA$ ), dans le cas où la résistance l'emporte sur la force (contraction isotonique excentrique).

Lorsque le point d'appui se situe près de la force, la dépense énergétique (maintenant résistante) se doit toujours d'être importante, mais l'amplitude de déplacement du petit bras est réduite (Fig. 1.33).

Un bras de levier raccourci entre l'appui et la force peut donc être contrôlé en contraction

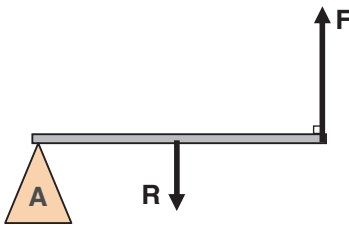


**Fig. 1-33.** Amplitude du balancier en fonction de la position du point d'appui.

isométrique ou isotonique faiblement excentrique par des muscles courts et profonds de la statique.

### Leviers inter-résistants, 2<sup>e</sup> genre (modèle : la brouette) (Fig.1.34)

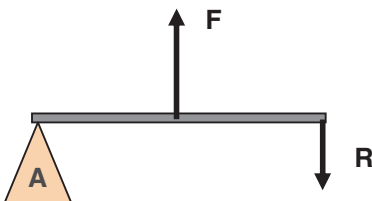
La résistance se situe entre la force et l'axe. Ce type de levier permet, par exemple, aux intercostaux de maintenir l'élévation du thorax ou de marcher sur la pointe des pieds.



**Fig. 1-34.** Levier inter-résistant.

### Leviers inter-puissants, 3<sup>e</sup> genre (modèle : la grue) (Fig. 1.35)

La force s'applique entre la résistance et l'axe. Ces leviers sont extrêmement répandus dans le corps humain. Ils permettent de produire des mouvements de grande amplitude. Ils sont aussi présents lorsqu'il s'agit de soutenir une élévation, par exemple les première et deuxième côtes, grâce aux scalènes.



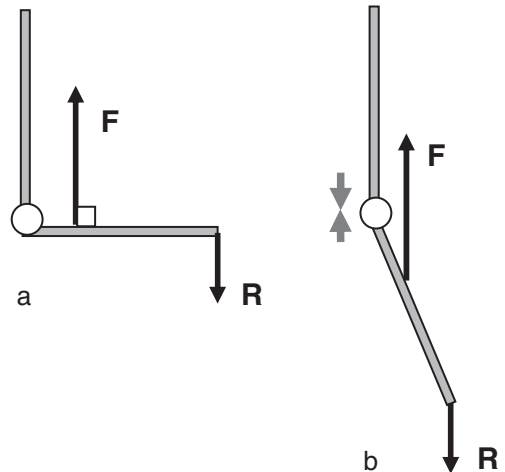
**Fig. 1-35.** Levier inter-puissant.

## L'angle de traction

Le moment de la force est maximum lorsque l'angle d'insertion du tendon sur l'os est à 90°. Si le déplacement s'en rapproche, le moment de force augmente (Fig. 1.36 a). S'il s'en éloigne, il diminue.

Dans les leviers du 3<sup>e</sup> genre, en dessous de 90° le muscle exerce, en plus, une composante de stabilisation en coaptation articulaire, qui augmente lorsque l'angle s'approche de 0° (Fig. 1.36 b).

Les angles d'insertion varient en fonction des os, des muscles et des articulations.



**Fig. 1-36.** a. Moment de force maximum. b. Moment de force et coaptation articulaire.

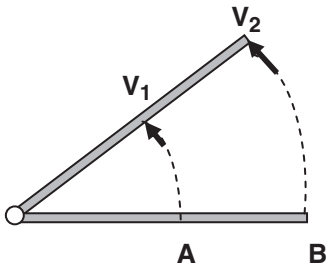
## Le travail mécanique

Il est égal au produit de la force par le raccourcissement ( $T = F \times R$ ). La force est proportionnelle à la surface de la section transversale du muscle (*Cross Sectional Area*). Le raccourcissement dépend de sa longueur. En raccourcissement longitudinal (sans intervention de levier) un muscle court et épais déplace un poids lourd sur une courte distance; un long et mince, un poids léger sur une longue distance (Loi de Weber et Fick, Loi de Schann).

## La vitesse

Elle dépend du rapport entre la puissance et la résistance (2<sup>e</sup> loi de Newton : Accélération = Force/Masse ou Résistance).

La vélocité du mouvement est également liée à la longueur du bras de levier (Fig. 1.37).



**Fig. 1-37.** Vitesse du mouvement et bras de levier.

Pour un même déplacement angulaire, la vitesse est plus grande en B qu'en A.

## Les trois fonctions statiques

Avant même d'aborder les chapitres traitant de physiologie neuromusculaire, certaines caractéristiques propres aux muscles de la statique sont déjà apparues clairement :

- la proportion élevée de fibres lentes ;
- les motoneurones de petit diamètre ;
- leur richesse en tissu conjonctif et la forte présence du collagène par rapport à l'élastine ;
- l'importance des renforcements fasciaux ;
- l'épaisseur et la brièveté des tendons ;
- la forme, la texture et la faible longueur de ces muscles ;
- le type de levier qu'ils emploient et leurs angles de traction.

Sachant que la stabilité est garantie lorsque la puissance musculaire équilibre la résistance, il est

possible d'identifier trois fonctions qui réclament particulièrement l'intervention des muscles à vocation statique.

### ● Points clés

Les trois fonctions statiques sont :

- la fonction d'érection ;
- la fonction de suspension ;
- la fonction de tensions réciproques.

Les deux premières nécessitent l'emploi d'une force plus conséquente.

Pour ériger et maintenir verticalement les segments contre le passage de la ligne de gravité qui tombe, en général, en avant des axes articulaires, la présence des muscles postérieurs est nécessaire.

C'est principalement le rôle des muscles plantaires, triceps sural, ischio-jambiers, pelvi-trochantériens et spinaux.

La seconde fonction, de suspension, dépend de la première par le fait que celle-ci lui offre des points fixes supérieurs pour remplir son office (modèle de la grue, dont le bras est suspendu à la pointe de l'axe vertical). Elle s'exerce au niveau de la ceinture scapulaire, des membres supérieurs, de la cage thoracique et, par son intermédiaire, jusqu'aux organes internes. La loge antérieure de la jambe, et particulièrement le jambier antérieur, joue également un rôle dans le maintien des arcs plantaires.

Il s'agit donc, cette fois, d'une disposition supérieure et antérieure.

L'équilibre des tensions réciproques permet la stabilisation des segments, dans les plans frontal, sagittal et horizontal.

Si cette simple énumération préalable indique déjà que certains muscles ou ensembles musculaires ont un rôle plus essentiel dans la fonction statique, elle montre également que celle-ci concerne des activités musculaires plus variées que ce qu'on imagine habituellement.

# Chapitre 2

## Le tonus neuromusculaire – Les réflexes

### Le tonus : définition et rôle

Le tonus est l'état de contraction des muscles, quelles que soient leur longueur, les conditions de la contraction et quelle que soit la position dans l'espace des segments sur lesquels ils s'insèrent.

Le tonus neuromusculaire pourrait donc être défini comme l'état de contraction-tension des muscles au moment de leur observation.

À la suite des premiers travaux de Bernstein (1935) sur l'organisation motrice, le tonus neuromusculaire a été considéré comme un système d'adaptation musculaire physiologique permanent, non pas du point de vue de l'élasticité, mais de la promptitude.

Les relations entre la régulation du tonus et la commande motrice ont été bien illustrées par Bernstein, grâce à l'exemple du musicien qui appuie un doigt sur les cordes de son violon. Cette pression ne provoque aucun son mais anticipe celui que pourra produire l'archet.

On pourrait la qualifier de condition nécessaire, à défaut d'être suffisante.

Le tonus joue un rôle de feed-back dans le maintien postural et les activités motrices (Gurfinkel, 1974).

Il prépare le mouvement, fixe l'attitude. Il soutient le geste, en contribuant au maintien de l'équilibre.

#### ● Points clés

Le tonus n'est pas seulement une caractéristique du muscle, mais la condition nécessaire au fonctionnement de l'ensemble du système neuromusculaire.

Bernstein a émis l'hypothèse de l'existence de deux systèmes de contrôle synergique (Rappel historique de Mark L. Latash, 1998). Un est à commande directe et provoque le mouvement; l'autre, à commande indirecte et module le système moteur.

En 1992 une relecture de Davidoff montre que les approches modernes rendent obsolète la théorie qui veut que le tonus soit uniquement lié à des réflexes monosynaptiques.

Les éléments actuellement disponibles montrent une situation autrement complexe, caractérisée par des activations parallèles issues des voies médullaires et supra spinales.

Cette révision suppose que :

- Le tonus neuromusculaire n'est pas uniquement dépendant du réflexe myotatique direct monosynaptique ou *Stretch Reflex* (Newsom Davis J., Sears T. A., 1970; Melville Johns G., Watt D. G. D., 1971; Evarts E. V., 1973; Vallbo A. B., 1974; Crago P. E. et coll., 1976; Bizzi E. et coll., 1978; Allum J. H. J., Budingen H. J., 1979).
- L'activité des fuseaux neuromusculaires est nécessaire à son déclenchement.
- Le maintien de la posture ne dépend pas exclusivement du tonus neuromusculaire des muscles antigravitaires des membres inférieurs.

En outre, cette révision met en évidence que :

- Des actions mécaniques non réflexes interviennent dans le maintien du tonus musculaire au repos.
- Les réponses réflexes médullaires ne sont pas stéréotypées, mais sont conditionnées par l'activité en cours au niveau des interneurons vers

qui convergent des informations venant de quantité de récepteurs périphériques et des éléments supra-médullaires.

- L'inertie et la résistance viscoélastique musculaire peuvent s'opposer à des petites oscillations corporelles en station érigée (Gurfinkel V. S. et coll., 1976).
- Les modulations du tonus, augmentation ou diminution, dépendent des messages issus du cervelet et de la moelle épinière.
- L'étirement musculaire provoque des réponses transcorticales de latence prolongée, particulièrement notables dans les grands déplacements (Nashner L. M., 1976; Diener H. C. et coll., 1983; Dietz V. et coll., 1987).
- La réponse du muscle aux sollicitations n'est pas standardisée mais peut s'adapter aux exigences du moment (Davidoff, 1992).

### ● Points clés

Le tonus est lié à l'activité des fuseaux neuromusculaires. Il est de caractère réflexe et de contrôle supra-médullaire (Fig. 2.1).

## Clinique

Les modulations du tonus, augmentation ou diminution, dépendent des messages issus du cervelet et de la moelle épinière.

Le tonus neuromusculaire s'évalue par la résistance que rencontre l'examineur lors d'une mobilisation passive d'un segment de membre (Basmajian et De Luca, 1985). Une excessive résistance qualifie une hypertonie, son insuffisance, l'hypotonie. La sensation est subjective et difficilement quantifiable.

Dans les hypertonies on distingue :

- La spasticité, lorsque la résistance au mouvement passif augmente en fonction de la vélocité du mouvement imposé.
- La rigidité, quand l'hypertonie qui résiste à la mobilisation est indépendante de la vitesse de celle-ci.
- Les contractions d'opposition, qui correspondent à une résistance croissante chez le patient, qui se montre incapable de relâcher sur commande le segment testé.

Une hypotonie est observable chez l'adulte pendant le sommeil physiologique et dans le coma. On la rencontre en cas de pathologie cérébrale, en association avec une ataxie.

Dans les parésies musculaires, l'hypotonie chronique implique le système nerveux périphérique (Alain Maertens et coll., EMC, Éd. Elsevier-Masson).

## Organisation de base du tonus neuromusculaire

L'activité réflexe y est déterminante. Les réflexes médullaires sont de caractère proprioceptif et nociceptif. Ils sont de type monosynaptique, bi-synaptique ou poly-synaptique.

### Le réflexe myotatique direct

C'est le seul réflexe monosynaptique connu. Il a pour origine les fuseaux neuromusculaires. Il est véhiculé par des fibres nerveuses sensibles de gros calibre, du groupe Ia.

Son temps de latence est très court (0,30 ms) (D. J. Whurst, 1967). Il concerne aussi bien les muscles extenseurs que fléchisseurs.

### Le réflexe myotatique inverse (réflexe tendineux)

Il est bi-synaptique. Il prend sa source dans les organes tendineux de Golgi. Il emprunte des fibres sensibles de gros calibre du groupe Ib.

### Le réflexe poly-synaptique (par exemple, nociceptif)

Il a pour origine les fibres nerveuses A delta, présentes dans tout le tissu conjonctif lisse : capsules, ligaments et, en particulier, au sein des fibres conjonctives du derme, des vaisseaux, des viscères et du périoste. Il est de réponse lente et prolongée.



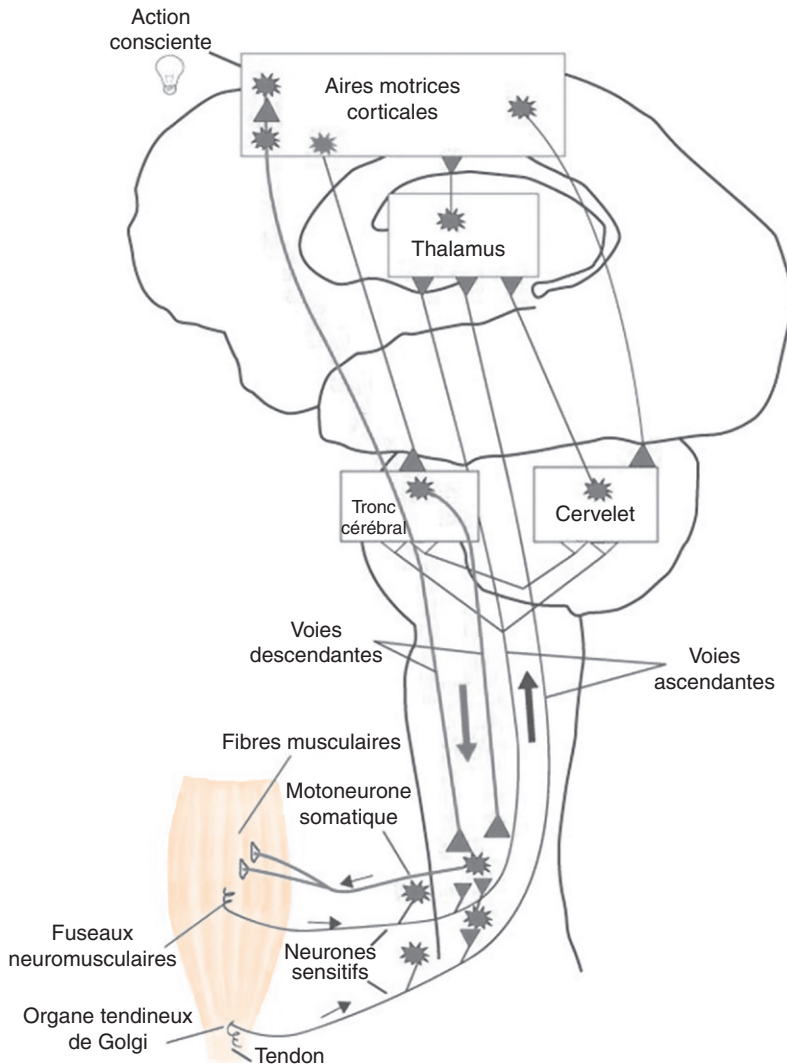


Fig. 2-1. Voies afférentes et efférentes médullaires et supra-spinales.

## Le réflexe myotatique direct ou réflexe d'étirement (*Stretch Reflex*)

Le réflexe myotatique direct provoque la contraction du muscle étiré.

### Récepteurs

Les fuseaux neuromusculaires sont répartis dans le corps musculaire et sont entourés d'une capsule

de tissu conjonctif qui les relie aux myofibrilles et plus rarement aux tendons. Ils sont sensibles aux différences de longueur du muscle.

Chaque fuseau est formé de deux à douze fibres.

Les fibres intrafusales sont de deux types : à sac ou à chaîne :

- Les fibres à sac sont plus longues. Leurs noyaux se situent approximativement dans la zone équatoriale du fuseau. Leurs extrémités ont une structure semblable aux fibres musculaires extra-fusales et sont contractiles, alors que cela ne semble pas être le cas de la région centrale. Les



fibres à sac sont subdivisées en deux groupes : dynamiques et statiques.

- Les fibres à chaîne sont plus nombreuses. Elles se situent dans la partie centrale du fuseau. Leurs noyaux sont disposés sur toute la longueur de la fibre de façon identique aux fibres extra-fusales (Fig. 2.2).

## Afférences

Les fibres afférentes sont de deux catégories :

- Les fibres à gros diamètre, dites primaires (anulospirale type Ia), entourent la partie équatoriale du fuseau. Chaque fuseau reçoit une afférence de type Ia, qu'il s'agisse d'une fibre à sac ou à chaîne. Les fibres afférentes Ia répondent en particulier à des sollicitations brusques d'étirement (Pearson K., Gordon J., 2000).
- Les fibres de diamètre moyen (secondaires type II) entourent également la partie centrale du fuseau, mais de façon plus distante. Chaque fuseau présente de zéro à cinq afférences de type II. Elles sont prédominantes au niveau des fibres à chaîne. Elles ont une fréquence de décharge qui dépend du changement de longueur du muscle.

Ces implantations préférentielles entraînent qu'il est possible de considérer que les fibres à sac sont

des récepteurs sensibles à la longueur de l'allongement et à sa vitesse (récepteurs dynamiques).

Les fibres à chaîne sont uniquement des indicateurs de longueur (récepteurs statiques).

## Points clés

Les fibres neuromusculaires à sac sont des récepteurs dynamiques.

Les fibres à chaîne sont des récepteurs statiques.

Les fibres du premier groupe et une partie de celles du groupe II cessent d'émettre lorsque les muscles dont elles font partie se contractent.

## Efférences

Les fibres efférentes du fuseau neuromusculaire sont les fibres gamma. Elles sont de faible diamètre et constituent 30 % du total des efférences du muscle. Elles sont reliées à un motoneurone gamma.

Les motoneurones gamma sont de deux types :

- Les motoneurones gamma dynamiques provoquent des contractions rapides et brèves. Ils sont uniquement destinés aux fibres à sac de type dynamique.
- Les motoneurones gamma statiques concernent les fibres à sac de type statique et les fibres à chaîne. Leur temps de latence est plus important, leur action est plus durable.

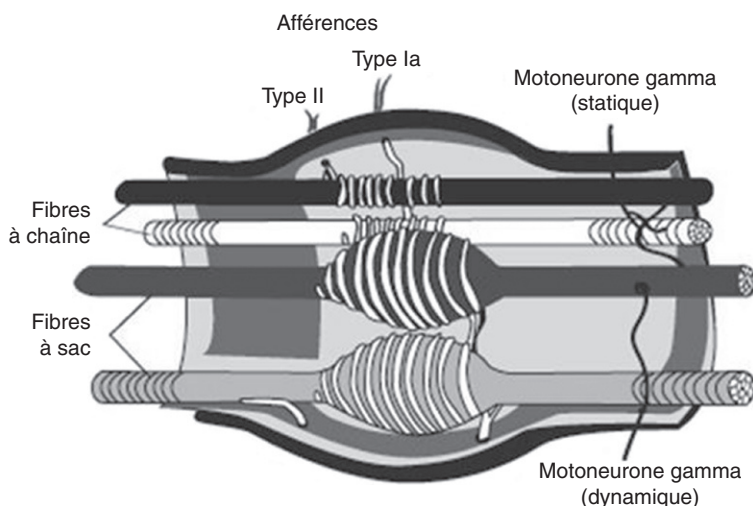


Fig. 2-2. Le fuseau neuromusculaire : les fibres à sac et à chaîne.

Les fibres efférentes des myofibrilles (70 % du total) sont les fibres alpha, reliées à un motoneurone alpha.

## Rôle : excitation monosynaptique des fibres la

Les afférences Ia sont en contact monosynaptique avec la plus grande partie des motoneurons du muscle lui-même et avec certains de ceux des muscles synergiques (Eccles et coll., 1957 ; Meunier et coll., 1993 ; Pierrot-Deseilligny, 2005 ; Hultborn, 2006).

### ● Points clés

Le réflexe myotatique direct a pour effet de provoquer la contraction du muscle étiré et accessoirement des muscles synergiques.

Cette contraction est brève (Liddell et Sherrington, 1924 ; Sinkjaer, 1997 ; Lewis et coll., 2006).

Le réflexe myotatique comporte, pour le moins, deux composantes (Matthews, 1991) :

- La réponse la plus rapide vient des afférences Ia (30 ms).
- La seconde composante a une latence un peu plus longue, soit 50 à 80 ms (Evarts E. V., 1973 ; Marsden et coll., 1983 ; Schiepparti et Nardone, 1999 ; Lewis et coll., 2006). Son origine est plus complexe et modulable, car elle peut faire intervenir le cortex moteur et dépendre des conditions ambiantales, d'où son nom de *Functional Stretch Reflex*.

Le réflexe myotatique direct est observable partout et dans les activités les plus diverses.

Il est présent aussi bien dans les gestes fins de la main qu'au niveau des muscles de la jambe, en activité statique ou dynamique (Dietz et coll., 1979 ; Diener et coll., 1984 ; Voigt et coll., 1988 ; Avela et coll., 1999 ; Grey et coll., 2001).

### ● Points clés

Le réflexe myotatique direct permet le contrôle de la longueur du muscle.

Il intervient constamment dans le maintien de la posture.

## Circuit d'inhibition réciproque des fibres la

Les afférences Ia sont connectées à un neurone inhibiteur post-synaptique du motoneurone qui innerve les muscles antagonistes. Cette inhibition porte le nom d'innervation réciproque Ia (Sherrington, 1897 ; Lloyd, 1946 ; Hultborn, 2006). Son rôle est d'associer l'inhibition du muscle antagoniste à la contraction d'un muscle agoniste afin d'en faciliter l'action dans les mouvements de flexion-extension. Cette inhibition empêche *a fortiori* le déclenchement d'un réflexe myotatique direct dans la musculature antagoniste à un mouvement.

Elle a été démontrée par stimulation électrique des muscles jambier antérieur/solaire et triceps/biceps brachial (Pierrot-Deseilligny et coll., 1981 ; Mas et coll., 1984 ; Katz et coll. 1991 ; Perez et coll., 2003).

### ● Points clés

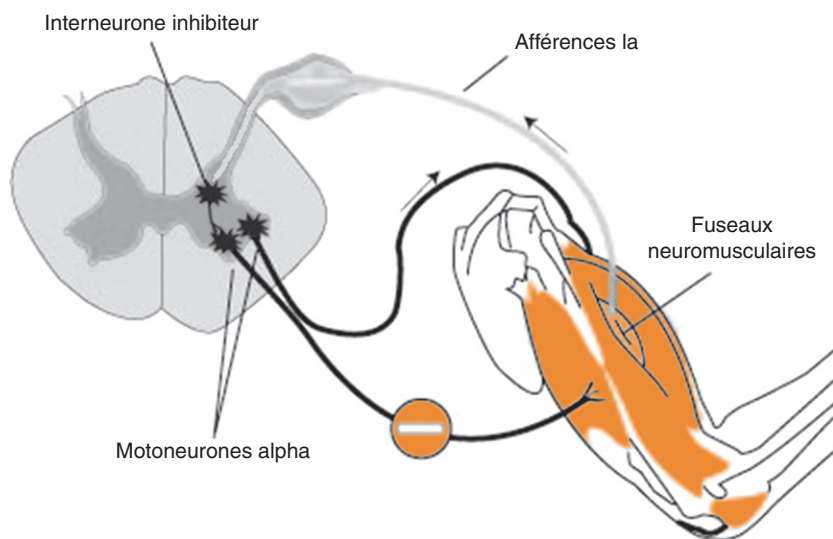
Lorsque le muscle étiré se contracte, suite à un réflexe myotatique direct d'étirement, les muscles antagonistes se détendent (Fig. 2.3).

En premier lieu, le principe de l'inhibition réciproque s'applique à toutes les actions dont la finalité est le mouvement. La quasi-totalité des voies descendantes active en effet aussi bien les motoneurons que les interneurons inhibiteurs, de façon à éviter toute action frénatrice.

Ce mécanisme est fondamental dans les mouvements réclamant à la fois puissance et fluidité. Son niveau d'activation est l'aboutissement des mécanismes d'apprentissage.

L'inhibition réciproque peut être facilitée par effet de feed-back en provenance des récepteurs cutanés.

L'inhibition réciproque diminue dans les actions nécessitant la mise en jeu synergique des muscles antagonistes, augmente dans les activités posturales et est modulée dans la marche, entre muscles fléchisseurs et extenseurs de la cheville. Elle diffère dans la course, la marche ou en position debout (Stein R. B. et Thomson A. K., 2006).



**Fig. 2-3.** Le réflexe myotatique direct provoque la contraction du muscle étiré et inhibe les antagonistes.

## L'inhibition récurrente par les cellules de Renshaw

Le flux de feed-back afférent est influencé au niveau de la moelle par un interneurone inhibiteur : la cellule de Renshaw (1941).

Les cellules de Renshaw peuvent être activées par une branche de l'axone alpha-moteur, par les afférences (du groupe II au groupe IV) et par les voies descendantes (Baldissera et coll., 1981 ; Windhorst U., 1996–2007).

Les cellules de Renshaw ont une action post-synaptique inhibitrice sur les alpha-neurones, sur les interneurons inhibiteurs Ia et sur les motoneurones gamma.

Il s'agit d'un système de contrôle de l'activité des motoneurones, permettant des réponses musculaires d'intensité variée.

### ● Points clés

L'inhibition récurrente due aux cellules de Renshaw permet un rétrocontrôle inhibiteur pour la régulation du mouvement.

Cette inhibition a été observée aussi bien au niveau des membres inférieurs que supérieurs, à l'exception des muscles du pied et de la main (Pierrot-

Deseilligny et coll., 1981). Il en est ainsi de certains muscles qui partagent des activités synergiques variées et qui se montrent concernés par la même excitation afférente Ia, mais non pas par l'inhibition récurrente.

L'inhibition de l'interneurone Ia produite par la cellule de Renshaw est décrite comme facilitation récurrente des motoneurones du muscle antagoniste.

Cette facilitation récurrente diminue l'innervation réciproque Ia (Barrett et coll., 2003).

Les voies cortico-spinales peuvent inhiber la cellule de Renshaw et diminuer ainsi l'effet de l'inhibition récurrente (Mazzochio et coll., 1994).

## La boucle gamma

En cas de contraction musculaire, les fuseaux se trouvent raccourcis, ce qui pourrait entraîner qu'ils cessent d'émettre et donc d'informer sur la longueur du muscle.

En réalité, les motoneurones gamma qui les innervent dépendent des centres supérieurs (en particulier de la formation réticulaire), ce qui a pour effet de maintenir en contraction les extrémités des fibres intrafusales et en tension la partie centrale.

Les motoneurones gamma permettent donc l'ajustement du fuseau à la longueur du muscle pendant la contraction de celui-ci. Les fibres Ia peuvent demeurer actives et signaler tout changement relatif de longueur des muscles lors de contractions réflexes ou volontaires, nommé également gain du réflexe (Hunt et Kuffler, 1951) (Fig. 2.4).

Cela signe également la présence d'une activité tonique constante supervisée par les centres nerveux supérieurs.

La co-activation alpha-gamma concerne particulièrement les motoneurones destinés aux fibres musculaires lentes quand il s'agit de récupérer les petits déséquilibres en cours d'activité statique et les motoneurones des fibres rapides dans les activités dynamiques.

Pour Aniss, l'organisation alpha-gamma est «à boucle», afin de permettre la communication entre le système nerveux central et l'appareil locomoteur.

### ● Points clés

Les fuseaux neuromusculaires sont en activité permanente, grâce aux motoneurones gamma. Ils sont au centre de l'activité tonique et de l'activation des fibres extra-fusales.

Le fait que les motoneurones gamma soient de deux types veut dire que la variation de longueur d'un muscle ne produit pas la même quantité d'information à destination du système nerveux central (Prochazka, 1996; Proske, 1997; Pearson, 2000).

En réalité, c'est le système nerveux central qui prescrit le seuil de feed-back afférent dont il a besoin dans un mouvement particulier. Les motoneurones gamma sont alors activés, pour imposer un niveau de sensibilité aux fuseaux neuromusculaires (Kakuda N., Nagoaka M., 1998; Taylor, 2002).

L'activation des afférences Ia dépend de l'amplitude et de la vitesse d'allongement (Kakuda et Nagoaka, 1998; Jons et coll., 2001; Cordo et coll., 2002).

En cas de changement de longueur du muscle, les motoneurones gamma statiques augmentent la réactivité à l'allongement des afférences Ia, et les motoneurones gamma dynamiques, leur réactivité à la vitesse d'allongement (Pearson, 2000).

## Le réflexe myotatique inverse ou réflexe tendineux

Alors que le réflexe myotatique direct agit sous forme de rétroaction contractile pour ajuster la

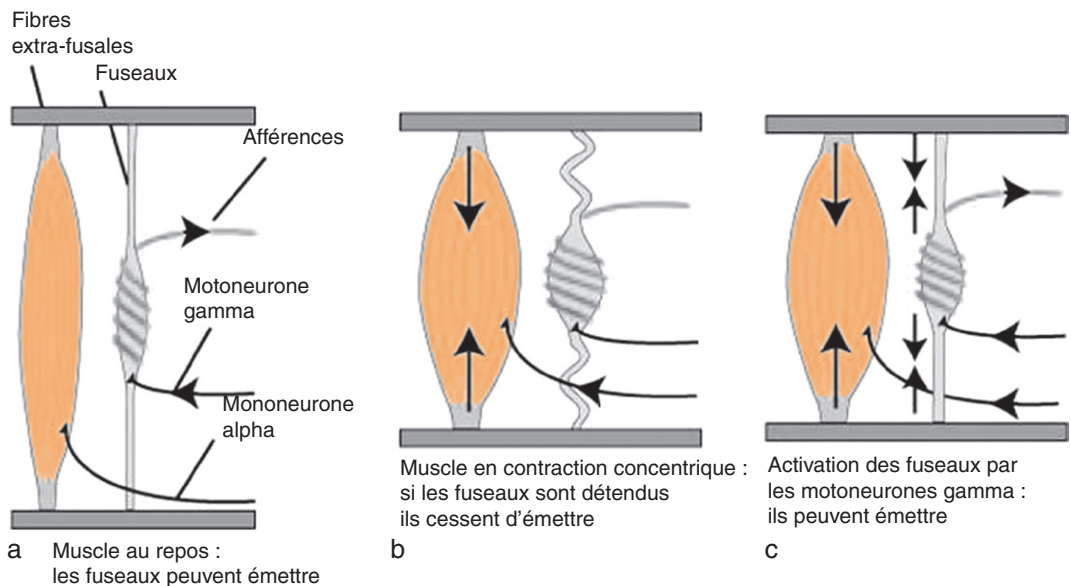


Fig. 2-4. a, b et c. La boucle gamma.

longueur du muscle, le réflexe tendineux régule, pour sa part, la tension musculaire en provoquant l'inhibition du muscle étiré.

## Récepteurs et afférences

Ils sont formés par les organes tendineux de Golgi, qui se situent dans le tendon, au niveau de la jonction myo-tendineuse. Ils sont du groupe Ib et disposés en série par rapport au muscle et sont reliés à 15 à 20 fibres musculaires.

Ils sont sensibles à des forces de traction allant de 2 à 25 grammes (Fig. 2.5).

## Rôle

Le neurone sensitif stimulé par les fibres Ib de l'organe tendineux de Golgi est en contact synaptique avec un neurone inhibiteur Ib. Celui-ci hyperpolarise (inhibe) les neurones moteurs du muscle étiré et des muscles synergiques (Laporte et Lloyd, 1952) et facilite ceux des antagonistes.

### ● Points clés

Le réflexe tendineux inhibe le muscle étiré et facilite la contraction des antagonistes (Fig. 2.6).

Anciennement, les organes tendineux de Golgi étaient décrits comme des régulateurs des for-

tes tensions, permettant ainsi de protéger le muscle en cas de tension excessive (réflexe en canif).

Mais le fait qu'ils sont disposés non seulement en série et au contact des fibres musculaires, mais également au sein des tendons, en fait des récepteurs de la modification de la tension, que celle-ci soit liée à l'étirement passif ou à la contraction.

À l'heure actuelle il est acquis que les organes tendineux de Golgi sont sensibles à des faibles modifications de tension.

### ● Points clés

Les organes tendineux de Golgi permettent d'ajuster constamment la réaction du muscle à la tension auto-générée par sa propre contraction.

Les organes tendineux de Golgi modulent leur réponse en fonction de la fatigue. Lorsque celle-ci augmente et que la tension se réduit, la réponse des organes tendineux de Golgi baisse, diminuant ainsi l'effet inhibiteur (Patton et coll., 1989; Pearson et Gordon, 2000).

### ● Points clés

Le circuit d'inhibition réciproque du réflexe myotatique direct, l'inhibition récurrente et l'innervation réciproque du réflexe myotatique inverse contribuent à la régulation des activités musculaires.

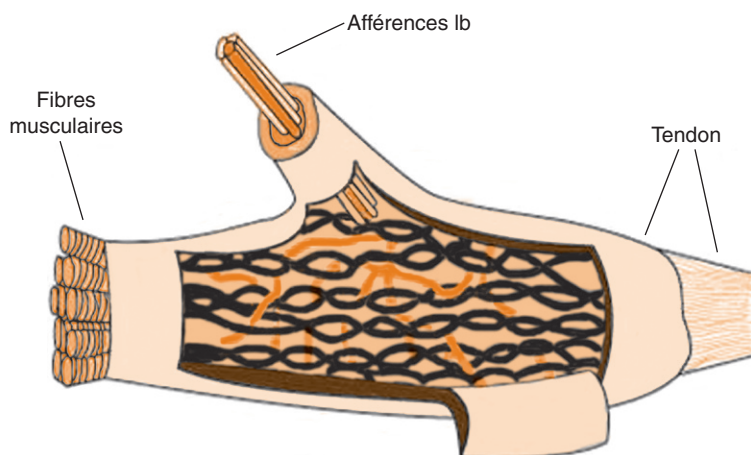


Fig. 2-5. L'organe tendineux de Golgi.

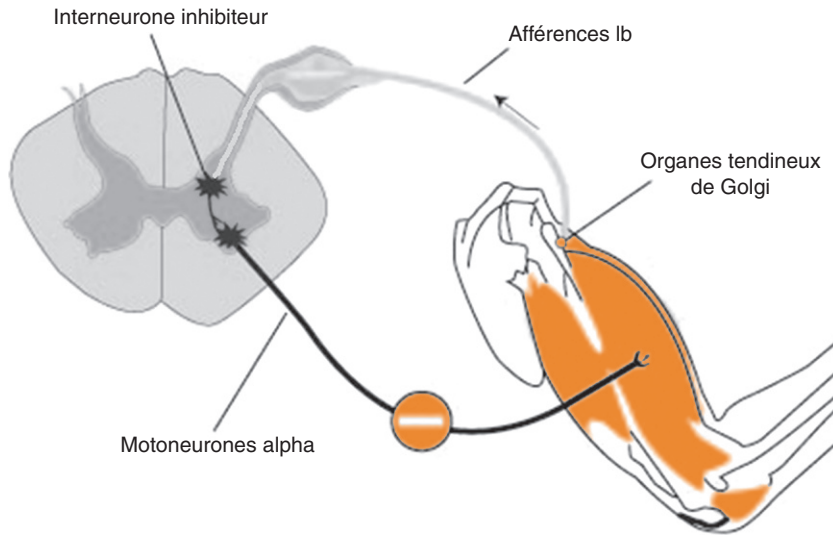


Fig. 2-6. Le réflexe myotatique inverse inhibe le muscle étiré.

## Les récepteurs articulaires

Ils participent également à la régulation des activités musculaires.

Ils sont essentiellement composés par les récepteurs de Ruffini et les terminaisons libres.

Ils sont situés dans les capsules articulaires, les ligaments et le tissu conjonctif. Leurs afférences sont de type II, III et IV. Pour Burgess et Clark (1969), les récepteurs articulaires sont actifs en fin de mouvement, constituant ainsi des informateurs de danger.

À l'heure actuelle il est considéré que les corpuscules de Ruffini sont dynamiques et statiques et que certains récepteurs articulaires sont sensibles à un degré de mouvement. Ils sont mis en jeu successivement (*Range Fraction Action*). Ces informations sont importantes pour le contrôle du mouvement (Burgess et coll., 1987; Gandevia, 1996) et contribuent également à la perception de la position dans l'espace.

Morphologiquement, ils possèdent les mêmes caractéristiques que certains autres récepteurs. Ceux qui sont situés dans les ligaments sont identiques aux organes tendineux de Golgi; ceux de

type paciniforme sont semblables aux corpuscules de Pacini, situés dans la peau.

Les informations transmises concernent la position, le déplacement, la vitesse de celui-ci et son accélération, les perceptions nociceptives (Johansson et coll., 1991; Hogervorst et Brand, 1998; Dyhre-Boulsen et Krogsgaard, 2000; Gigg, 2001; Sjolander et coll., 2002).

Il semble qu'au niveau rachidien les récepteurs articulaires (en particulier ceux qui sont situés dans le ligament jaune) sont reliés aux motoneurones gamma et alpha.

D'autres corrélations ont été mises en évidence :

- l'inhibition importante du quadriceps après une injection de liquide dans l'articulation du genou (Stokes et Young, 1984; Young et coll., 1987);
- une diminution de la force du quadriceps et des ischio-jambiers chez des patients présentant d'anciennes lésions de ligament croisé (Johansson et coll., 1991; Grabiner et coll., 1992);
- un déficit fonctionnel après reconstruction chirurgicale du ligament lésionné (De Vita et coll., 1998; Holder, Powel et coll. 2001);
- la stimulation électrique du ligament croisé postérieur inhibe l'activité des alpha-neurones



du quadriceps et des ischio-jambiers (Fisher, Rasmussen et coll., 2001).

### ● Points clés

En général, les messages générés par les récepteurs articulaires s'étendent à un ensemble de voies réflexes et ascendantes. Ils s'additionnent au feed-back provenant de la peau et des muscles (Sjolander et coll., 2002).

## Les récepteurs cutanés

Ils comportent des mécanorécepteurs : les corpuscules de Meisner, de Merkel, de Pacini, les terminaisons libres (Horch et coll., 1977; Iggo et Andrès, 1982), ainsi que les thermorécepteurs et les nocicepteurs.

Ces derniers sont très présents au niveau de la peau, par exemple à la pointe des doigts où on en dénombre environ 2500 par centimètre carré (Gardner et coll., 2000).

Au niveau spinal, les messages en provenance d'une seule afférence peuvent modifier la décharge des motoneurones, malgré la présence des interneurones s'interposant entre eux (Mc Nulty et Macfields, 2001; Fallon et coll., 2005).

Les informations afférentes des mécanorécepteurs cutanés sont largement distribuées au niveau de tout le système nerveux central et relayées de façons diverses à plusieurs niveaux :

- à l'étage inférieur elles entraînent des réponses réflexes variées suivant le type de stimulation comme, par exemple, le réflexe d'évitement ;
- au niveau supérieur elles contribuent à l'orientation vis-à-vis du milieu ambiant.

Étant donné que les stimuli sensitifs sont transmis au niveau du lobe pariétal, le feed-back généré par les mécanorécepteurs cutanés peut influencer le cortex moteur (Maertens de Noordhout et coll., 1992).

### ● Points clés

Même s'il s'agit de réflexes stéréotypés, les réflexes cutanés sont donc modulés par les centres supérieurs en fonction des actions et du contexte.

C'est ainsi que le classique réflexe de flexion d'un membre dû à un message nociceptif peut être remplacé par une action plus adaptée aux circonstances.

## Motoneurones, unités motrices et recrutement musculaire

Les différents arcs réflexes intervenant dans le contrôle des actes moteurs s'expriment par une seule voie commune : le motoneurone (Sherrington, 1906).

Les motoneurones alpha sont responsables de la production de force par le muscle. Un motoneurone et toutes les fibres musculaires qu'il innerve représentent l'unité motrice.

Les fibres musculaires innervées par un motoneurone alpha sont toutes du même type (lent ou rapide). Il y a donc des unités motrices de type I lentes et de type II rapides.

Plus grand est le diamètre d'un motoneurone et plus nombreuses sont les fibres qu'il innerve. En revanche, une fibre musculaire n'est innervée que par un seul motoneurone.

Les unités motrices de petite taille contrôlent les mouvements fins (2 à 3 fibres pour les muscles moteurs oculaires; 3 fibres, en général, pour les muscles des doigts). Celles de grande taille concernent les muscles dont les fonctions sont moins précises (près de 2000 fibres pour le quadriceps).

Les motoneurones de petit diamètre, à conduction lente, sont affectés aux muscles posturaux. Ils provoquent des contractions de force moyenne et sont résistants à la fatigue.

Les motoneurones de grande taille innervent un grand nombre de fibres musculaires phasiques. Ils sont à l'origine des contractions rapides, de grande force mais rapidement fatigables.

L'expérience d'innervation croisée (John Eccles et coll., Buller et coll., 1960) montre le caractère prééminent de l'innervation dans la physiologie musculaire. Après suture croisée des motoneurones de muscles de composition différente (muscles

à fibres lentes ou à fibres rapides), les caractéristiques contractiles de ceux-ci sont modifiées.

Les muscles lents deviennent rapides et inversement. Toutefois, cette conversion n'est pas complète et varie suivant les espèces (Edgerton V. R. et coll., 1996).

Ces modifications portent également sur les caractéristiques biochimiques de la myosine. On constate un changement de phénotype des fibres musculaires.

Terje Lomo et coll. (1966) ont montré que ce changement de phénotype peut être provoqué en modifiant simplement les caractéristiques de décharge du motoneurone (passer d'une décharge à haute fréquence à une décharge lente et régulière).

### ● Points clés

La physiologie musculaire est liée au type de motoneurone alpha.

## Activité neuromusculaire, contrôle sensori-moteur et stabilité articulaire

Les terminaisons libres et les mécanorécepteurs musculaires (fuseaux, appareil de Golgi) fournissent, grâce à un système afférent de feed-back, des informations proprioceptives en flux continu sur les degrés de tension, les positions et les mouvements, essentiels au contrôle du tonus musculaire et nécessaires pour garantir la stabilité et la coordination articulaire de l'activité motrice (Mc Kloskey, 1978).

Les afférences fusorales sont en corrélation directe avec les motoneurones responsables de l'activation des muscles synergiques et avec les interneurones inhibiteurs des antagonistes.

Cette organisation permet aux muscles d'agir de manière finalisée et globale afin d'assurer la stabilité articulaire au cours des activités motrices.

Ils utilisent pour cela des schémas de mouvements activés par les stimuli sensoriels et/ou par des

messages en provenance du tronc cérébral et du cortex.

### ● Points clés

Dans l'état actuel des connaissances, il est possible de comparer le fonctionnement musculaire à un système de ressort par sa capacité à résister aux forces internes ou externes agissant sur les articulations et par sa tendance à reprendre sa longueur d'origine après allongement. Cette faculté résistante se trouve résumée dans l'expression « stiffness musculaire ».

La stiffness d'une structure correspond à la résistance de celle-ci à la déformation et peut être mesurée par la force nécessaire pour produire son allongement et sa déformation.

Au niveau musculaire la stiffness présente deux composantes. La première est liée aux propriétés visco-élastiques du muscle et aux ponts actine-myosine. La seconde dépend de l'activité réflexe (Johansson et coll. 1991) (Fig. 2.7).

La stiffness musculaire est intimement liée à la sensibilité des organes proprioceptifs contenus dans le muscle (Johansson, 1991).

Elle est considérée responsable de la stabilité articulaire (Cholewicki et McGill, 1996; Chinchalkar S. J., Szekeres M., 2004; Brown S. H., Mc Gill S. M., 2005; Blackburn J. T. et coll., 2006).

Elle est liée à l'activation des unités motrices toniques (Burke et Edgerton, 1975).

Les afférences primaires des muscles influencent grandement les motoneurones gamma reliés aux fibres lentes (Johansson et Sojka, 1991).

Les muscles antigravitaires présentent une grande quantité de motoneurones gamma représentés au niveau cortical (Guyton, 1981) ce qui peut faire penser que l'activité fusimotrice est caractéristique du muscle en activité antigravitaire.

Pour Pope (1979), l'activité réflexe est trop lente pour prévenir les traumatismes articulaires. Mais Johansson et d'autres auteurs avancent que la stiffness varie et est contrôlée en permanence, ce qui contribue à la protection articulaire.

Il a été démontré que les récepteurs ligamentaires sont reliés au système fusimoteur.



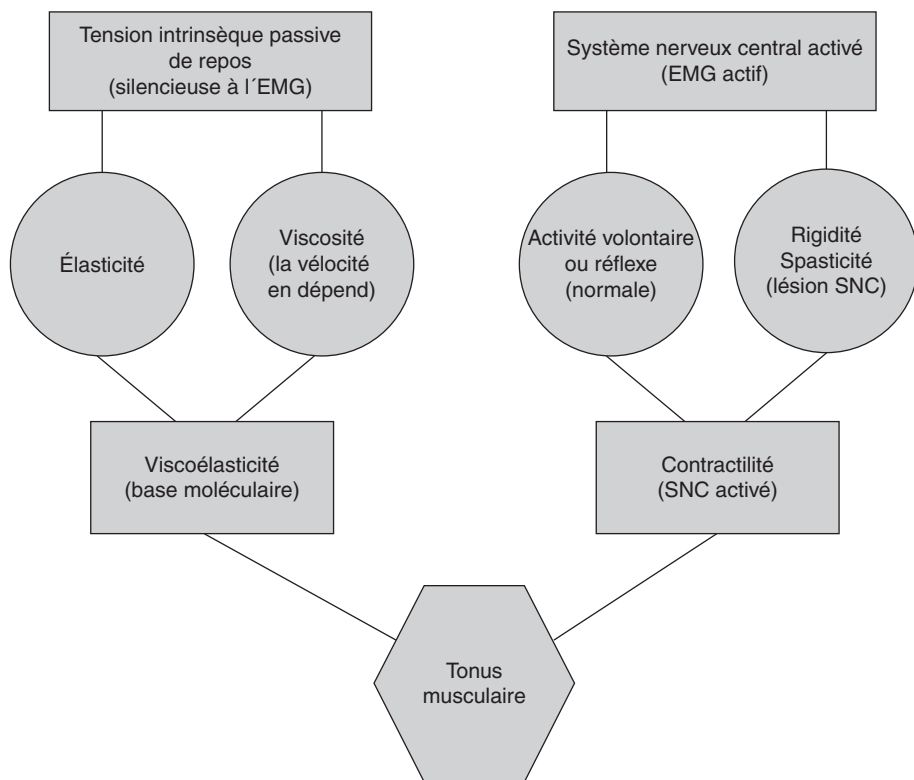


Fig. 2-7. D'après Masi (2008). Modifié.

Pour Salomonow (1998), la stimulation des mécanorécepteurs du ligament sus-épineux de l'articulation zigoapophysaire et du disque entraîne le recrutement réflexe du muscle multifidus pour stabiliser la colonne.

### ● Points clés

La résistance aux déplacements nécessaire à la fonction statique dépend des ponts actine-myosine, des propriétés élastiques des tissus, du tonus neuromusculaire et de son contrôle.

# Chapitre 3

## Les mécanismes de contrôle de l'équilibre

La position bipédique de l'homme permet de libérer le membre supérieur au prix d'une organisation posturale complexe.

L'appareil locomoteur est multi articulaire, le centre de gravité du corps est situé très haut (environ au niveau de la 3<sup>e</sup> vertèbre lombaire) et le polygone de sustentation est réduit. Le risque de déséquilibre est permanent.

Pourtant le contrôle de l'équilibre corporel, qu'il s'agisse du maintien ou de la récupération instantanée de celui-ci, est si efficace qu'il peut faire penser, parfois, que le déséquilibre n'existe pas. Il ne devient évident que lorsque des désordres occasionnels ou chroniques de la stabilité dépassent les capacités gestionnelles du système de contrôle ou quand ses propres composants sont atteints.

Ce système gère les déséquilibres potentiels ou réels, grâce à l'élaboration de stratégies anticipées ou retardées, permettant ainsi d'assurer ou de récupérer le contrôle de la position au repos ou en mouvement.

Il est composé de récepteurs, de circuits, de structures intégrant les informations et élaborant les réponses, de voies efférentes. Il est en interaction permanente avec le milieu ambiant. Le contrôle postural constitue donc un système ouvert.

### Équilibre ou déséquilibre stable

Aussi paradoxal que cela puisse paraître, l'être humain est physiologiquement en déséquilibre mais en déséquilibre contrôlé. L'expression « dés-

équilibre stable » se justifie lorsque les oscillations permanentes du corps sont maintenues dans le cadre restreint du polygone de sustentation. Les enregistrements sur plateforme stabilométrique montrent que ces oscillations sont de l'ordre de 100 mm<sup>2</sup> pour un sujet normal (Gagey, 1999).

Outre le respect des limites du polygone de sustentation, les mécanismes de contrôle doivent être économiques, ce qui exige de leur part une grande rapidité d'intervention préventive ou corrective.

Deux aspects sont à prendre en compte : la stabilité structurelle, appelée également mécanique, et la stabilité fonctionnelle.

La première concerne les surfaces articulaires et leurs moyens de contention. La deuxième implique les informations sensorielles, leur intégration et les réponses apportées par le système efférent.

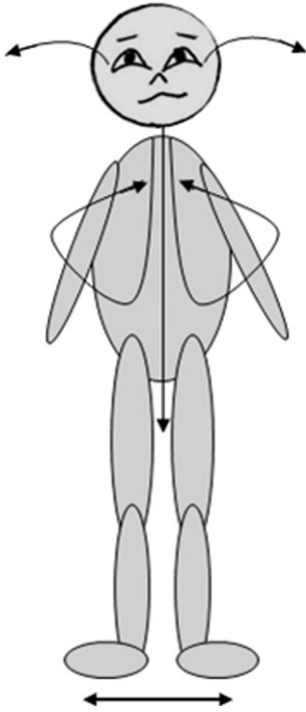
Les éléments qui contribuent à la stabilité fonctionnelle sont les tissus, avec leurs propriétés fibroélastiques, le contrôle musculaire et la résultante des forces s'exerçant à un moment donné (Johansson et coll., 1991).

La stabilité structurelle est la condition de base nécessaire à l'équilibre, la stabilité fonctionnelle est indispensable à sa régulation.

#### ● Points clés

Le contrôle de la posture et de l'équilibre n'est plus considéré aujourd'hui comme la simple somme de divers réflexes, mais comme une activité complexe basée sur les interactions de processus dynamiques, sensitifs et moteurs.

L'objectif principal du contrôle postural est l'alignement actif de la tête et du tronc vis-à-vis de la



**Fig. 3-1.** Maintien de l'équilibre vis-à-vis de la ligne de gravité; en fonction des surfaces d'appui, des informations visuelles et somato-sensorielles.

ligne de gravité. Il doit être atteint en tenant compte de l'environnement visuel, des informations internes et des surfaces d'appui changeantes (Fig. 3.1). Le tonus neuromusculaire y joue un rôle essentiel.

## Afférences – centres de contrôle – efférences

Le corps dispose de différents senseurs ou récepteurs informant sur le sens de la gravité (système vestibulaire), l'environnement (informations visuelles ou rétinienne), les superficies d'appui (plante du pied), la disposition musculo-squelettique (système somato-sensoriel).

L'importance relative de ces différentes sources d'information peut varier suivant les individus, l'âge, les circonstances personnelles ou ambiantales. Dans un environnement obscur, les messages provenant des systèmes vestibulaire et somato-sensoriel sont essentiels. En cas de sévère atteinte

vestibulaire bilatérale, les suppléances peuvent venir de la vision et des informations proprioceptives.

Les mécanismes d'intégration des messages provenant de ces différentes sources ne sont pas encore parfaitement connus à ce jour.

## La vision – le système vestibulaire – le système somato-sensoriel

L'information visuelle vient des photorécepteurs rétiens, passe par le nerf optique et parvient au lobe occipital.

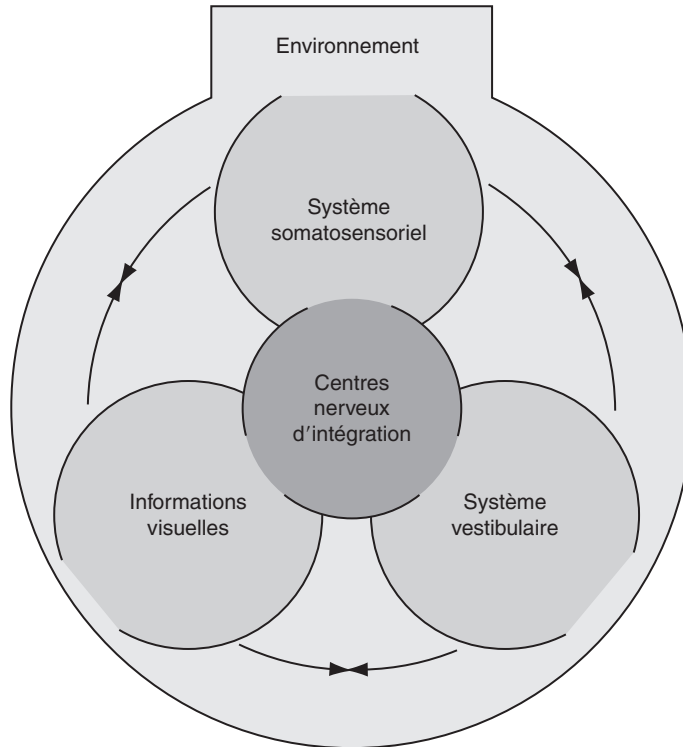
Le centre de la rétine et plus particulièrement sa périphérie fournissent des informations abondantes et précises sur l'environnement. Mais la vision à elle seule est insuffisante. Le cerveau ne peut savoir si c'est le corps ou l'objet qui se déplace (par exemple, voir un train bouger depuis un autre train). Une information comparative ou de contraste est nécessaire. Elle est fournie par le système somato-sensoriel.

Lorsque la rétine détecte un mouvement, les récepteurs des muscles moteurs oculaires peuvent confirmer si celui-ci vient des yeux ou de l'environnement. Les récepteurs proprioceptifs nucaux permettent de savoir si c'est la tête qui s'est déplacée; ceux du reste du corps, si c'est le corps, dans son ensemble, qui a bougé. Le cerveau analyse en permanence les informations visuelles et proprioceptives (Roll, 1987).

L'information vestibulaire vient de l'utricule et du saccule quand il s'agit d'accélération linéaires de la tête et est issue des canaux semi-circulaires en cas d'accélération angulaires.

Les messages parviennent aux noyaux vestibulaires, centres importants du contrôle de l'équilibre et à l'origine de réponses réflexes ou élaborées, avant même que soit perceptible le moindre mouvement de la tête. C'est un système archaïque et prioritaire.

Mais l'information vestibulaire, prise isolément, n'est pas suffisante. Une inclinaison de la tête provoque un stimulus équivalant à l'inclinaison du tronc ou de tout le corps. Les récepteurs muscu-



**Fig. 3-2.** Les informations vestibulaires, visuelles et somato-sensorielles constituent un système ouvert.

lares et articulaires du cou doivent informer de la différence par rapport aux messages proprioceptifs venant du reste du corps. Ils sont prééminents mais n'agissent donc pas seuls. Toutefois, leur importance entraîne qu'ils sont fréquemment impliqués dans les perturbations de l'équilibre (Jull et coll., 2008) (Fig. 3.2).

### ● Points clés

Le système somatosensoriel est fondamental pour offrir le contraste nécessaire à l'intégration des autres informations.

Simoneau a étudié les augmentations d'oscillation du centre de pression en altérant, suivant les cas, un, deux ou les trois systèmes (vestibulaire, visuel et somatosensoriel). La perturbation du système somatosensoriel augmente les oscillations de façon nettement plus importante que celle de la vision, du système vestibulaire et même des deux réunis (Simoneau et coll., 1995).

## Contrôle des déséquilibres posturaux – Planification anticipée et retardée

La quasi-totalité des activités corporelles occasionne des réponses adaptatives qui cherchent à réduire ou à neutraliser toute perturbation de la posture. Ces mécanismes musculaires peuvent intervenir de façon anticipée (feed-forward) ou retardée (feed-back) (Fig. 3.3).

Les réactions de rééquilibration ne se produisent pas uniquement en cas de situation imprévue mais interviennent également dans le cadre des mouvements appris. Tout geste simple comme, par exemple, l'abduction du bras en position debout, crée un déséquilibre qui doit être contrôlé (Nashner, 1979 ; Hay et Redon, 2001).

Ces ajustements posturaux liés à des mouvements volontaires semblent faire partie du même

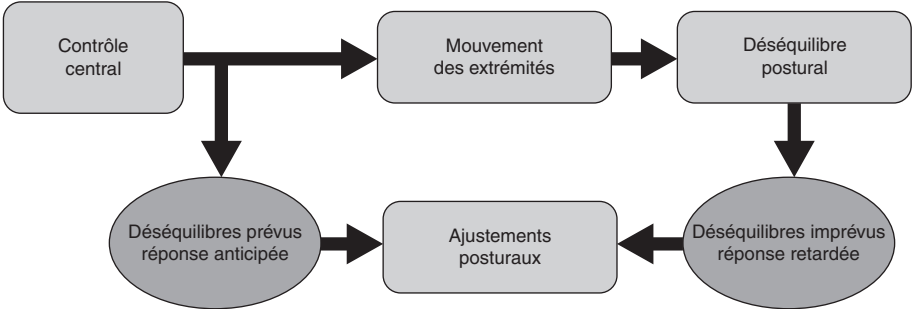


Fig. 3-3. Contrôle en feed-back et en feed-forward.

Tableau 3.1 Le contrôle d'équilibre (d'après Nashner, 2001).

Propriétés du système	Système moteur		
	Réflexe	Automatique	Volontaire
Voies	Spinale	Tronc encéphalique	Corticale
Activation	Stimuli externes	Stimuli externes	Stimuli externes autogénérés
Réponse	Locale-point de stimulation et stéréotypée	Coordonnée et stéréotypée	Variété illimitée
Rôle dans l'équilibre	Régulation de la force musculaire	Résistance aux dérangements	Mouvements volontaires
Latence enregistrée au niveau des jambes	Fixe 35–45 ms	Fixe, latence moyenne (moyenne 95 ms) ou latence longue (moyenne 120 ms)	Variable 150 + ms

programme moteur (Lee et coll., 1987 ; Zattara et Bouisset, 1988).

Les réponses stabilisatrices associées à des mouvements mémorisés ont pour habitude d'anticiper les déséquilibres (mécanisme de feed-forward). Ces ajustements posturaux anticipés peuvent donc se résumer de la façon suivante : modification de l'activité des muscles posturaux destinée à assurer la plus grande sécurité au contrôle de la posture, en prévision d'une action perturbatrice (Belen'Kii et coll., 1967 ; Mardsden et coll., 1979 ; Cordo et Nashner, 1982 ; Krishnamoorthy et coll., 2005).

● **Points clés**

- Les activités mémorisées peuvent bénéficier d'ajustements posturaux anticipés.
- Les réactions de rééquilibration retardée concernent les situations imprévues.

Au cours du développement moteur de l'enfant les ajustements retardés apparaissent entre 7 et

9 mois, ceux qui sont anticipés, après l'âge de 4 ans. Les uns comme les autres continuent à se développer jusqu'à l'adolescence (Hass et coll., 1989).

Les déséquilibres peuvent parvenir à la conscience mais les principaux responsables de la gestion des informations relatives à la posture et des réponses à y apporter sont sous-corticaux.

Les contrôles impliquent essentiellement trois niveaux : médullaire, tronc cérébral, cortical (Diener et Dichens, 1986 ; Schmidt, 1991 ; Schmidt et Lee, 1999 ; Nashner, 2001) (Tableau 3.1).

**Le contrôle médullaire**

La moelle épinière est le premier niveau de contrôle d'équilibre. Les réponses sont du type réflexe (Nashner, 2001). Les efférences provoquent l'activation ou l'inhibition des motoneurons sous forme directe ou indirecte (synaptique).

Le rôle du réflexe myotatique direct est de s'opposer aux déplacements et de rétablir la stabilité posturale face au plus minime déséquilibre (Rothwell, 1994). Il s'agit d'une réaction stéréotypée de court temps de latence.

La détection de l'étirement vient des capteurs intramusculaires et tendineux. Cette activité réflexe de base ne peut à elle seule récupérer l'équilibre. D'autres systèmes doivent apporter une réponse plus élaborée.

## Le tronc cérébral

C'est, avec le cervelet, le deuxième niveau de contrôle. On y trouve en particulier la formation réticulaire, les centres vestibulaires, les ganglions basaux.

### La formation réticulaire

Elle est constituée d'un réseau complexe de neurones situés au centre du tronc encéphalique et qui s'étend depuis le mésencéphale jusqu'au bulbe rachidien. Elle possède de nombreuses fonctions, parmi lesquelles certaines concernent le contrôle moteur.

En corrélation avec le noyau vestibulaire, elle intervient sur les muscles axiaux et proches des extrémités. À travers des voies réticulospinales et réticulobulbaires, la formation réticulaire agit sur l'activité des motoneurones  $\alpha$  et  $\gamma$ .

Cela lui permet de moduler le tonus musculaire, l'activité réflexe et d'innervation réciproque.

La formation réticulaire, aidée en cela par le système vestibulaire, exerce un rôle important dans le maintien du tonus des muscles antigravitaires en situation bipédique.

Les centres respiratoires du tronc encéphalique, connus pour leur contrôle des muscles inspireurs, sont à l'heure actuelle considérés comme faisant partie de la formation réticulaire (Snell, 2003).

La formation réticulaire reçoit des informations supérieures venant du cerveau et de l'hypothala-

mus. Elle coordonne la stratégie posturale anticipée, face aux déséquilibres d'origine interne.

### Les noyaux vestibulaires

Ils constituent le point d'arrivée des axones en provenance du VIII<sup>e</sup> nerf crânien. Ils sont situés dans le ganglion du nerf vestibulaire (ganglion de Scarpa) et sont reliés aux centres des III<sup>e</sup>, IV<sup>e</sup>, VI<sup>e</sup> et XI<sup>e</sup> nerfs crâniens.

Leurs connexions sont à la base du réflexe vestibulo-oculaire, dont l'action permet de maintenir le contrôle de la position des yeux et la stabilisation de la vision lors des mouvements de la tête. Ils sont reliés à la voie vestibulo-spinale, destinée aux muscles des jambes, du tronc et du cou (Allum, 1993).

Les centres vestibulaires interviennent de façon retardée sur les déséquilibres d'origine externe détectés par le système vestibulaire périphérique.

### Les ganglions de la base

Ils sont composés d'agglomérats de cellules nerveuses situées dans le télencéphale. Les ganglions de la base sont impliqués dans les mouvements routiniers, principalement inconscients, qui concernent l'ensemble du corps, et dans le contrôle inconscient de la posture.

Ils sont responsables de l'organisation d'activités automatiques et semi-automatiques sur lesquelles se superposent des mouvements volontaires conscients. Ils reçoivent les informations du cortex et agissent ensuite sur les mouvements, modulant l'ordre reçu depuis l'aire motrice cérébrale.

Les ganglions basaux et le cervelet sont impliqués dans divers aspects de la planification et du contrôle du mouvement mais ils ne possèdent pas de voies efférentes qui leur sont propres les reliant à la moelle épinière.

Outre l'ajustement des mouvements routiniers, ils joueraient un rôle dans le maintien de l'équilibre entre les influences excitatrices et inhibitrices (Goddard, 2005).

## Le cervelet

---

Même s'il n'est pas, à lui seul, à la base de l'activité motrice, le cervelet la supervise. C'est ainsi qu'en cas de lésion cérébelleuse le tonus est maintenu, mais connaît un déficit de contrôle.

Il réorganise les informations et module les réponses, pour augmenter l'efficacité des mouvements et des réactions de rééquilibration.

Le cervelet agit sur le système vestibulaire et, de forme induite, sur les muscles du tronc et des membres inférieurs.

En dernière instance, le cervelet est responsable de la régulation des réflexes posturaux et du tonus neuromusculaire (Bloedal et Bracha, 1997). Son rôle est donc fondamental dans le contrôle postural et l'équilibre du corps.

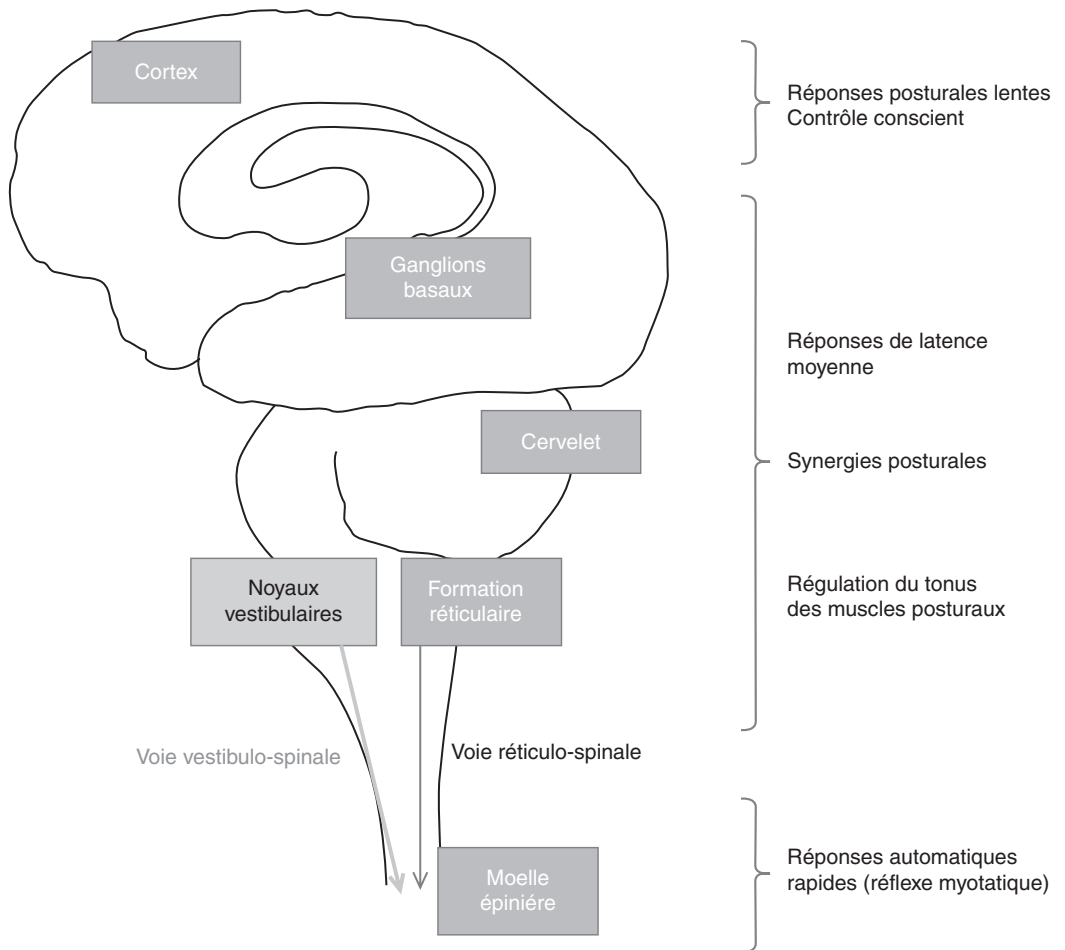
## Le cortex

---

Bien qu'ayant une responsabilité très limitée dans le contrôle de l'équilibre, le cerveau y joue un certain rôle. Des mesures effectuées sur la stabilité montrent une diminution de l'efficacité du contrôle postural en cas d'activité cognitive simultanée (Quant S. et coll, 2004).

Par ailleurs, le cortex semble optimiser les réponses posturales dans les cas de déséquilibres anticipés en corrélation avec le cervelet (Jacobs J. V., Horak F. B., 2007).

Des expérimentations réalisées par stimulation magnétique transcranienne (TMS) montrent également la présence d'interventions corticales dans les réponses anticipées des déséquilibres posturaux (Tue Hvass Petersen et coll., 2009) ([Fig. 3.4](#)).



**Fig. 3-4.** Les différents niveaux du contrôle de l'équilibre.



# Chapitre 4

## Les phases de la construction

### Le développement moteur

Le contrôle postural de l'être humain puise ses racines dans la phylogenèse (Gramsbergen, 2005). Au cours de la phylogenèse les membres antérieurs ont progressivement abandonné le rôle statique qui était le leur en quadrupédie pour développer des capacités manuelles rendues possibles par la bipédie (Fig. 4.1). Le système nerveux s'est plus impliqué dans le contrôle de la posture (Hadders – Algra 2005). La complexité des mécanismes qui ont permis cette évolution explique pourquoi le contrôle postural a besoin de temps pour se mettre en place chez l'enfant (Schmitz et coll. 2002 ; Roncesvalles et coll. 2004).

Bernstein (1935) a suggéré que l'organisation motrice est basée sur des synergies permettant au système nerveux de réduire les efférences nécessaires au contrôle des gestes. Le cerveau peut alors gérer des mouvements au service

d'objectifs grâce à un répertoire de représentations pré-structurées sans être impliqué spécifiquement dans la contraction individuelle de chaque muscle. Ces synergies servent au contrôle postural et peuvent s'acquitter de tâches spécifiques (Massion et coll., 2004).

#### ● Points clés

Le cerveau se préoccupe de mouvements et non de muscles.

L'ontogénie définit le développement d'une fonction au sein d'une espèce. Dans le cas présent elle concerne les étapes de l'acquisition de la marche autonome depuis la naissance. C'est un des trois aspects de l'évolution ontogénique, avec la pince et le langage.

Diverses théories proposent des explications au développement du contrôle moteur et à l'organisation de la posture de l'être humain ; le « modèle réflexe », avec comme précurseurs Sherrington et

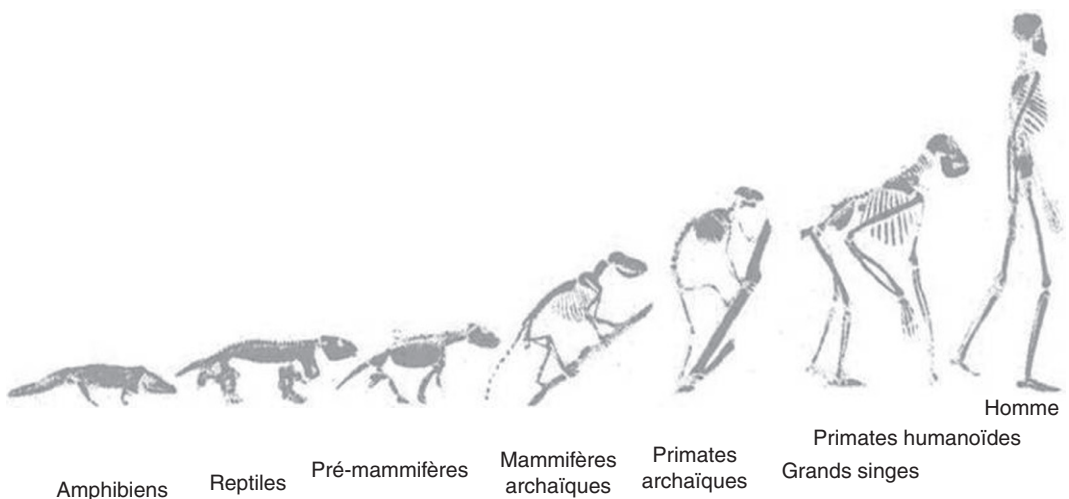


Fig. 4-1. D'après Rash et Burke (1976).

Magnus, le « modèle hiérarchisé » de Jackson en 1932, le « modèle systémique » du neurologue russe Bernstein. Le modèle hiérarchisé établit que le développement du système nerveux se fait du centre vers la périphérie et du crânien vers le caudal.

Le nouveau-né passe :

- de mouvements globaux à des mouvements précis et volontaires ;
- de l'asymétrie et de l'instabilité à la symétrie et la stabilité ;
- de grandes superficies d'appui à des polygones de sustentation réduits.

Mais il convient d'ajouter l'acquisition d'habilités à ces processus de maturation du système nerveux central. Les modèles actuels de contrôle moteur considèrent que le mouvement s'organise en fonction des tâches à accomplir (Fig. 4.2).

### ● Points clés

Par définition, la coordination est inséparable des objectifs à atteindre.

Selon la loi de Haeckel, l'enfant revit brièvement les phases de l'évolution de l'espèce.

Pour Hadders-Algra, quatre périodes peuvent être observées :

- à trois mois ;
- à six mois ;
- à neuf/dix mois ;
- à treize/quatorze mois.

## L'évolution des réflexes

Les mouvements du nouveau-né viennent de réflexes primitifs sans implication corticale. On peut citer le réflexe de Moro, le réflexe palmaire et le réflexe tonique asymétrique cervical.

Les réflexes primitifs doivent être progressivement inhibés et contrôlés par le système céphalique, pour aboutir à un contrôle gestuel volontaire (Goddard, 2005).

Ils font place aux réflexes posturaux, contrôlés en grande partie par le tronc cérébral. Ils sont basiquement de redressement et de contrôle de l'équilibre.

Les réflexes de redressement apparaissent entre trois et douze mois : réflexe oculaire, labyrinthique, de redressement cervical, réflexe de Landau et de rotation segmentaire (Goddard, 2005).

## La spécification fonctionnelle – le regroupement

Dès la naissance, le nouveau-né entre dans une phase accélérée de son évolution fonctionnelle, basée sur la différenciation musculaire. Après une période de repli intra-utérin, il se place naturellement dans une position « déployée » qui ne lui autorise aucune activité statique, mais lui permet

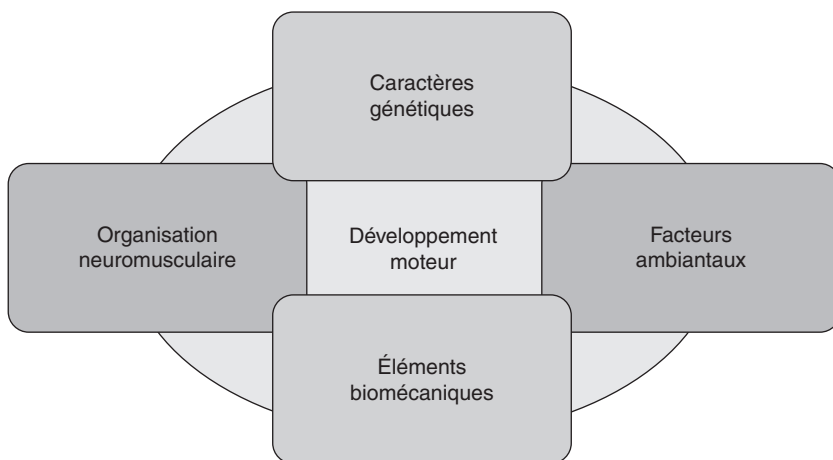


Fig. 4-2. Le développement moteur et ses facteurs.

des mouvements qui vont devenir des gestes de plus en plus ciblés (Fig. 4.3).

### ● Points clés

Dans la chronologie de différenciation fonctionnelle, le geste précède le maintien.

Mais il ne faut pas oublier que la force d'un muscle s'exerce de façon égale à ses deux extrémités. Ce qui détermine le point fixe est la force stabilisatrice des muscles synergiques ou la masse à déplacer. À ce stade, le poids du tronc et de la tête l'emporte.



Fig. 4-3. « Le bébé déployé ».



Fig. 4-4. Le maintien de la tête.

Chez le nouveau-né, le tonus neuromusculaire est concentré dans les parties du corps en appui.

Les premiers redressements se mettent en place entre trois et six mois, avec les expériences initiales de maintien de la tête et d'extension du dos (Fig. 4.4 et 4.5).

Les positions d'abduction-rotation externe des membres supérieurs et de flexion-abduction-rotation externe des membres inférieurs s'effacent.

La liberté articulaire qui, à la naissance, n'est limitée que par l'anatomie ostéo-articulaire et les résistances capsulo-ligamentaires, passe progressivement sous le contrôle stabilisateur des muscles (Smith, 1954), qui vont en devenir le premier frein.

Le regroupement permet d'autres avancées. Après une période de marche à quatre pattes (Fig. 4.6), il autorise la position érigée, puis le déplacement (Fig. 4.7 et 4.8).

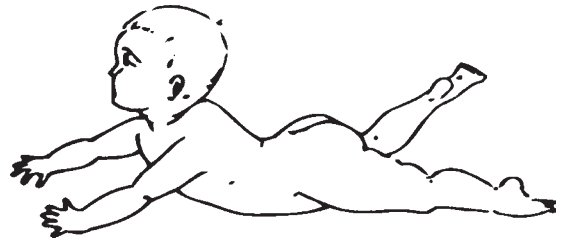


Fig. 4-5. Extension de la tête et du dos (reptile).

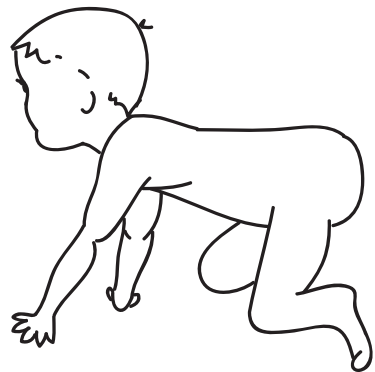
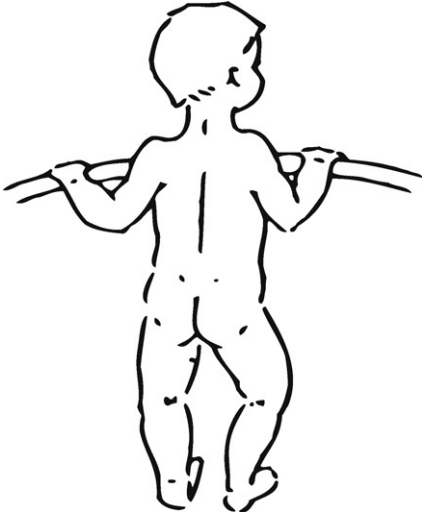


Fig. 4-6. Quadrupédie (pré-mammifère).



**Fig. 4-7.** Bipédie avec appui (primate).



**Fig. 4-8.** Déplacement autonome et libération du geste (humanoïde).

L'appui du pied au sol marque une étape fondamentale sur le plan sensitivo-réflexe et moteur.

Il est inutile de souligner que la tête, point de départ de la construction, est destinée à conserver une importance cruciale par son rôle dans la coordination oculo-vestibulo-motrice.

La fonction statique des muscles est en place (Fig. 4.9). Elle permet une conquête : la bipédie. Elle en contrôle les déséquilibres. Elle sert de base au mouvement, par la stabilisation articulaire et l'ajustement postural anticipé.



**Fig. 4-9.** « L'enfant regroupé ».

Le jeune enfant est effectivement repassé par toutes les phases de l'évolution, depuis la reptilienne jusqu'à la bipédique, en passant par la quadrupédique.

La fonction dynamique, quant à elle, privilégie les membres et en particulier les extrémités. Celles-ci sont allégées grâce à la présence de muscles pluri-articulaires prenant leur insertion à distance. Les mouvements de flexion-extension y sont privilégiés.

Les muscles courts et massifs concernent préférentiellement le tronc et la racine des membres. Les mouvements latéraux et de rotation y sont plus développés.

La structuration définitive associe centralisation des moyens et libération spatiale du geste.

Pour passer de la position « déployée » du nouveau-né (voir fig. 4.3) à celle du jeune enfant stable en position bipédique (voir fig. 4.9), il est évident, en première approche, qu'une spécifica-

tion fonctionnelle statique s'est mise en place au niveau des muscles du cou, de la colonne vertébrale, des membres inférieurs et des adducteurs-rotateurs internes de la racine des membres.

### ● Points clés

La fonction statique est synonyme de concentration.

Une fois commencé, le processus est irréversible.

## Fonctions hégémoniques et implantations musculaires

Certaines fonctions dévolues aux muscles striés sont plus essentielles que d'autres. Elles peuvent être qualifiées de fonctions hégémoniques. Elles se développent chronologiquement en fonction de leur importance au cours de l'évolution psychomotrice de l'enfant.

## La respiration

Il s'agit d'une fonction mixte de contrôle, à la fois automatique et volontaire.

### L'inspiration

L'inspiration marque le passage à la vie extra-utérine. Le moteur fondamental en est le diaphragme, responsable de la respiration de petite amplitude. En cas de nécessité, le diaphragme accentue sa contraction et les inspireurs accessoires entrent en jeu. Ils sont en très grand nombre et d'implantation anatomique variée, ce qui leur permet d'offrir diverses alternatives en fonction des circonstances (positions corporelles ou gestes).

On dénombre donc :

- le diaphragme ;
- les inspireurs thoraciques – intercostaux et surcostaux ;
- les inspireurs nucaux – sternocléidomastoïdiens et scalènes ;
- les inspireurs scapulaires – petit pectoral, grand pectoral, grand dentelé ;
- les inspireurs spinaux – les muscles des gouttières sont inspireurs par leur physiologie de

postéro-flexion dorsale, qui élève le thorax ; le long dorsal et l'iléocostal (sacro-lombaire) le sont par action rotatrice sur le petit bras de la côte, ce qui a pour effet d'élever le grand bras<sup>1</sup>.

Les scalènes, les intercostaux et les spinaux sont des muscles particulièrement statiques. Le diaphragme est un muscle mixte (fibres lentes et rapides) et non pas purement dynamique comme il est souvent présenté. Il convient en outre de différencier le rôle de la partie musculaire des coupes et celui du centre phrénique, exclusivement fibreux.

Depuis Duchenne de Boulogne le rôle freinateur de la masse viscérale lors de la descente du diaphragme n'a plus été questionné. Il est pourtant difficile d'imaginer que les viscères soient capables, à eux seuls, de bloquer la contraction d'un des muscles les plus puissants du corps.

Ceci d'autant plus que, s'ils sont effectivement comprimés quand le diaphragme descend en inspiration, ils n'en possèdent pas moins des possibilités d'expansion antérieure et inférieure (gonflement de la paroi abdominale et du périnée).

Un retour aux sources s'impose. Dans les expériences de Duchenne de Boulogne, après éviscération, les coupes diaphragmatiques s'aplatissent lors de l'inspiration. Mais le centre phrénique ne descend pas jusqu'au niveau des dernières côtes. Sa position reste la même qu'avant l'éviscération. Le diaphragme prend la forme d'un cône tronqué (*Physiologie des mouvements*, Duchenne de Boulogne, 1867, paragraphe 595).

Il en a conclu que les viscères servent de point d'appui, sans tenir compte de la position inchangée du centre phrénique, ce qui n'est pas conforme à la réalité de l'expérimentation (Fig. 4.10 a, b et c).

Cette dernière ne l'oppose pas non plus, comme il le croit, aux travaux de Beau et Maissiat qui, déjà en 1843, avaient attribué au péricarde un rôle freinateur et qu'ils avaient baptisé « le tendon creux du diaphragme ».

<sup>1</sup> Du même auteur, *Les Scolioses*, Éd. Masson, 2003.

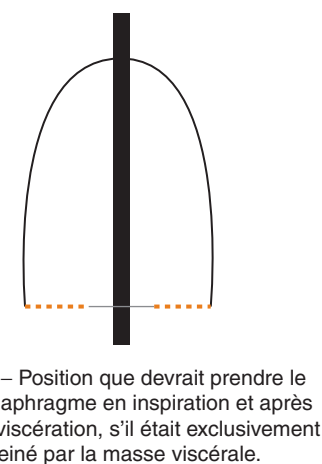
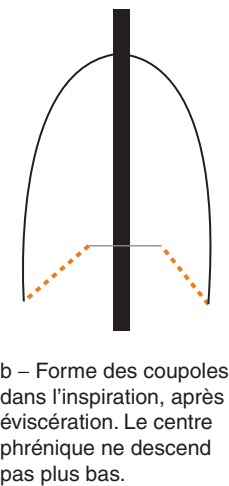
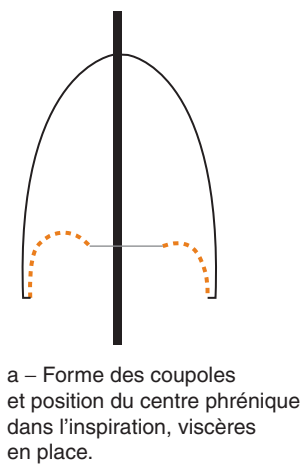


Fig. 4.10a, b, c Relecture de l'expérimentation de Duchenne de Boulogne.

La descente du centre phrénique ne peut donc être limitée que par une force résistante s'exerçant à partir du haut. Il convient dès lors d'attribuer à la masse viscérale la responsabilité de maintenir la forme des coupoles, leur permettant d'élever les côtes au lieu de les attirer vers l'intérieur, et aux éléments médiastinaux agissant comme un tendon, le blocage du centre phrénique dans l'inspiration (Fig. 4.11 a, b, c et d).<sup>2</sup>

La mise en évidence d'un « tendon » du diaphragme permet de comprendre le rôle suspenseur qu'exerce le centre phrénique vis-à-vis des viscères supérieurs.

● **Points clés**

Les éléments médiastinaux forment, avec le centre phrénique et les piliers du diaphragme, un système musculo-fibreux très résistant qui relie la base du crâne à la colonne lombaire. Dans le plan antérieur, sa tension s'ajoute à celle des scalènes et des intercostaux.

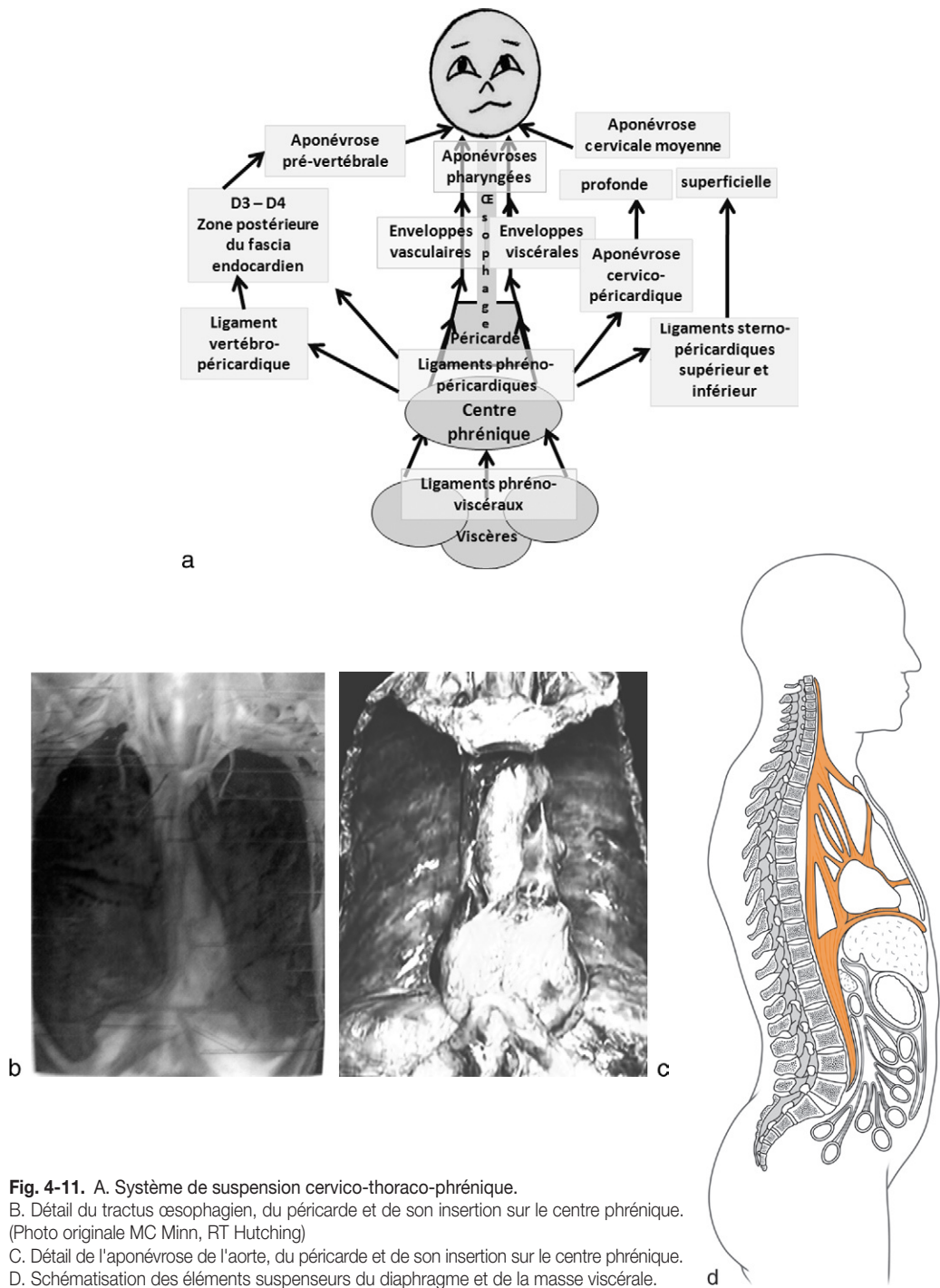
Des observations radioscopiques montrent que, dans l'inspiration, les piliers du diaphragme s'aplatissent, alors que les côtes s'élèvent. Les radiologues l'ont qualifié de « mouvement semi-paradoxal du diaphragme ». Cette descente relative des piliers est due à l'inextensibilité du système médiastinal suspenseur du centre phrénique (Fig. 4.12 et Tableau 4.1).

Tableau 4-1 Points fixes et temps respiratoires.

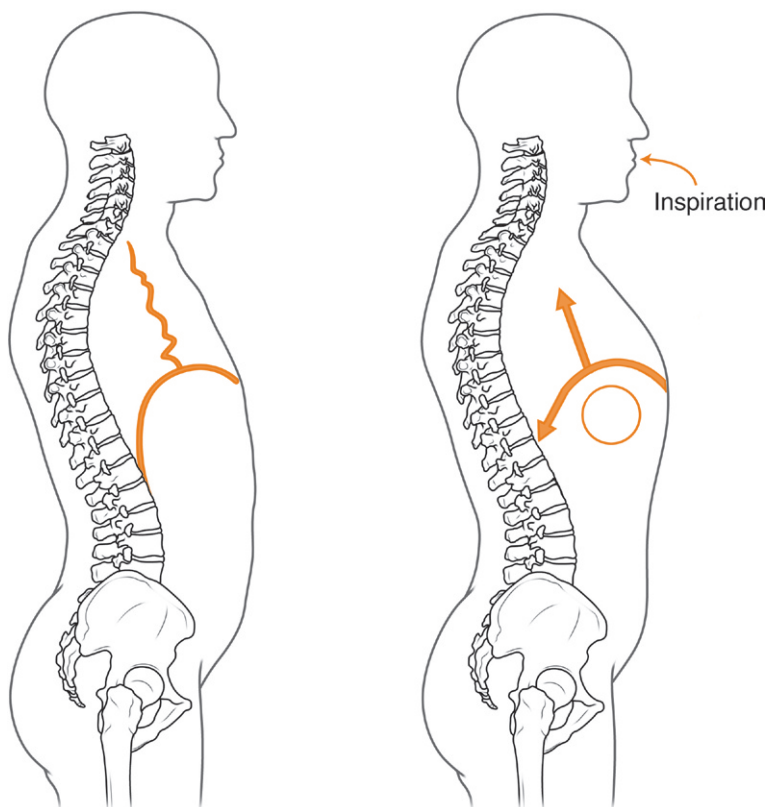
	Centre phrénique	Côtes	Région lombaire
Respiration de petite amplitude	Mobile	Fixes	Fixe
Respiration de moyenne amplitude	Semi-fixe	Mobiles	Fixe
Respiration de grande amplitude	Fixe	Mobiles	L3-L4-L5 Fixes D11-D12-L1-L2 Semi-fixes

L'ensemble des muscles contribuant à l'inspiration peut être qualifié de « chaîne inspiratoire » (Fig. 4.13).

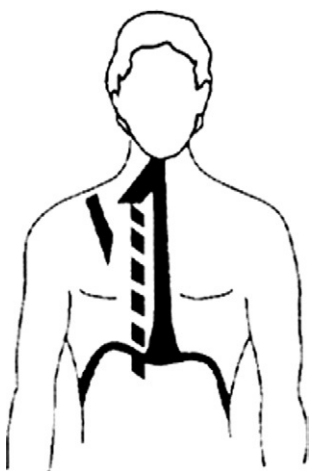
2 Du même auteur, *Le Diaphragme*, Éd. Le Pousoë, 1982.







**Fig. 4-12.** Dans l'inspiration, les piliers et le système suspenseur du diaphragme se tendent. Les viscères maintiennent la forme des coupes.



**Fig. 4-13.** La «chaîne inspiratoire».

## L'expiration

L'expiration, quant à elle, peut être obtenue par le simple relâchement des inspireurs. Les muscles expirateurs peuvent donc être qualifiés d'expirateurs accessoires. Comme leurs homologues inspireurs, ils n'interviennent qu'en fonction des besoins. Ils sont peu nombreux.

On dénombre :

- le triangulaire du sternum ;
- les abdominaux : grands droits, grands et petits obliques, transverse de l'abdomen ;
- le carré des lombes.

Ils agissent dans le sens de la gravité. Leur fonction essentielle est dynamique.



### ● Points clés

Les inspireurs sont nombreux et à vocation préférentiellement statique. Les expirateurs sont peu nombreux et dynamiques.

Dans la mécanique respiratoire la suspension du thorax et l'acte inspiratoire sont privilégiés. Ils dépendent des mêmes muscles.

## Prendre et porter à soi

Après l'exigence respiratoire s'impose la nutrition. D'abord complètement dépendant de la mère, le jeune enfant va tenter de s'en affranchir en prenant ce qui lui est proche et en le portant à la bouche. Pour ce faire il doit élever la ceinture scapulaire et abduire légèrement le bras, pour faciliter la circumduction (antépulsion-adduction-rotation interne). Il peut alors accéder à la bouche grâce à un mouvement coordonné incluant également la flexion-pronation du coude, la flexion du poignet et des doigts et l'opposition du pouce.

Interviennent principalement les muscles suivants :

- le trapèze supérieur ;
- le sus-épineux ;
- le deltoïde ;

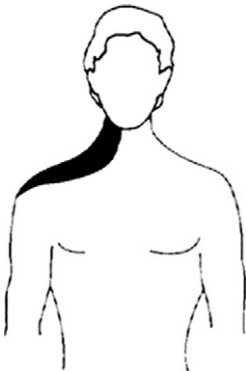


Fig. 4-14. Chaîne supérieure de la ceinture scapulaire.

- les fléchisseurs et adducteurs rotateurs internes de l'humérus ;
- les fléchisseurs et les pronateurs du coude ;
- les fléchisseurs du poignet et des doigts ;
- l'opposant du pouce (Fig. 4.14, 4.15 et 4.16).

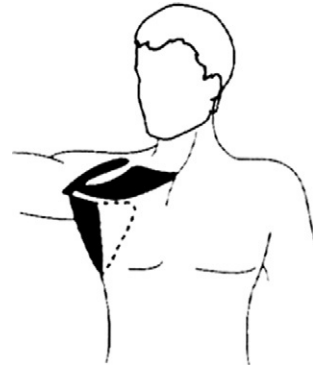


Fig. 4-15. Chaîne antéro-interne d'épaule.

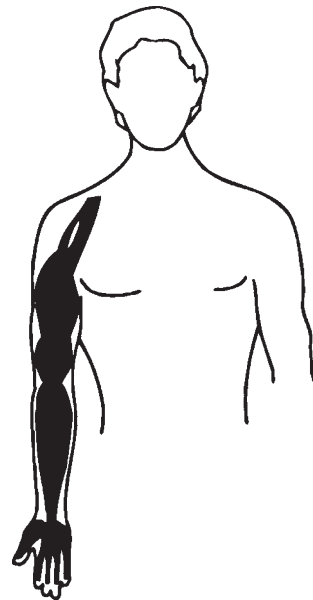


Fig. 4-16. Chaîne antérieure du membre supérieur.

Comme ce fut le cas pour l'inspiration, on constate que cette coordination gestuelle hégémonique est réalisée par des muscles nombreux et puissants : les élévateurs de la ceinture scapulaire d'une part, et les adducteurs-rotateurs internes du bras, d'autre part. Ces derniers sont plus nombreux que les abducteurs-rotateurs externes.

La prééminence est encore plus marquée pour les fléchisseurs du coude et des doigts et pour l'éminence thénar.

Tous ces muscles participent en outre à la fonction de suspension du membre supérieur.

### ● Points clés

Dans le fait de prendre et de porter à la bouche, l'hégémonie fonctionnelle impose, là encore, une prédominance quantitative et une différenciation qualitative des implantations musculaires.

## La position érigée

Elle est indispensable à la locomotion et donc à la survie dans des conditions non assistées. Le contrôle de l'équilibre conditionne non seulement la station bipédique et la marche mais aussi, en partie, les mouvements au niveau des membres supérieurs, de la tête et du cou.

Comme il vient d'être dit, la bipédie nécessite une spécification des muscles et un regroupement. Il reste à identifier les groupes musculaires qui, progressivement, la rendent possible et qui assurent ensuite sa pérennité.

La position debout est l'expression même de la fonction statique. Tous les muscles qui la permettent présentent donc les caractéristiques générales anatomo-fonctionnelles des muscles antigravitaires.

Le maintien de la tête et du cou nécessite l'action de tous les muscles du rachis cervical mais principalement :

- des spinaux nucaux et en particulier du grand complexe ;
- du long du cou ;

- de l'intertransversaire du cou ;
- des scalènes.

Les muscles situés dans le plan postérieur sont extrêmement nombreux (Fig. 4.17).

La statique de la colonne vertébrale au niveau dorsal et lombaire dépend essentiellement des muscles spinaux, également en très grand nombre (Fig. 4.18).

Au niveau de la ceinture pelvienne, les fessiers, pelvi-trochantériens, ischio-jambiers et 3<sup>e</sup> faisceau du grand adducteur assurent la verticalité du bassin.

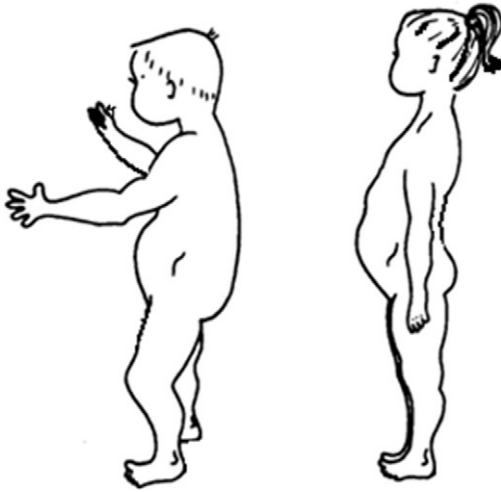


**Fig. 4-17.** Importance des muscles postérieurs au niveau cervical (coupe en C7 d'après Kapandji).



**Fig. 4-18.** Importance des muscles postérieurs au niveau lombaire (coupe en L2 d'après Kapandji).

Après une période provisoire d'apprentissage de l'équilibre et de marche genoux fléchis réclamant la contraction phasique constante, donc peu économique, du quadriceps, l'enfant accède à l'extension complète du membre inférieur. La ligne de gravité passe alors au niveau de la rotule, permettant aux muscles postérieurs de participer au maintien de l'articulation en extension et de limiter l'action du quadriceps à l'activité du droit fémoral (Fig. 4.19).



**Fig. 4-19.** Acquisition de la posture bipédique définitive, posture genoux en extension. Fixation de la lordose lombaire.

Au niveau de la jambe, le triceps sural n'a pas de muscle antagoniste de puissance équivalente dans le plan antérieur. Les muscles plantaires sont très nombreux et renforcés par l'aponévrose plantaire. Ils permettent l'apparition puis le maintien des voûtes. (La face dorsale du pied ne possède qu'un muscle court : le pédieux).

### ● Points clés

La lutte contre la gravité requiert la présence spécifique de muscles de la statique nombreux et puissants dans le plan postérieur.

L'équilibre latéral externe des membres inférieurs dépend du très résistant fascia-lata, prolongé par les muscles péroniers latéraux (Fig. 4.20).



**Fig. 4-20.** Chaîne latérale du membre inférieur.

Le regroupement que le nouveau-né doit effectuer au niveau de la hanche depuis sa position déployée en abduction-rotation externe est rendu possible par l'importance et le nombre des muscles adducteurs-rotateurs internes de l'articulation coxo-fémorale (Fig. 4.21).



**Fig. 4-21.** Chaîne antéro-interne de hanche.

Se trouvent alors constitués deux ensembles musculo-fibreux puissants :

- une chaîne maîtresse postérieure, réunissant la majeure partie des muscles nécessaires à la station érigée et situés dans le plan postérieur (Fig. 4.22) ;
- une chaîne maîtresse antérieure, permettant la suspension et le regroupement (Fig. 4.23).



Fig. 4-22. La chaîne maîtresse postérieure.



Fig. 4-23. La chaîne maîtresse antérieure.

## Implantations musculaires hégémoniques et spasticité

L'observation de l'hémiplégique spastique apporte une confirmation de la suprématie de certains groupes musculaires. Sous réserve du caractère éminemment personnel des pathologies neurologiques, le comportement traditionnel du spastique est :

- une légère abduction du bras;
- une rotation interne de l'humérus;
- une flexion-pronation du coude;
- une flexion des doigts;
- l'opposition du pouce;
- l'extension du membre inférieur;
- le varus-équien du pied (Fig. 4.24).

Il est intéressant d'établir un parallèle avec l'installation de la rigidité cadavérique. Elle commence au niveau du masséter, des muscles du cou et de la nuque, pour s'étendre au tronc, aux membres supérieurs et aux membres inférieurs.

Elle prédomine au niveau :

- des fléchisseurs des membres supérieurs;
- des extenseurs des membres inférieurs.



Fig. 4-24. Implantation musculaire hégémonique et spasticité.

Ces muscles seraient donc plus sensibles aux ions calcium  $\text{Ca}^{++}$ , confirmant ainsi l'importance des groupes musculaires précédemment identifiés.

## Les chaînes de coordination neuromusculaire

Les ensembles musculaires à caractère hégémonique qui ont présidé à la maturation musculo-squelettique de l'enfant peuvent prendre le nom de « chaînes », à condition d'être placés dans leur contexte neuromoteur.

Hermann Kabat, qui a été un des premiers à employer le terme en 1946, ne s'y était pas trompé, lui qui a parlé de chaînes de coordination neuromusculaire. Cela a été à l'origine de la méthode de facilitation neuromusculaire proprioceptive (PNF), visionnaire pour l'époque (Margaret Knott et Dorothy E. Voss, *Proprioceptive Neuromuscular Facilitation*, 1968).

C'est la voie qu'il faut s'efforcer de suivre, quelles que soient les difficultés d'analyse des mécanismes synergiques et de leurs subtilités. L'efficacité des modes opératoires qu'il convient de mettre en œuvre pour remédier à leur dysfonctionnement en dépend.

Car sortir de ce cadre expose au risque de perdre la référence physiologique qui, dans tous les cas, doit demeurer le juge de paix. Sans ce lien, il peut y avoir autant de chaînes que d'auteurs, d'écoles ou de chapelles.

Notre profession en a déjà connu de différents types, qu'elles soient des muscles postérieurs, musculo-articulaires, fasciales, de la dure-mère... Elles ont contribué à faire évoluer les mentalités, tournées majoritairement vers l'analytique. Mais il n'a pas été possible pour autant d'élargir leurs spécificités ou d'établir des relations indiscutables entre elles. Des contradictions sont même apparues.

### ● Points clés

Il faut se convaincre que le dénominateur commun est neurofonctionnel, que l'activité neuromusculaire est à la base d'une coordination motrice régissant deux fonctions, statique et dynamique, certes absolument complémentaires mais aux impératifs distincts.

Les répliques de ces cohérences fonctionnelles sont, bien entendu, observables à tous les niveaux : fascial, ligamentaire, capsulaire, articulaire. Les interactions sont constantes. Mais aucun élément fibro-articulaire ne peut suppléer l'activité neuromusculaire, si celle-ci s'interrompt.

Sans référence au moteur originel et à ses finalités, l'idée même de corrélation ordonnancée que véhicule le mot « chaîne » perd sa justification.

La chaîne inspiratoire qui vient d'être schématiquement décrite l'illustre. Elle comporte un muscle central (le diaphragme), des muscles postérieurs (les spinaux), supérieurs (inspirateurs scapulaires et nucaux), et entourant le thorax (les intercostaux). On est très loin d'une chaîne faite de maillons reliés, telle qu'on se la représente habituellement, ou même d'une suite de muscles s'enjambant les uns les autres et renforcée par des jonctions fasciales.

Il faut donc comprendre : chaîne de coordination neuromusculaire, de suspension du thorax en activité statique et inspiratoire en activité dynamique.

Les relais musculaires axiaux n'apparaissent clairement du point de vue anatomique qu'au niveau postérieur des membres inférieurs, antérieur et postérieur du rachis et sur la face antérieure des membres supérieurs.

Ces dispositions apparemment claires offrent une intéressante illustration conformationnelle représentative du concept de chaîne par leur continuité longitudinale.

Mais elles ne sont simples qu'en apparence, car il leur faut couvrir tout le spectre multidirectionnel des fonctions dynamique et statique. Elles doivent en outre être reliées de façon cohérente aux ensembles musculaires régissant la physiologie de la racine des membres.

### ● Points clés

Par « chaîne musculaire » il faut entendre chaîne de coordination neuromusculaire. Certaines sont de préférence statique, d'autres à vocation plus dynamique. L'identification des muscles qui les composent doit s'établir à partir de leur typologie (statique ou dynamique), de leur implantation et de leur participation à une fonction musculo-squelettique dont l'importance et la finalité sont clairement identifiables (hégémonies) et enfin, des synergies qu'ils se doivent d'entretenir pour la réaliser de façon coordonnée.

Par commodité, l'expression « chaîne musculaire » continuera à être utilisée dans les pages qui suivent mais assortie de guillemets destinés à rappeler le sens réel qu'il faut lui donner.

Les schémas de coordination statiques et dynamiques seront traités dans le chapitre 7.

# Chapitre 5

## Les mécanismes d'adaptation et de défense

### Nécessité – Organisation – Limites

#### Importance du système automatique

Nos fonctions vitales sont autonomes. Certaines fonctions automatiques gèrent l'activité contractile de muscles striés : battements cardiaques, respiration diaphragmatique (également contrôlée volontairement, par l'intermédiaire des nerfs phréniques). Le système automatique régit, par ailleurs, la fonction statique au travers du tonus. Il convient donc d'en examiner attentivement les réactions face aux agressions et les conséquences que celles-ci peuvent avoir au niveau musculaire. Ce n'est qu'à ce prix que l'on peut comprendre l'apparition, la diffusion, la fixation et la constance des dysmorphismes.

Cette gestion des messages nociceptifs est indispensable au maintien d'une vie qualitativement acceptable et s'opère d'une façon remarquable mais elle n'est pas dépourvue d'inconvénients liés à ses impératifs et à sa propre complexité.

#### Les trois règles hiérarchisées

Les mécanismes d'adaptation et de défense répondent à une programmation que l'on pourrait qualifier de « politique de la terre brûlée ». Ils montrent une capacité de calibrage des réponses à l'agres-

sion tout à fait étonnante. Pour ce faire ils respectent trois règles hiérarchisées<sup>3</sup>.

#### ● Points clés

##### **Première règle :**

Sauvegarder les fonctions essentielles

##### **Deuxième règle :**

Supprimer les douleurs et les gênes, si ce n'est pas en contradiction avec la première règle.

##### **Troisième règle :**

Respecter la loi du moindre effort et s'auto-protéger, si ce n'est pas en contradiction avec la première et la deuxième règle.

Les altérations des fonctions autonomes les plus essentielles ne sont pas du domaine de la physiothérapie. Pour ce qui concerne notre profession, nous avons vu que la fonction statique est aussi importante que la fonction dynamique.

La finalité de l'équilibre en position debout ou assise se traduit par l'obtention de la concordance d'informations provenant des récepteurs vestibulaires, proprioceptifs et de la perception d'une image stable et claire au niveau de la rétine.

Pour la fonction dynamique, les gestes doivent s'effectuer de façon coordonnée, en accord avec les objectifs et dans leur amplitude physiologique normale.

Voilà pour ce qui concerne la sauvegarde des fonctions essentielles (1<sup>re</sup> règle).

<sup>3</sup> Voir aussi les lois de la robotique d'Isaac Azimov.

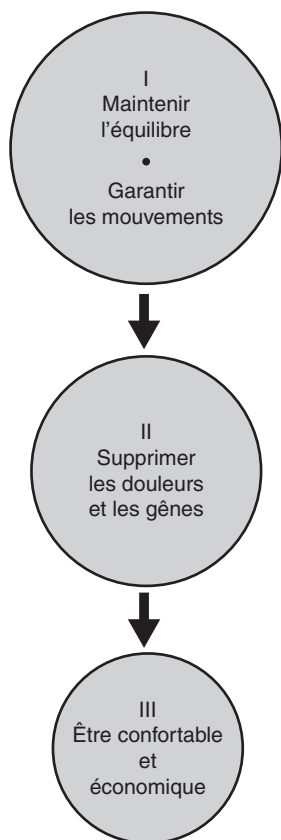


Fig. 5-1. La hiérarchisation des priorités.

En statique comme en dynamique, les objectifs fonctionnels doivent être atteints, sans limitation et, surtout, sans douleur, au niveau musculo-squelettique (2<sup>e</sup> règle).

Enfin, le système nerveux automatique doit permettre d'échapper à moindre coût aux agressions pouvant perturber l'équilibre ou le mouvement (3<sup>e</sup> règle) (Fig. 5.1).

## Les agressions subliminales

Nos mécanismes de défense et d'adaptation ont la capacité de se mobiliser face à des agressions infra-liminales. Ce serait le rôle spécifique de cellules inhibitrices se situant dans la corne postérieure de la moelle.

Les trois règles sont respectées.

On en voit tout de suite l'intérêt : l'agression ne parviendra jamais à la conscience. Le prix à payer est tout aussi évident puisque, si elles se fixent, ces défenses peuvent créer des pathologies de cause inconnue. La troisième règle n'est plus en accord avec la deuxième.

Ce sont les activités professionnelles qui, par la répétition des gestes ou des positions, sont les plus gros pourvoyeurs de ce genre de problèmes. Dans ce cas, l'anamnèse ne sera d'aucun secours.

## Les agressions liminales

Elles sont suffisamment fortes pour parvenir à la conscience mais, en s'affinant, les mécanismes de défense peuvent parvenir à les enfouir au niveau inconscient. Les trois règles sont en accord. Là encore le bénéfice est aussi net que l'inconvénient. La cause n'est pas traitée malgré un apparent retour à la normale. À terme il y aura discordance entre la deuxième et la troisième règle. Par ailleurs, là encore, à l'interrogatoire, le patient ne sera d'aucune aide. Il ne peut faire le rapport entre un vieux problème qu'il croit résolu et une éventuelle pathologie apparue postérieurement.

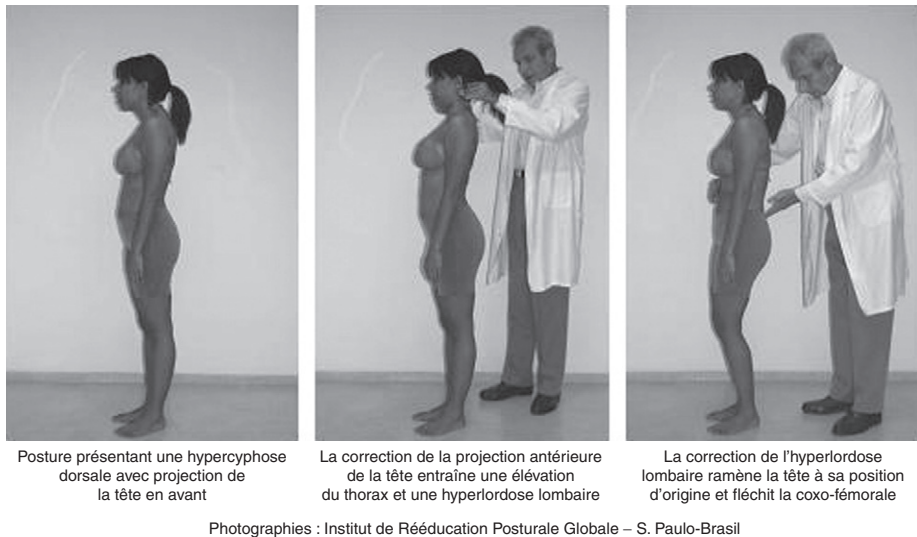
## Les agressions massives ou aiguës

Malgré leur efficacité, les mécanismes de défense et d'adaptation ne parviennent plus à masquer l'agression. Le conscient est alerté en permanence, la consultation devient nécessaire. La deuxième règle, et pour les cas les plus sévères la première, ne sont plus respectées. Sur le plan musculo-squelettique, la position debout est altérée, les mouvements deviennent impossibles.

## Les moyens

Les rétractions musculaires dues aux réflexes de défense doivent obéir, si possible, à la troisième règle : éviter d'être elles-mêmes génératrices de douleurs dues à leur mise en jeu.





**Fig. 5-2.** a, b et c.

a. Projection de la tête en avant avec hypercyphose dorsale haute. b. La correction entraîne une élévation du thorax et une hyperlordose lombaire. c. La correction lombaire ramène la tête à sa position d'origine et fléchit la coxo-fémorale.

Pour cela, deux moyens sont utilisés. Le premier est local : nos muscles n'étant pas antagonistes mais antagonistes et complémentaires et possédant en général trois physiologies : flexion-extension (ou latéroflexion), adduction-abduction, rotation, un muscle risquant d'être étiré douloureusement par son antagoniste a toujours la possibilité de s'échapper dans une fonction synergique qu'il possède avec celui-ci (voir aussi la composante de tassement chapitre 6).

### ● Points clés

Les antagonismes à caractère conflictuel entraînent une recherche de la synergie.

C'est ainsi qu'à l'interrogatoire un adolescent scoliotique ne ressent pas d'étirements désagréables des muscles de ses convexités, malgré la rétraction offensive de ceux de la concavité<sup>4</sup>.

L'autre possibilité est, bien entendu, celle des compensations à distance. Toujours au nom du même principe, l'antagonisme vrai n'existe pas, un muscle plurisegmentaire peut récupérer à une extrémité la longueur qui lui est prise à l'autre (Fig. 5.2).

### ● Points clés

La notion de propagation en chaîne s'impose en cas de mise en jeu des mécanismes d'adaptation et de défense.

La propagation des compensations peut s'effectuer en étoile. Lorsque des muscles possédant une insertion commune se terminent sur des segments osseux différents, la correction de l'insertion commune crée des compensations au niveau de toutes les terminaisons.

C'est le cas de l'apophyse coracoïde de l'omoplate, qui reçoit le petit pectoral, le coraco-brachial et le court biceps.

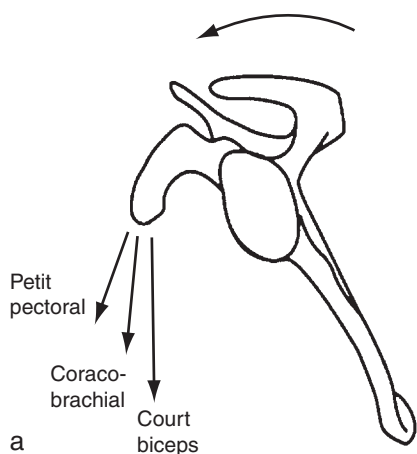
La rétraction d'un seul de ces muscles charge l'omoplate sur le thorax, ce qui entraîne la rétraction des deux autres.

Inversement, le désenroulement de l'omoplate (décharge) peut entraîner une élévation du thorax supérieur, due au petit pectoral, une rotation externe de l'humérus, liée au coraco-brachial et une flexion du coude, due au court biceps (Fig. 5.3 a et b).

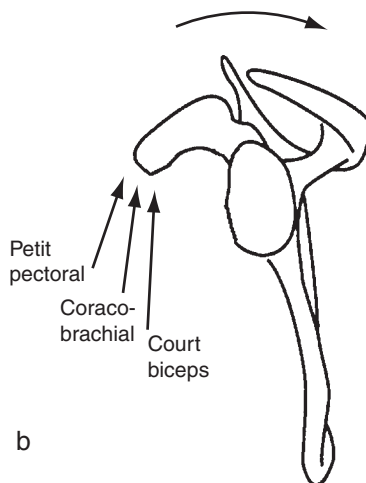
Les muscles axiaux présentent fréquemment des terminaisons multiples. Leur rétraction concerne donc plusieurs segments et les affecte en général de façon pluridimensionnelle.

4 Voir du même auteur, *Les Scolioses*, Éd. Masson, 2003.





a. La rétraction du petit pectoral, du coraco-brachial et du court biceps charge l'omoplate sur le thorax.



b. La correction de l'omoplate peut entraîner des compensations au niveau du thorax, du bras et de l'avant-bras.

Fig. 5-3. a et b.

Le transversaire épineux est, à ce titre, un muscle très caractéristique (Fig. 5.4).

Lorsqu'il s'agit de simple adaptation, les compensations s'enchaînent consécutivement en fonction de la succession des terminaisons musculaires. En cas de tentative d'échappement à la douleur, les comportements antalgiques peuvent concerner directement des segments corporels plus distants.

Quand une articulation est fortement mobile en rotation (scapulo-humérale, coxo-fémorale), c'est dans cette physiologie que s'expriment préférentiellement les compensations, car elles s'y montrent moins pénalisantes fonctionnellement que les fixations en flexion-extension ou adduction-abduction.

## Le coût : augmentation générale et spécifique du tonus neuromusculaire

L'entrée en action des mécanismes de défense est synonyme d'augmentation du tonus. En cas d'agression, cette suractivité, occasionnelle ou chronique, est inévitable.

Elle est d'origine réflexe et peut impliquer également les centres automatiques supérieurs et les réponses du réflexe myotatique direct.

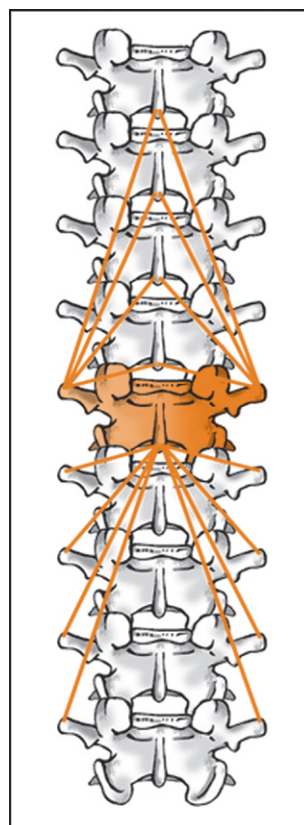


Fig. 5-4. Le transversaire épineux, représentation schématisée au niveau dorsal.

Il a été en effet prouvé que l'excitabilité du système gamma augmente en cas d'inflammation musculaire. Pour Johansson et Sojka (1991) l'augmentation des activités des afférences élève le seuil d'excitabilité des motoneurons alpha, créant un cercle vicieux de raideur. Ce modèle a été également prouvé par Knutson (2000). Pour Lund et coll. (1991), l'hyperactivité en cas de douleur concerne les muscles antagonistes. Ils l'ont définie comme « modèle d'adaptation à la douleur ».

En cas de douleur lombaire, les muscles spinaux augmentent leur activité, tandis que les abdominaux la baissent dans les mouvements de flexion lombaire (Nouwen et coll., 1987).

Les agressions de caractère somatique peuvent affecter indifféremment n'importe quelle partie du corps. Les rétractions musculaires qui s'en suivent concernent donc telle ou telle chaîne neuromusculaire, suivant sa localisation.

Mais il a été vu que l'activité tonique est supervisée par les centres nerveux supérieurs. L'adaptabilité du tonus à toutes les conditions environnementales amène donc à une autre différenciation entre les muscles des membres inférieurs (en particulier extenseurs), qui ont des caractéristiques antigravitaires notables et ceux de la partie supérieure du corps, à vocation dynamique plus marquée et dont la conduction nerveuse est plus rapide.

Ces derniers se montrent plus réactifs aux agressions à connotation psychique.

### ● **Points clés**

Les muscles de la nuque, ceux de la ceinture scapulaire et les inspireurs sont plus sensibles aux agressions de caractère émotionnel.

## **Le coût – suite : le principe de précaution**

La prépondérance qu'exerce la deuxième règle sur la troisième entraîne que nos mécanismes de compensation, et particulièrement ceux de défense, sont toujours exagérés, ce qui peut les mettre en contradiction avec la troisième règle.

### ● **Points clés**

Un mouvement est limité automatiquement dans son amplitude avant même de risquer de franchir la frontière fixée par la douleur.

En statique, une scoliose antalgique lombaire présente un décalage latéral (signe de la baïonnette ou side-shift) en général excédentaire.

Il y a une marge entre la position pathologique masquant la douleur et l'apparition de celle-ci lorsqu'on opère la correction.

## **Le coût – suite : le recours à la facilité**

Le principe d'économie impose d'utiliser au mieux les disponibilités physiologiques. Au niveau dorsal, par exemple, la flexion antérieure est facilitée, ce qui n'est pas le cas de l'extension.

Si celle-ci devient difficile, les mouvements en postéro-flexion se font préférentiellement au niveau lombaire ou cervical. La zone dorsale n'est plus sollicitée, d'autres peuvent l'être trop.

Les problèmes prennent une autre forme, qui est fréquemment prévisible.

## **Le coût – suite : l'excès compensatoire**

Les agressions qualitatives sont à l'origine de réactions exagérées à rapprocher des effets du principe de précaution.

En 1955 Jean-Bernard Baron a fait état d'un paradoxe. La déviation expérimentale de l'axe visuel de poissons et de rats en dessous de 4° entraîne une modification du tonus et de la coordination motrice de ces animaux, qui commencent à tourner sur eux-mêmes dans le sens de l'œil affecté. Au-delà de 5° on ne note aucune modification du comportement.

Pour avancer une interprétation il faut encore en revenir à la notion d'hégémonie qui, dans le cadre de la vision, doit garantir une vision unique, claire et stable.

Afin de préserver la règle numéro 1, toute compensation est acceptable. La facture est disproportionnée. Lorsque malheureusement la fonction essentielle elle-même ne peut plus être assurée, les mécanismes d'adaptation peuvent connaître une relative désaccélération de leurs propres excès.

La symptomatologie est le prix de l'effort consenti pour compenser la pathologie<sup>5</sup>.

### ● Points clés

Les mécanismes d'adaptation sont intensément mobilisés en cas d'agressions qualitatives.

Ceci ne peut faire oublier que les agressions quantitatives ou aiguës, sont également à l'origine de compensations disproportionnées.

C'est ainsi que des parésies peuvent avoir la douleur pour origine. La dorsiflexion du pied peut être inhibée en cas de sciatique sévère de type L4-L5 ou L5-S1.

La position bipédique est encore heureusement possible, mais la fonction dynamique est affectée. Un traitement efficace de la sciatique peut résoudre spectaculairement ce type de pathologie, à la condition qu'il soit administré promptement. La chronicité peut rendre l'inhibition difficilement réversible.

Il est également fréquent de constater des parésies du membre supérieur dues à la compression du plexus brachial au niveau du défilé des scapules. La fréquente rétraction de ces muscles en est la cause. Leur allongement peut résoudre la symptomatologie. Il s'agit, là encore, d'une simple inhibition.

Dans le même ordre d'idée, face à une cunéiformisation de L5 créant une inclinaison de son plateau supérieur de 15°, il serait normal de pronostiquer une scoliose lombaire de 30°. Si ce principe est *a priori* indiscutable, à terme cette scoliose présentera une angulation plus importante et sera à l'origine éventuelle d'une contre-courbure dorsale. Ceci laisse la place à l'action thérapeu-

tique même lorsque la cause est de caractère irréversible.

## Le coût – suite : la fixation des compensations

Un mouvement qui s'effectue avec difficulté est obligatoirement compensé au moment où il s'exécute. Pour être efficace, cette compensation doit se produire de façon simultanée et être provisoire. Son emploi répétitif raccourcit les muscles qui la commandent et la fixent, lui faisant perdre sa disponibilité de facilitation.

Ce sont les pathologies neurologiques qui, par les contorsions obligatoires qu'elles imposent, l'illustrent le mieux. Même en l'absence de tout caractère évolutif de l'affection, c'est un des facteurs qui, sur la durée, est le plus pénalisant chez les spastiques.

### ● Points clés

Dans les activités dynamiques, une compensation, pour être efficace, se doit d'intervenir momentanément et d'être réversible.

## Le coût – suite : le paradoxe des effets permanents et des causes évanouies

Dans ce cas, la mise en jeu des défenses a permis une mise au repos puis une guérison des structures musculo-squelettiques responsables de la pathologie d'origine, mais l'importance et la durée de cette mobilisation ont fixé les compensations. Il y a conflit entre la deuxième et la troisième règle. La symptomatologie demeure, malgré la disparition de la cause (Fig. 5.5).

## Le conflit conscient-inconscient

Les mécanismes de défense peuvent se trouver en porte-à-faux vis-à-vis de la première règle elle-même. Un plongeur en panne de bouteille d'oxygène par vingt mètres de fond sait très bien qu'il

<sup>5</sup> Iñaki Pastor, *Traitement physiothérapique des pathologies crânio-cervicales par la correction du système oculomoteur*. Elsevier Espagne.

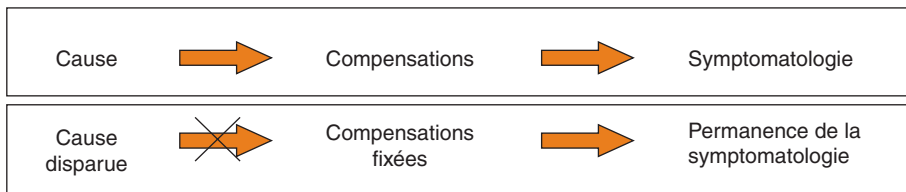


Fig. 5-5. Le paradoxe des effets permanents et des causes évanouies.

ne doit pas respirer sous peine d'inhaler de l'eau. Il le fera quand même au nom de la sauvegarde de l'oxygénation du sang. Les défenses automatiques s'opposent, dans ce cas, à la volonté.

Dans un domaine moins dramatique, certaines douleurs ostéoarticulaires de forte intensité, certaines déformations peuvent interdire tout mouvement ou même la position érigée.

## L'auto-guérison

Suffisamment efficaces pour la permettre, les mécanismes de défense se démobilisent une fois qu'elle est obtenue. Il n'y a pas de conséquence. Les trois règles sont en accord. Mais dans ce cas, une fois de plus, pour éviter les séquelles compensatoires, la notion de temps est fondamentale (paradoxe des effets permanents et des causes évanouies).

## Conclusion

Force est donc de constater que dans la plupart des cas, nos défenses déplacent les problèmes sans les traiter et sont à l'origine, au niveau musculo-squelettique, qui est celui qui nous intéresse ici, de nombreux inconvénients qui, à terme, peuvent dépasser ceux de l'agression primaire.

S'il est indiscutable que l'organisme possède des facultés d'auto-guérison, celles-ci devront, le plus souvent, être activées par un traitement adapté.

Si nous admettons que des compensations fixées peuvent être à l'origine d'un tableau clinique n'ayant plus rien à voir avec la cause, et que dans certains cas celle-ci peut même avoir disparu, quelle conduite adopter?

## Orientations thérapeutiques

À ce stade du raisonnement il convient, tout d'abord, de remettre en cause les traitements symptomatiques et analytiques qui ne peuvent, en aucun cas, dénouer l'écheveau des mécanismes de défense ni remonter de la conséquence à la cause des problèmes. Ils ne seront opérants que s'ils sont appliqués immédiatement après une agression identifiée, c'est-à-dire avant la mise en jeu et la fixation des compensations.

Certains prônent le traitement directement causal. Malheureusement cette démarche se heurte à des obstacles insurmontables. Y a-t-il une ou plusieurs causes? Est-on sûr de leur implication?

Il arrive que l'interrogatoire, l'examen et la compétence permettent un diagnostic indiscutable ou, à tout le moins, d'orienter les soupçons.

Mais la louable intention de thérapie causale s'effondre en cas d'agressions infraliminales, lorsque les mécanismes de défense sont fixés ou encore dès qu'il s'agit du paradoxe des effets permanents et des causes évanouies.

Les traitements physiothérapiques sont quotidiennement confrontés à ce problème. Une bascule de bassin a créé une scoliose lombaire mais, une fois celle-ci fixée, la correction du bassin n'aura aucun effet durable sur la courbure scoliotique car elle crée immédiatement une compensation supérieure causant ou aggravant une contre-courbure dorsale.

Il semble donc que rien ne puisse remplacer le cheminement spatiotemporel patient qui, en partant de la correction de la symptomatologie («ici et maintenant»), permet de remonter de l'abolition des compensations à la correction des fixations, jusqu'au mécanisme causal.

**Tableau 5.1** Les mécanismes d'adaptation et de défense.

	Rôles positifs	Inconvénients
Face aux agressions en général	Indispensables Efficaces Économiques	Vigilance permanente entraînant une tendance à l'hypertonie chronique. Principe de précaution : comportements défensifs exagérés par rapport à la cause
Face aux agressions infraliminales	Gèrent les affaires courantes. Évitent qu'elles parviennent au niveau conscient	Compensations, déformations et raideurs de toutes sortes sans pouvoir en déterminer l'origine
Face aux agressions qui sont déjà parvenues à la conscience	Réenfoncement au niveau inconscient	La cause est analgésiée sans être traitée. Là encore, les compensations peuvent se fixer, même si la cause disparaît
Face aux agressions qualitatives	Sauvegardent efficacement les fonctions hégémoniques	Mobilisations compensatoires disproportionnées
Face aux agressions de caractère neuropsychique	Renforcement de la vigilance	Hypertonie préférentielle des muscles inspireurs, de ceux de la ceinture scapulaire et de la nuque
Face aux agressions massives ou aiguës	Font ce qu'ils peuvent pour diminuer la douleur	Très fortes déformations manquant d'efficacité Invalidités
Face aux causes irréversibles	S'adaptent au mieux	Compensations excessives par rapport à la cause

# Chapitre 6

## Les inconvénients incontournables de l'activité musculaire

Tout système énergétique produit des déchets, aucun n'échappe au vieillissement et à l'usure.

L'appareil musculo-squelettique ne fait pas exception. Dans l'incapacité de se régénérer éternellement, les tissus périssent et meurent, en l'absence même de quelque type d'agression interne ou externe. Celles-ci ne font qu'accélérer et focaliser un processus dégénératif programmé.

Outre cette évolution biologique inexorable, il existe un certain nombre de facteurs pathogènes inhérents à l'activité musculaire qui contribuent à l'altération anticipée de ses fonctions. Leur identification permet d'en déduire les conséquences. Celles-ci sont d'une constance et d'une convergence troublante.

### Les inconvénients identifiés

#### Installation et effets de la rétraction musculaire

Il suffit, dans cette première partie, de reprendre les différents mécanismes physiologiques précédemment évoqués pour mettre en évidence leurs limites. Celles-ci affectent l'appareil musculo-squelettique dans toutes ses composantes.

Dans l'ordre des sujets abordés dans le chapitre 1 :

- Les fibres musculaires lentes sont toujours sollicitées, quelle que soit l'activité. Elles entrent en jeu avant les rapides.
- Avec l'âge, les fibres rapides régressent par rapport aux lentes. Il en est de même de l'élastine vis-à-vis du collagène.
- La concentration de ce dernier est plus élevée dans les muscles à fibres lentes.

- Les activités statiques constantes provoquent une augmentation de la section transversale des fibres, une hypertrophie des fibres lentes et une régression des fibres rapides.
- La proportion de collagène augmente en cas de raccourcissement. L'élasticité du tissu conjonctif diminue avec l'immobilité.
- Les muscles adaptent leur longueur en fonction des activités où ils sont le plus sollicités. Le sédentarisme, les activités professionnelles répétitives, la position assise, etc. les fixent en raccourcissement.
- La pré-tension facilite le raccourcissement. Inversement, le pré-raccourcissement facilite la résistance. La statique appelle à la statique.

La perte de l'élasticité provoque :

- une baisse des amortissements en allongement ;
- une diminution de la restitution de la force passive en raccourcissement ;
- une dépense énergétique supplémentaire en contraction isotonique, qu'elle soit concentrique ou excentrique ;

La rétraction musculaire entraîne :

- une diminution de la distance de déplacement des charges ;
- une restriction des amplitudes articulaires, la rétraction des capsules ;
- une baisse de la vitesse angulaire due à la limitation de l'amplitude et à l'augmentation de la résistance au déplacement.

#### ● Points clés

Les muscles de la statique sont victimes de raccourcissement.

Les composants fibreux perdent leur élasticité.

La restitution de force passive et les amplitudes articulaires diminuent.

Les pathologies neurologiques flasques ont une autre étiologie. Par ailleurs, la laxité articulaire ne doit pas être confondue avec la souplesse musculaire. Elle est génétique, alors que la raideur musculaire s'acquiert. La laxité ligamentaire ne peut s'exprimer qu'en l'absence de tension musculaire ou en cas de compensations permettant d'y échapper.

Le chapitre 2 montre que :

- Le réflexe myotatique direct intervient constamment dans le contrôle de la posture.
- Les fuseaux neuromusculaires sont en activité permanente, ils s'adaptent par co-activation à la longueur du muscle.
- La tension musculaire dont les organes tendineux de Golgi rendent compte n'augmente pas lorsque la rétraction musculaire s'accompagne de déformation morphologique.

### ● Points clés

La sensibilité des mécanorécepteurs s'adapte à l'évolution de la rétraction musculaire.

- La stiffness peut augmenter exagérément. Dans ce cas, les éléments musculo-fibreux présentent un défaut d'extensibilité. La frontière de la raideur excessive, ou point de rigidité, peut être évaluée par le degré de limitation des amplitudes articulaires en l'absence de compensations, et par l'excès de résistance des muscles à la traction axiale.

Le chapitre 3 met en avant que :

- Les récepteurs du cou sont fréquemment impliqués dans les perturbations de l'équilibre.
- Les altérations du système somato-sensoriel affectent l'équilibre.
- Les informations actualisées en provenance des mécanorécepteurs parviennent aux centres nerveux de contrôle, qui les intègrent.

### ● Points clés

Les informations en provenance des mécanorécepteurs sont intégrées en l'état.

Le chapitre 4 fait apparaître que :

- La fonction statique a un effet de concentration.
- Elle exige la présence de groupes musculaires nombreux et puissants.

- Il en est de même pour la fonction inspiratoire.
- Les groupes musculaires hégémoniques sont organisés sous forme de « chaînes ».

### ● Points clés

Les chaînes de coordination neuromusculaires à caractère hégémonique sont particulièrement sujettes à rétraction.

Le chapitre 5 met en évidence que les mécanismes d'adaptation et de défense ne sont pas sans inconvénients. Ils entraînent :

- des rétractions musculaires et des limitations d'amplitude articulaire ;
- la création de compensations ;
- leur caractère excessif ;
- la propagation et la fixation de celles-ci ;
- la création de pathologies secondaires ;
- la permanence de celles-ci, même lorsque l'agression primaire disparaît.

### ● Points clés

Les mécanismes d'adaptation et de défense contribuent à l'installation, la propagation et la fixation des rétractions musculaires.

## Autres inconvénients identifiables

### La composante de tassement

Il a déjà été souligné que, pour garantir la station érigée, les leviers inter-appui sont fréquemment utilisés. La disposition de la force s'oppose au passage de la ligne de gravité.

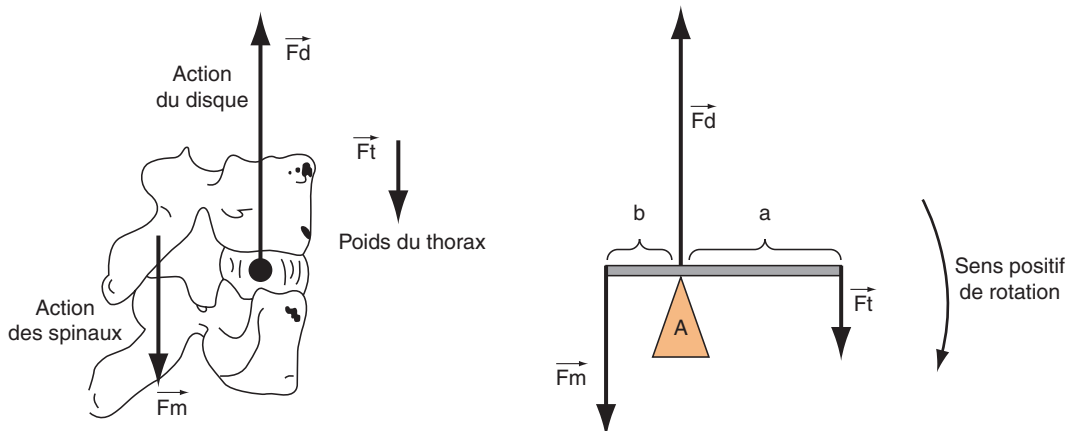
Cet agencement, au demeurant nécessaire, entraîne la compression du point d'appui. Elle peut prendre le nom de « composante de tassement ».

L'exemple choisi correspond au système inter-appui au niveau des vertèbres dorsales (Fig. 6.1).

L'intensité de l'action de l'os sur le disque est donc la somme du poids du thorax et de l'action du muscle.

Dans l'exemple choisi, nous sommes dans une situation de levier défavorable. Le point d'application du muscle est proche du point d'appui qui, à l'inverse, est éloigné du poids contre





**Fig. 6-1.** La composante de tassement. L'os (ou levier) est soumis à :

$F_t$  = Action du poids du thorax

$F_d$  = Action du disque sur l'os

$F_m$  = Action du muscle

À l'équilibre on a :  $F_t + F_d + F_m = 0$

En valeur absolue :  $F_d = F_t + F_m$

L'action sur le disque est :  $F_d = \frac{a+b}{b} \cdot F_t$   
(composante de tassement)

lequel il faut lutter. La longueur  $a$  est très supérieure à  $b$ , ce qui est encore plus pénalisant pour le tassement car :

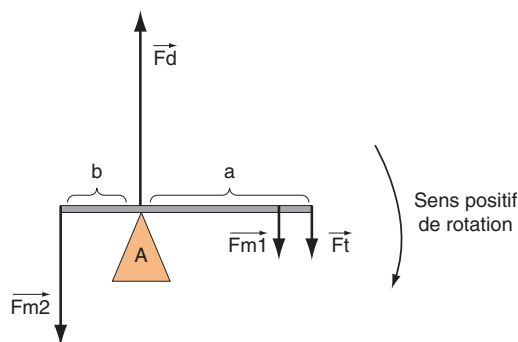
$$\frac{a+b}{b} > 1$$

### Points clés

Pour un système en équilibre, la pression sur le point d'appui s'accroît en fonction de l'augmentation de la masse, de son éloignement du point d'appui et de la tension musculaire.

Enfin, les muscles spinaux dorsaux doivent lutter non seulement contre  $G$ , mais également contre leurs antagonistes complémentaires. Ils sont en effet opposés au système de suspension musculo-fibreux antérieur et aux abdominaux.

Dans l'exemple choisi, à la force  $F_t$  (poids du thorax) il faut ajouter une force  $F_{m1}$  représentant la résistance musculo-fasciale antérieure. La force que les spinaux doivent leur opposer augmente ( $F_m$  devient  $F_{m2}$ ), la compression au niveau du disque croît (Fig. 6.2).



**Fig. 6-2.** La composante de tassement dépend de la masse, de la disposition du point d'appui et des forces musculaires en présence.

La composante de tassement affecte le fonctionnement normal de la pompe élasto-hydrodynamique chondroprotectrice qui entretient la nutrition des cellules cartilagineuses. Ses conséquences sont particulièrement néfastes sur le cartilage de croissance.

### Le déséquilibre des tensions réciproques

En isotonie il est facile d'évoquer un déséquilibre provisoire des tensions réciproques musculaires



lorsqu'un segment s'approche ou s'éloigne du point fixe d'insertion musculaire.

Dans les activités isométriques, nécessaires au maintien des équilibres posturaux, si la masse n'augmente pas, cette expression prend une autre signification. Pour que le système demeure en équilibre, toute augmentation de tension au sein d'un muscle (muscle offensif) entraîne une augmentation de celle de son antagoniste-complémentaire (muscle défensif). La tension générale et la compression articulaire augmentent, la déviation des segments osseux, due au muscle offensif, est stabilisée (Fig. 6.3 a et b).

### ● Points clés

En statique, l'expression « déséquilibre des tensions réciproques » signifie, en réalité, augmentation générale des tensions, compression articulaire et déformation morphologique.

Si l'augmentation des tensions antagonistes est égale et simultanée, il n'y a pas de déplacement. Il est ainsi fréquent de constater que des sujets qui présentent, en observation debout de profil, un bassin ni trop antéversé ni trop rétroversé sont, en réalité, très raides postérieurement de leurs pelvitrochantériens et ischio-jambiers et antérieurement des grands droits antérieurs et des adducteurs pubiens. Ils sont pathologiquement équilibrés.

Afin de déterminer le degré de tension musculaire, l'observation doit donc toujours être complétée par des tests de mobilité.

En contraction concentrique, un muscle défensif doit s'opposer non seulement au moment de force de la masse mais également à la résistance imposée par l'offensif.

### ● Points clés

En cinétique, le raccourcissement d'un muscle impose un effort supplémentaire à son antagoniste.

## Équilibre statique, déséquilibre cinétique

Si l'on prend l'exemple de la jambe, on constate qu'apparemment certains des muscles disposés dans le plan antéro-postérieur présentent une symétrie anatomo-physiologique certaine :

- jambier antérieur/jambier postérieur
- extenseur commun des orteils/fléchisseur commun des orteils
- extenseur propre du premier orteil/fléchisseur propre du premier orteil

Mais, en position debout, le maintien de la verticalité de la jambe face à une ligne de gravité qui passe en avant de l'articulation tibio-astragalienne exige la présence « surnuméraire » postérieure du triceps sural (voir chapitre 1 - Fig. 1.28).

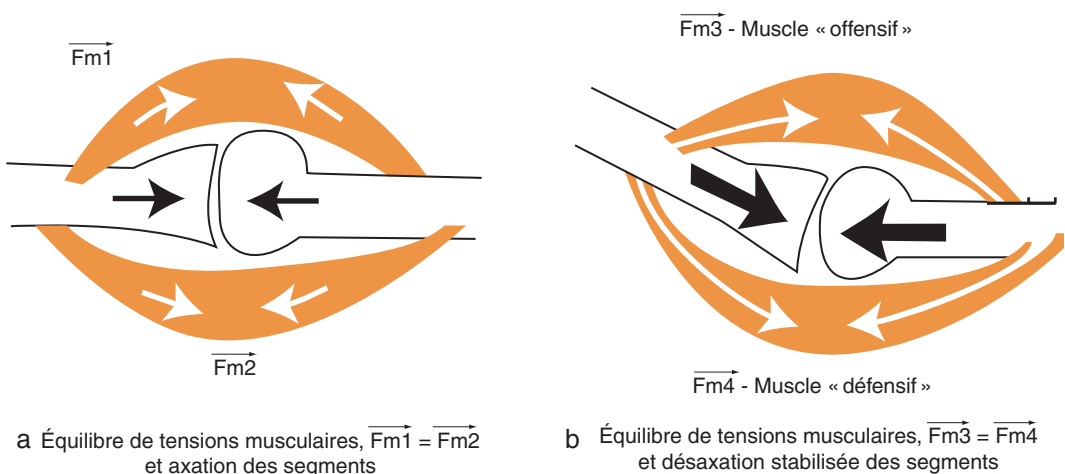


Fig. 6-3. a et b. Le paradoxe du "déséquilibre des tensions réciproques".

En dynamique, la force développée en flexion plantaire (équin) l'emporte donc sur la flexion dorsale (talus).

On retrouve ce déséquilibre en pathologie. Les rétractions affectent particulièrement le triceps. Le mouvement en flexion dorsale du pied est limité après une immobilisation plâtrée de la cheville. Dans les pathologies neurologiques spastiques frappant le membre inférieur, le pied se fixe en équin, la dorsiflexion est particulièrement pénalisée.

### ● Points clés

La force que certains muscles de la statique doivent opposer à la gravité se retrouve dans les activités cinétiques. Ils s'y montrent plus puissants. Ils se manifestent de façon hégémonique dans les pathologies rétractiles.

## Regroupement statique et éloignement du point d'équidistance dynamique

Le regroupement statique qu'effectue le jeune enfant n'est rendu possible au niveau de la racine des membres que grâce aux groupes musculaires adducteurs. Les bras se disposent le long du corps, les genoux se placent au contact l'un de l'autre.

Ces positions sont très proches de l'adduction complète et très éloignées des amplitudes totales d'abduction. Elles ne peuvent que favoriser la rétraction des adducteurs. Le maintien de l'activité dynamique d'abduction s'avérera difficile.

## Organisation des déséquilibres et gestion des coûts

Pour un système en équilibre, le moment de force du poids doit être compensé par un moment de force inverse, actif (myofibrille et tonus) et/ou passif (tissu conjonctif).

La charge peut s'approcher de la capacité maximum de la force musculaire qui s'y oppose. Il est alors obligatoire d'user de balanciers. C'est ainsi que, dans le système de levier inter-appui, une personne qui porte une valise trop lourde se déhanche et écarte le bras du côté opposé pour tenter de recentrer la charge sur ses appuis lombaires.

En station érigée, chaque segment corporel doit rééquilibrer sa masse par rapport à son propre point d'appui, grâce à une force adaptée.

Mais en cas de charges s'exerçant dans le même sens au niveau des différents segments, le muscle qui s'y oppose au niveau inférieur doit produire une force rééquilibrant leur somme. Cela peut dépasser ses capacités de puissance. Une personne qui veut s'incliner en avant, comme un piquet, en faisant jouer seulement son articulation tibio-astragalienne, ne peut opposer longtemps la force de son triceps à ce déséquilibre antérieur total de sa masse corporelle (Fig. 6.4).

Les segments doivent donc être organisés en déséquilibres opposés. Suivant l'importance de chacun de ces déséquilibres, la force à déployer localement pour les stabiliser doit augmenter. Mais, s'ils sont en sens inverse et de valeur égale, l'objectif final d'équilibre général peut être maintenu (Fig. 6.5).

Dans ce cas il y a inadéquation entre perfection morphologique, économie et confort.

La disponibilité de tel ou tel segment à compenser un déséquilibre, dans un sens ou dans un autre en isométrie posturale est comparable à ce qui se produit en cinétique. La colonne dorsale, de par sa cyphose naturelle, est particulièrement apte à la flexion antérieure. L'évolution vers une hypercyphose fixée s'en trouve facilitée. Il en est de même pour la projection de la tête en avant.

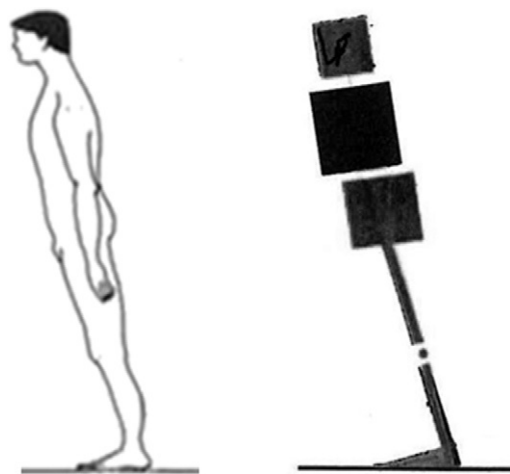
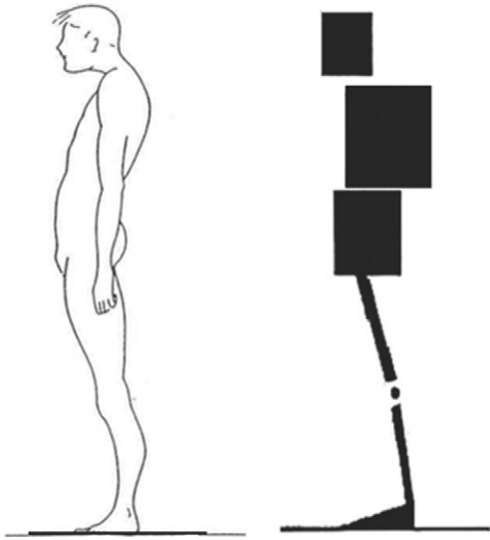


Fig. 6-4. Contrôle d'une somme de déséquilibres unidirectionnels par une forte activité musculaire.



**Fig. 6-5.** Contrôle de déséquilibres opposés - inadéquation entre équilibre, économie et perfection morphologique.

### ● Points clés

Les prédispositions pathologiques segmentaires allant dans le sens de la facilité sont identifiables et peuvent être classifiées en familles de dysmorphismes.

Lorsque la pathologie morphologique est organisée, les activités cinétiques ne font que l'aggraver. Un patient qui présente une scoliose thoracique droite et lombaire gauche s'incline latéralement à droite en aggravant sa courbure lombaire, sans corriger la dorsale (test de sidebending).

### ● Points clés

L'activité dynamique spontanée ne peut qu'accentuer les déformations morphologiques.

## Emploi, contre-emploi

Pour définir si un muscle est préférentiellement statique ou dynamique, de nombreux critères entrent en jeu.

Dans l'ordre des facteurs abordés dans les premiers chapitres, cela dépend :

- de la proportion de fibres lentes ou rapides ;
- de l'importance relative des éléments élastiques (collagène par rapport à l'élastine...) ;
- de la présence de renforcements fibreux (tendon interne, fascia) ;

- de la longueur du muscle et de son type (fusiforme, penniforme, semi-penniforme) ;
- de son caractère mono- ou pluri-articulaire ;
- de son implantation profonde ou superficielle ;
- de son caractère hégémonique ;
- de la longueur de son tendon ;
- de la distance de son insertion par rapport à l'axe articulaire ;
- de son angle de traction ;
- du type de levier qu'il emploie ;
- du type de fibre neuromusculaire (à sac ou à chaîne) ;
- de la proportion de motoneurones, statiques ou phasiques ;
- des voies nerveuses empruntées, des centres de contrôle.

Si, de toute évidence, le système musculaire est bipolarisé, le nombre et la variété de ces éléments soulignent, bien évidemment, la mixité fonctionnelle de chaque muscle, tout à la fois statique et dynamique.

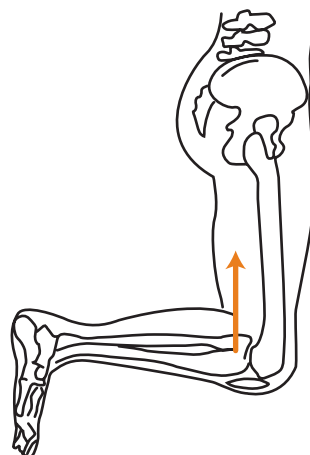
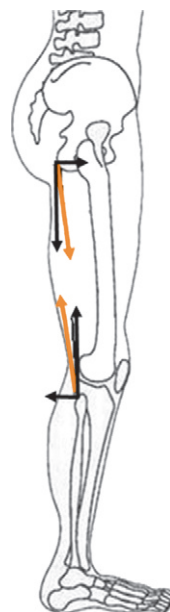
L'éventail va du muscle le plus statique et moins dynamique au plus dynamique et moins statique. Pour compliquer l'analyse, lorsqu'un muscle est constitué de plusieurs faisceaux, certains peuvent présenter des qualités spécifiques distinctes de l'ensemble. Il en est ainsi du droit fémoral, du deltoïde moyen, du trapèze supérieur et du faisceau claviculaire du grand pectoral, de vocation plus statique.

La fonction principale ne peut être que relative. L'efficacité du muscle dans telle ou telle activité dépend de la convergence des caractéristiques qui viennent d'être énoncées ([Tableau 6.1](#)).

Lorsque la caractéristique fonctionnelle d'un muscle, statique ou dynamique, se dégage assez clairement, cela veut dire qu'il s'exprimera avec une efficacité maximum dans celle-ci et avec moins de facilité dans l'autre. L'exemple des ischio-jambiers vient immédiatement à l'esprit. Ils possèdent quelques-unes des caractéristiques des muscles dynamiques. Ils sont minces, pluri-articulaires, de tendon long et utilisent un levier inter-puissant. Leur fonction dynamique est axée sur la flexion ample, puissante et rapide de la jambe ([Fig. 6.6](#)).

**Tableau 6-1** Caractéristiques neuromusculaires et orientations fonctionnelles.

Caractéristiques	Préférence Statique	Préférence dynamique
Fibres musculaires : lentes rapides	+	+
Forte proportion de collagène Faible proportion de collagène (plus d'élastine)	+	+
Motoneurones : petit diamètre gros diamètre	+	+
Fibres neuromusculaires : à chaîne à sac	+	+
Forme du muscle : épais court penniforme semi-penniforme monoarticulaire	+	
mince long plat fusiforme pluriarticulaire		+
Situation : profond superficiel	+	+
Tendon : court – épais long – mince	+	+
Leviers : inter-appui, 1 <sup>er</sup> . genre inter-résistant, 2 <sup>e</sup> . genre inter-puissant, 3 <sup>e</sup> . genre	+	+

**Fig. 6-6.** Action dynamique des ischio-jambiers.**Fig. 6-7.** Action isométrique des ischio-jambiers en charge, genoux en extension et en fonction des points fixes.

Mais en position debout, ils participent à la stabilisation en extension du genou et au maintien de la rétroversion du bassin, grâce à leur traction sur l'ischion. Ces deux actions à caractère isométrique réclament une forte tension de leur part (Fig. 6.7).

Il faut voir, dans l'importance de cette plurifonctionnalité et dans la force que les ischio-jambiers

doivent exercer dans leur physiologie secondaire statique, la raison principale de leur rétraction chronique.

C'est le cas, quoiqu'à un titre moindre, du droit fémoral. Son action phasique est notable. Il est le muscle du coup de pied, puisqu'il fléchit l'articulation coxo-fémorale et étend le genou.

Hammer (2003) lui attribue un pourcentage relativement élevé de fibres rapides.

Mais il participe également à la stabilité antérieure du bassin et au maintien en extension du genou en position érigée. Il est particulièrement sollicité en excentricité pour freiner la flexion de ce dernier lorsque le pied appuie au sol.

### ● Points clés

Les muscles pluri-articulaires ont pour rôle principal de «faire les mouvements». Ils se montrent plus brutaux pour les freiner, avec pour conséquence des rétractions qui peuvent être spectaculaires.

### ● Points clés

Les muscles mono-articulaires sont particulièrement destinés à «freiner et amortir les mouvements». Ils sont moins prompts en dynamique. Il n'en est pas moins vrai que leurs rétractions peuvent être également très importantes.

L'implication du sous-scapulaire, dans la pathologie de l'épaule gelée, est un excellent exemple de rétraction de muscle mono-articulaire.

## Altérations morphologiques et lésions articulaires

Une force qui s'applique à un corps peut provoquer un mouvement de ce corps et/ou des déformations des constituants de ce corps. C'est ainsi que le disque intervertébral se déforme provisoirement lorsqu'une vertèbre change de position.

Les contraintes sont la traction, la compression et le cisaillement, dont la torsion est une manifestation particulière.

Ces contraintes peuvent prendre une forme pathologique en cas de traumatisme, de mouvement intempestif, de modification de la morphologie, de tensions musculo-fibreuses, etc.

Elles affectent alors le sens et l'intensité des forces s'exerçant sur les constituants biomécaniques articulaires : cartilages, disques, ménisques, capsules, ligaments... créant ainsi un cadre clinique.

Une lésion articulaire peut se définir ainsi : micro-restriction de mobilité avec modification de l'axe

articulaire physiologique, composante de tassement et douleur.

Elle peut être simplement fonctionnelle ou devenir structurelle lorsqu'elle affecte anatomiquement un des composants articulaires. La restriction de mobilité peut incapaciter totalement certains mouvements. Le patient l'exprime souvent en une phrase : «Je suis bloqué».

Pour tous ceux pour qui les lois de Fryette sont encore d'actualité, une lésion dérange la chronologie de mobilité physiologique d'une articulation en flexion ou extension, latéroflexion et rotation (FSR pour flexion, sidebending, rotation; ERS pour extension, rotation, sidebending).

La composante de tassement introduit une quatrième dimension : celle de la compression articulaire. La coaptation articulaire augmente, que le surcroît de tension musculaire soit la cause ou la conséquence d'un déplacement stabilisé de masse.

Il faut rappeler que, lorsqu'il s'agit de la rétraction d'un muscle longitudinal dont l'angle de traction se situe entre 45° et 0°, la force génère plus de compression que de rotation (voir chapitre 1 - fig. 1.36 b).

La douleur augmente la tension musculaire dans des proportions considérables.

### ● Points clés

La compression articulaire est omniprésente en cas de lésion articulaire.

Les activités répétitives entraînent des modifications posturales (Pynt J. et coll., 2008; Yuk Szeto G. P. et coll., 2009) qui sont, à leur tour, à l'origine de pathologies articulaires d'ordre mécanique. Sur le sujet, la littérature est abondante mais spécifique : lombalgie de la position assise, cervicalgie des usagers de l'ordinateur, etc. Si la fréquence de ces corrélations est indiscutée, il est impossible d'en établir la somme. Mais il est, à l'heure actuelle, assez communément avancé que les lésions articulaires viennent d'altérations posturales dans 80 % des cas.

### ● Points clés

Les dysmorphismes sont à l'origine de lésions articulaires.

## Le décalage des échanges respiratoires

Dans la respiration de petite amplitude, seule l'inspiration est active. Elle est assurée par la contraction du diaphragme. L'expiration est due à son relâchement.

L'inspiration de grande amplitude nécessite une contraction plus importante du diaphragme, accompagnée de celle des inspiratoires accessoires. Leur relâchement permet un retour automatique à la position de repos (Coirault et coll., 1999). L'action contractile des abdominaux n'est pas nécessaire à la récupération de la position d'équilibre. Ils interviennent activement uniquement de façon épisodique, en cas d'effort.

L'amplitude de cette expiration passive dépend donc de l'extensibilité des muscles inspireurs et de l'équilibre des tensions qu'ils entretiennent avec les expirateurs. Or, ils sont plus nombreux (diaphragme, intercostaux, inspireurs nucaux, inspireurs scapulaires, spinaux) et à fonction statique par le fait qu'ils suspendent le thorax. Leur physiopathologie est le raccourcissement (Shirley D. et coll., 2003).

Par contre les expirateurs, représentés principalement par les abdominaux, sont moins nombreux et n'ont pas de rôle antigravitaire. Leur action de rappel ne peut contrebalancer la rétrac-

tion des inspireurs. En cas de raccourcissement de ceux-ci, l'amplitude de l'expiration passive diminue.

Lorsque le point d'équilibre du thorax au repos se trouve décalé vers l'inspiration, cela signifie que la course totale entre le point de départ de l'inspiration et son maximum d'expansion se trouve réduite. L'amplitude inspiratoire diminue donc également. Le volume total des échanges se restreint.

### ● Points clés

Le raccourcissement des inspireurs limite l'expiration et l'inspiration.

Ceci est un excellent exemple de l'engrenage pathologique que peut provoquer l'installation de la raideur musculaire.

## Le prix de la complexité

La physiologie neuromusculaire peut donc présenter, à quelque étage que ce soit de son organisation, des dysfonctionnements liés à sa propre complexité. Il est utopique de penser que ceux-ci peuvent être résolus par des actions simples.

### ● Points clés

Toute thérapie doit se hisser au niveau de complexité des mécanismes pathologiques présentés.

# Chapitre 7

## Identification des dysmorphismes

### Normalité et posture corporelle

La posture est le résultat de la disposition des différents segments corporels en équilibre stable. Elle est donc indissociable de la morphologie, même si elle est également le reflet d'une « attitude », dans le sens psychique du terme. Elle est variée par le fait que, tout en étant commune à l'espèce, elle dépend aussi de caractéristiques personnelles. Elle est variable pour un même individu, en fonction de la fatigue, de l'âge et, bien sûr, de la pathologie.

Ce bref préambule montre à quel point il est difficile d'établir une règle de normalité synonyme de perfection. Le problème n'est pas nouveau. La diversité impose des critères de normalité basés sur le plus petit dénominateur commun.

Des caractéristiques basiques peuvent toutefois être dégagées :

- de profil :
  - le regard doit être horizontal ;
  - l'occipital, la région médiodorsale et le sacrum sont alignés ;
  - les courbures vertébrales, en cyphose et en lordose, sont respectées ;
  - les épaules ne sont pas enroulées ;
  - le bassin ne doit être ni rétroversé ni antéversé ;
  - les genoux ne peuvent être fléchis ou en recurvatum (Fig. 7.1).
- de dos :
  - l'occipital, la région médiodorsale, le sacrum, les genoux et les malléoles doivent être alignés verticalement ;
  - la tête est droite ;

- la ceinture scapulaire et les épaules sont au même niveau – les bras le long du corps ;
- les iliaques sont alignés horizontalement ;
- les genoux et les calcaneums ne doivent pas apparaître en varus ou en valgus (Fig. 7.2).



Fig. 7-1. Normalité posturale de profil.



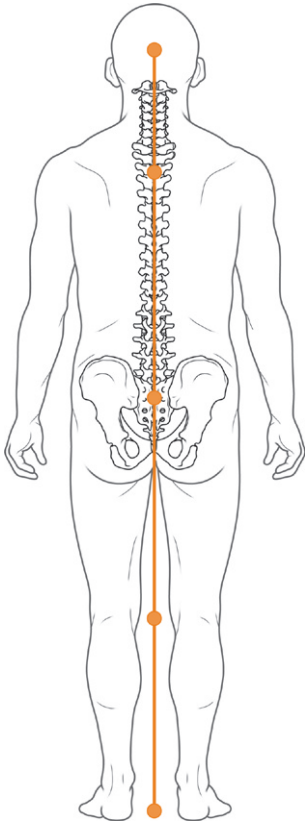


Fig. 7-2. Normalité posturale de dos.

## Les règles de l'observation

S'il est admis qu'en position debout ou assis le maintien dépend des muscles de la statique, et que la physiopathologie de ceux-ci est la rétraction, l'observation de la morphologie doit se faire sur ces critères.

Cela signifie que, si un segment est dévié dans un sens, il le doit au raccourcissement du ou des muscle(s) qui le sous-tend(ent). La rétraction musculaire étant assimilable à une contraction permanente, il est possible de simplifier encore plus : le muscle dont la contraction déplace un segment dans une certaine direction le fixe dans cette position par sa tension. L'observation morphologique est alors à lecture directe (voir également Le déséquilibre des tensions réciproques - Chapitre 6).

### ● Points clés

Le sens de déviation d'un segment dépend du raccourcissement du muscle qui l'a provoquée et non de la faiblesse de son antagoniste. En statique, on ne peut observer que des rétractions (Fig. 7.3).

Même si, à terme, les déformations morphologiques entraînent fréquemment des algies, le fait qu'elles ne constituent, somme toute, que la fixa-

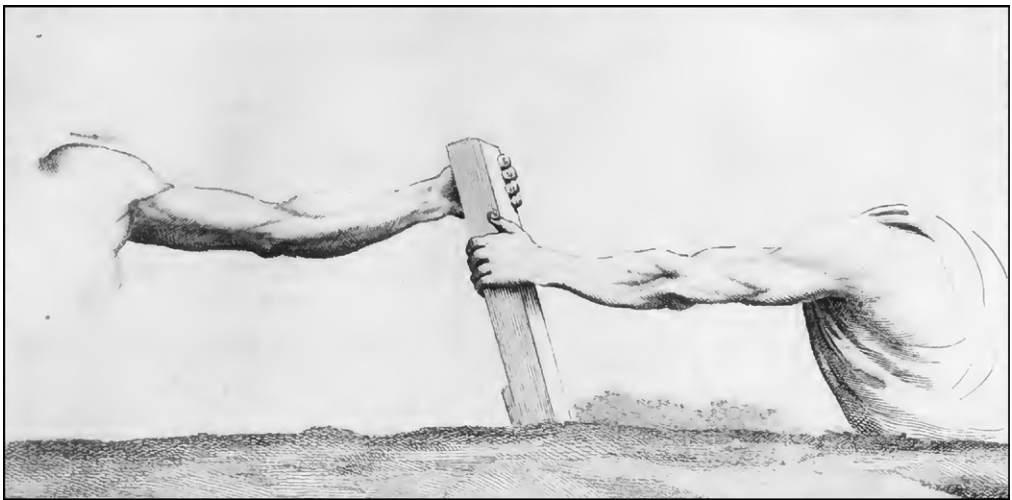


Fig. 7-3. *Traité de la peinture* (Léonard de Vinci). Détail.

Au travers de ce dessin publié en 1651 et de sa légende, Léonard de Vinci posait la question de savoir qui développe la plus grande force, celui qui tire ou celui qui pousse.

Si l'on imagine que les deux hommes tirent, cette gravure peut illustrer également le principe fondamental qui régit l'observation des rétractions en statique.

Une tension supérieure du bras du côté de l'inclinaison du levier est à l'origine de sa déviation. Sa rétraction la fixe.



tion pathologique d'un mouvement initialement physiologique, explique qu'elles ne soient pas systématiquement douloureuses.

Un joueur de golf impose une torsion de type scoliotique à sa colonne dorsale, chaque fois qu'il réalise un « swing » (rotation des épineuses dans la concavité). Un danseur de charleston déplace alternativement ses genoux en varum et en valgum.

### ● Points clés

Ce que la physiologie fait, la pathologie le fait facilement.

## Comportements de type antérieur ou postérieur

Suivant le degré de raccourcissement de la « chaîne maîtresse » antérieure ou postérieure, deux attitudes de base se dégagent. Elles sont particulière-

ment identifiables au niveau de la colonne vertébrale.

Lorsque la tension des spinaux dorsaux est prédominante, le sujet est de type postérieur (Fig. 7.4). Lorsque la rétraction de la chaîne antérieure l'emporte, il est de type antérieur (Fig. 7.5).

Il est non seulement naturel d'aborder la classification des dysmorphismes à partir du rachis, mais c'est en outre une nécessité emblématique. Il est en effet communément admis qu'une hypercyphose dorsale est liée à une faiblesse des muscles spinaux. L'indication thérapeutique est de les renforcer par des exercices de musculation concentrique.

En réalité, cette attitude est due à la rétraction plus importante de la « chaîne maîtresse antérieure », suivant le principe muscle offensif-muscle défensif exposé dans le chapitre 6 et rappelée dans le paragraphe précédent.

Une simple expérience le prouve. Un hypercyphotique ne modifie pas sa courbure en position

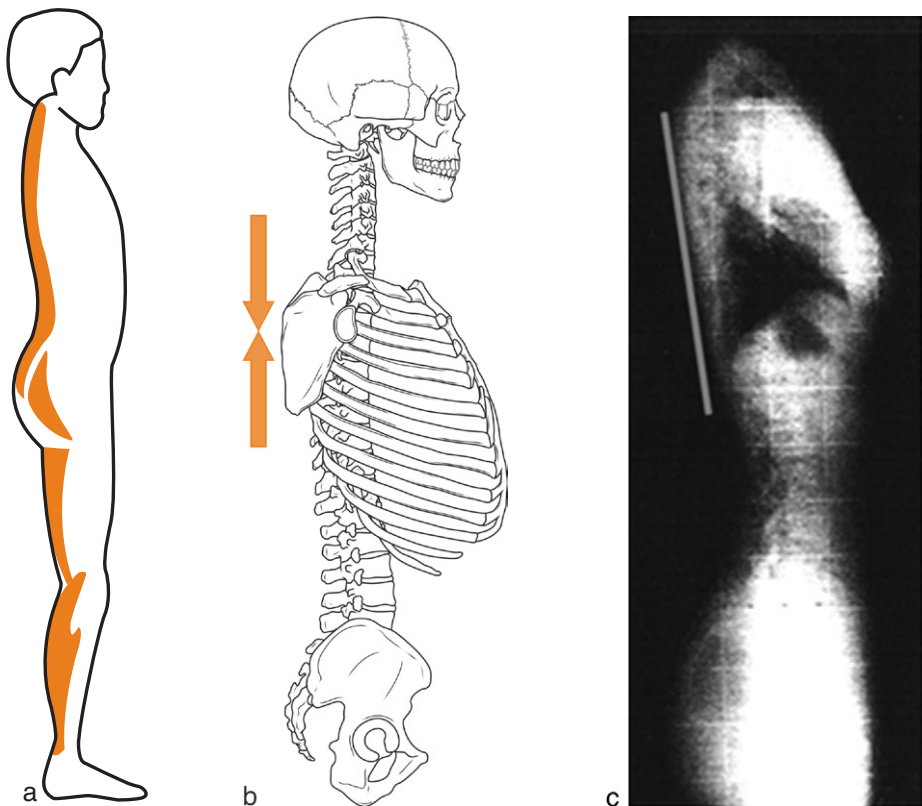


Fig. 7-4. Comportement de type postérieur.

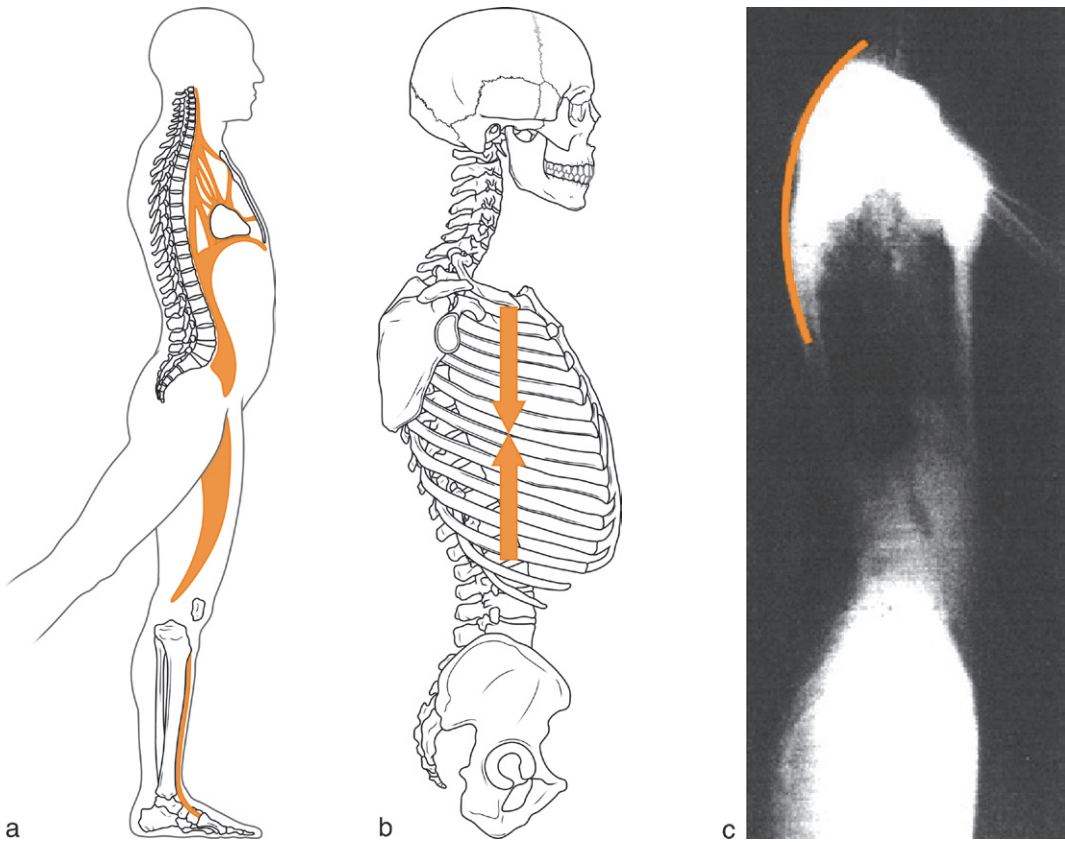


Fig. 7-5. Comportement de type antérieur.

couchée. Le patient est toujours enroulé vers l'avant, même lorsque ses spinaux dorsaux ne doivent plus lutter contre la gravité (Fig. 7.6 a et b).

Cela doit entraîner, bien entendu, une remise en question complète des procédures de traitement. La correction ne peut venir que de l'allongement de la corde musculo-fibreuse antérieure.

### ● Points clés

L'hypercyphose dorsale est due à la rétraction du système musculo-fibreux antérieur.

## Organisation segmentaire de la colonne vertébrale

Dans le plan sagittal les muscles spinaux sont lordosants au niveau lombaire et nual (Fig. 7.7

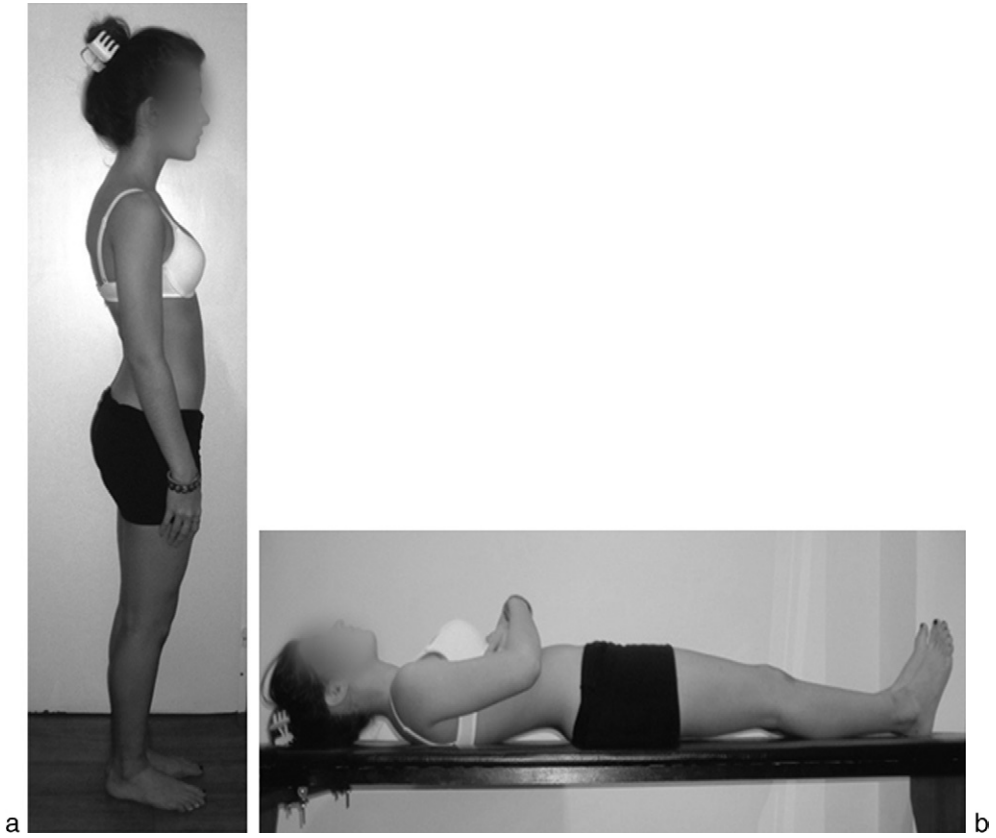
et 7.8). Ils rectifient la colonne dorsale (Fig. 7.9).

Ils sont unitendus du sacrum jusqu'à l'occipital. Il s'agit là de l'un des ensembles musculo-fibreux illustrant au mieux le concept de chaîne fonctionnelle.

La figure 5.2 du chapitre 5 montre qu'une traction exercée à une extrémité quelconque de cette chaîne se transmet à l'ensemble.

De la même façon, en position érigée, et en cas de raccourcissement de cet ensemble, les muscles spinaux peuvent s'organiser localement sur le principe de crédit-débit de longueur.

La rétroversion du bassin due à une rétraction des muscles postérieurs de la hanche provoque une rectification lombaire contraire à la physiologie lordosante des spinaux à cet étage.



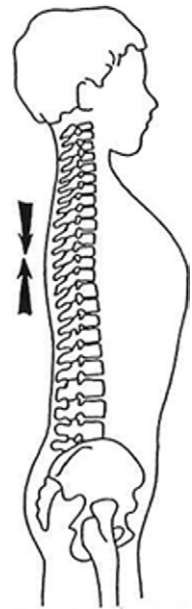
**Fig. 7-6.** a et b. L'hypercyphose ne se corrige pas en décubitus dorsal, malgré le fait que la force représentée par la masse du thorax s'exerce en direction favorable.



**Fig. 7-7.** Rétractions sectorielles des muscles spinaux.



**Fig. 7-8.** Rétractions sectorielles des muscles spinaux.



**Fig. 7-9.** Rétractions sectorielles des muscles spinaux.

Dans ce cas, ils peuvent récupérer la longueur prise, au niveau dorsal et/ou cervical (Fig. 7.10 et 7.11).

En cas d'hypercyphose dorsale, liée à la rétraction de la « chaîne maîtresse antérieure », la récupération peut se faire à l'étage lombaire et/ou cervical (Fig. 7.12).

## Le thorax

Le blocage inspiratoire se manifeste par une élévation du thorax et par sa difficulté à redescendre lors de l'expiration. Cette élévation peut concerner l'ensemble de la cage thoracique ou plus particulièrement les six premières côtes (rétraction des inspireurs accessoires) ou les six dernières (blocage diaphragmatique).

Dans le premier cas, elle est fréquemment associée à une rectification dorsale. Dans le deuxième, le bas du thorax apparaît en tonneau et peut présenter des ailerons de Sigaud.

Par le fait que les attaches supérieures lombaires des piliers du diaphragme sont orientées oblique-

ment en avant et qu'elles sont relayées par les insertions du petit et du grand psoas, leur tension peut créer une hyperlordose en D11, D12, L1, L2 (lordose diaphragmatique).

## La ceinture scapulaire – l'épaule – le membre supérieur

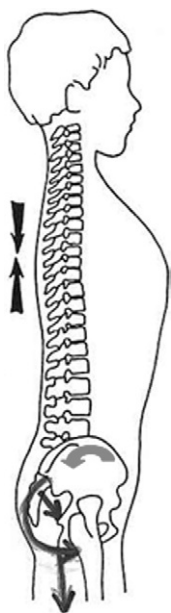
Les groupes musculaires hégémoniques au service de la suspension du membre supérieur et de la fonction de prendre et porter à soi créent, par leur raccourcissement, des modifications de positionnement des segments au repos.

La rétraction des muscles de la « chaîne supérieure de la ceinture scapulaire » crée :

- un enroulement vertical de l'omoplate (Fig. 7.13);
- une fixation en légère abduction du bras.

Le raccourcissement de la « chaîne antéro-interne d'épaule » entraîne :

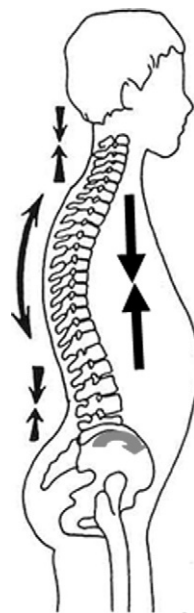
- un enroulement transversal de l'omoplate;
- une rotation interne de l'humérus (Fig. 7.14).



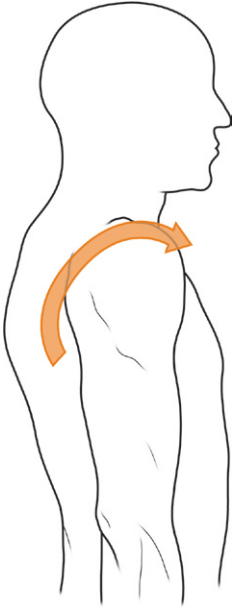
**Fig. 7-10.** Types de compensations en raccourcissement des muscles spinaux en cas de rétroversion du bassin.



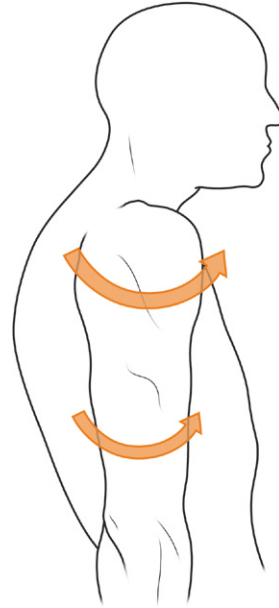
**Fig. 7-11.** Types de compensations en raccourcissement des muscles spinaux en cas de rétroversion du bassin.



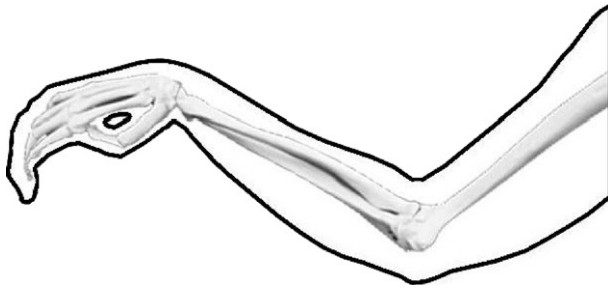
**Fig. 7-12.** Types de compensations en raccourcissement des muscles spinaux en cas de rétraction antérieure.



**Fig. 7-13.** « Chaîne supérieure de la ceinture scapulaire » et enroulement vertical de l'omoplate.



**Fig. 7-14.** « Chaîne antéro-interne d'épaule » et enroulement transversal de l'omoplate avec rotation interne de l'humérus.



**Fig. 7-15.** « Chaîne antérieure du membre supérieur » et flexion du coude avec pronation, flexion des doigts, opposition du pouce.

La légère abduction des bras créée par la rétraction de la « chaîne supérieure de la ceinture scapulaire » n'est pas antagoniste de l'adduction-rotation interne de l'humérus que provoque celle de la « chaîne antéro-interne d'épaule ». Car dans le geste de porter à la bouche, le bras doit, d'abord, décrire un léger mouvement d'abduction, destiné à le dégager du corps, avant de procéder à une circumduction combinant flexion-adduction-rotation interne.

La rétraction de la « chaîne antérieure des membres supérieurs » crée :

- une flexion du coude ;
- une pronation ;
- la flexion des doigts ;
- l'opposition du pouce (Fig. 7.15).

Au niveau du coude, la suprématie que la pronation exerce sur la supination est moins caractérisée que celle de la flexion sur l'extension. Dans le geste de prendre et de porter à la bouche, la prise

initiale peut s'effectuer indifféremment en pronation ou en supination. L'ajustement final dépend du brachio-radial.

## Les membres inférieurs

Les rétractions musculaires de type antérieur ou postérieur ne se limitent pas aux altérations posturales de la colonne vertébrale. Parmi les rétractions postérieures on note :

- une rétroversion du bassin ;
- un genu varum ;
- un calcanéum varus ;
- un pied creux (Fig. 7.16 a).

Les rétractions antérieures peuvent entraîner :

- une antéversion du bassin ;
- un genu valgum ;
- un calcanéum valgus ;
- un pied en pronation (Fig. 7.16 b).

Dans un cas comme dans l'autre, ces désaxations latérales sont associées à des rotations.

## Les inversions d'actions musculaires

La physiologie cinétique d'un muscle change évidemment en fonction du point fixe à partir duquel il se contracte.

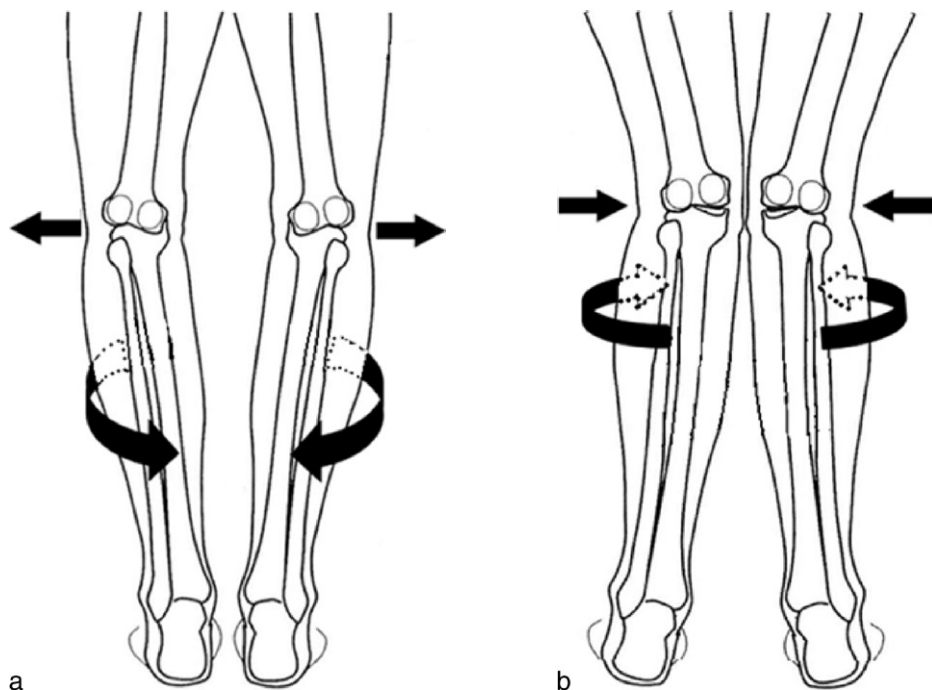
En isométrie, la tension s'exerce aux deux extrémités.

Les variations de l'angle de traction d'un muscle en fonction des positions articulaires modifient, non seulement, le moment de sa force mais peuvent, également, inverser sa physiologie.

L'axe de rotation lui-même peut changer et, suivant les cas, se placer d'un côté ou de l'autre du point d'application de la force. Cette singularité se retrouve lorsque se produit une modification de point fixe. C'est le cas dans la marche.

Certaines inversions d'action musculaire sont connues.

Fick (1911) a individualisé sept faisceaux fonctionnels au niveau du deltoïde. Kapandji (*Physiologie musculaire*, 4<sup>e</sup> éd., 1970) a fort bien illustré que



**Fig. 7-16.** a. Comportements rétractiles des muscles postérieurs des membres inférieurs. b. Comportements rétractiles des muscles antérieurs des membres inférieurs.



certains d'entre eux peuvent passer d'une action d'adduction à une physiologie d'abducteurs, en fonction de la position du bras, le long du corps ou en abduction.

Le nom de brachio-radial a été opportunément substitué à celui de long supinateur, ce muscle pouvant être également pronateur.

Kapandji (1985) a également illustré les inversions d'action musculaire des adducteurs de la hanche : fléchisseurs du fémur lorsque celui-ci est en extension et extenseurs lorsque la coxo-fémorale est en flexion maximum.

Il a encore montré que le pectiné et l'obturateur externe peuvent changer d'action rotatoire et que le piriforme inverse doublement sa physiologie en flexion-extension et en rotation.

L'efficacité en rotation externe du grand fessier varie en fonction du degré de flexion de l'articulation coxo-fémorale (Mansour et Pereira, 1987; Pressel et Langsfeld, 1998; Delp et coll., 1999).

La composante de rotation du psoas-iliaque a été l'objet de nombreuses discussions. Stasser (1917), Platzer (1975), Kapandji (1985), Tillmann et Tondury (1987), Gray's Anatomy (1999) le décrivent rotateur externe. Par contre, pour Destal et coll. (1986), Hanssens (1991), Pressel et Langsfeld (1998), Delp et coll. (1999), il est rotateur interne. Cette énumération, qui n'est certes pas exhaustive, souligne la complexité de la physiologie musculo-articulaire.

● **Points clés**

Les inversions d'action musculaire constituent, sans aucun doute, l'aspect le plus abouti de la physiologie musculaire. Elles repoussent les limites des synergies et permettent de réduire le nombre de muscles nécessaires à l'accomplissement de fonctions variées.

### Inversion d'action musculaire au niveau de l'articulation coxo-fémorale

Dans le cadre de la bipolarisation statique-dynamique dont il est question dans cet ouvrage, une inversion d'action rotatoire de la hanche est une

des clés fondamentales du passage de la coordination cinétique à la coordination statique.

De nombreux muscles de la hanche sont décrits classiquement rotateurs externes du fémur (à des degrés variés et variables en fonction des positions).

Leur somme signe une prédominance certaine sur la rotation interne qui pourtant ne se vérifie pas à l'observation en position debout (Tableau 7.1).

**Tableau 7-1** Liste en première approche des muscles rotateurs de la hanche.

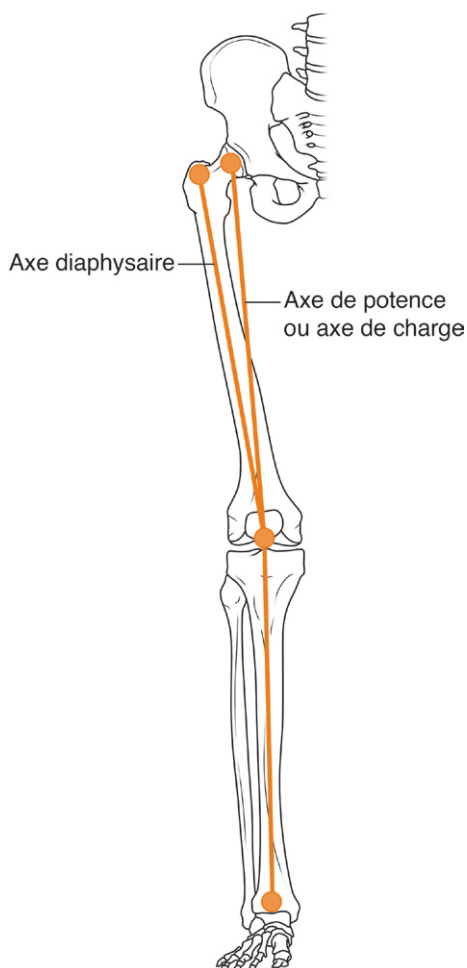
Rotateurs externes	Rotateurs internes
Psoas-iliaque. Adducteurs pubiens Grand fessier profond Piriforme Obturateur interne Obturateur externe Pectiné	Tenseur du fascia lata Petit fessier

Cette classification ne pourrait se justifier qu'en prenant pour référence l'axe diaphysaire du fémur (Fig. 7.17). Mais il faut déjà noter que les rotations diaphysaires sont limitées aux possibilités de rotation de la tête du fémur au niveau de l'acétabulum et dépendantes du caractère personnel de l'angle cervico-diaphysaire. Cet angle est de 126° à 128° environ chez l'adulte mais varie en cas de coxa valga ou coxa vara.

Plus l'angle de coxa valga augmente, plus la rotation diaphysaire pourrait se confondre avec celle de la tête du fémur, principalement lorsque la flexion coxo-fémorale diminue la composante de coaptation et augmente la composante rotatoire.

Mais en cas de coaptation articulaire (angle de traction défavorable) et *a fortiori* lorsque le pied est en appui, la question ne se pose pas : la rotation du fémur s'effectue autour d'un axe de potence (ou axe de charge) reliant la tête du fémur à la plante du pied (Fig. 7.18).

Axe diaphysaire et axe de charge se situent de part et d'autre du point d'application de la force du psoas-iliaque et des adducteurs pubiens. Leur

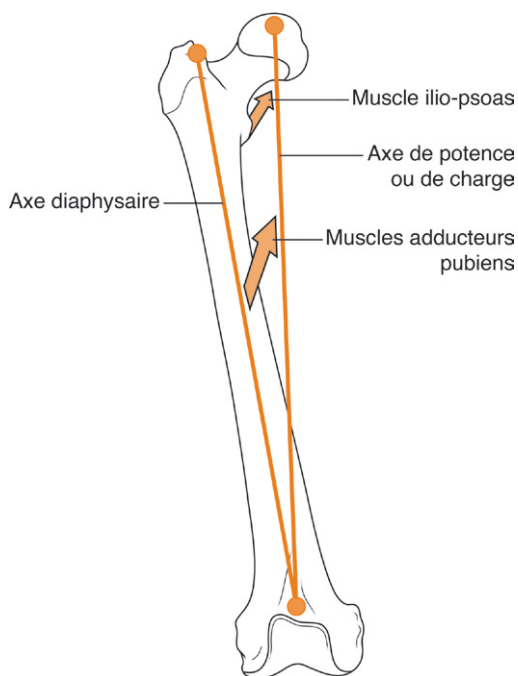


**Fig. 7-17.** Axe diaphysaire du fémur et axe de charge.

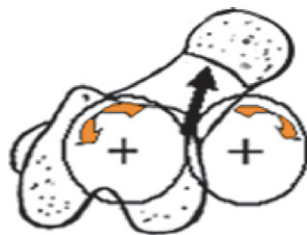
action rotatoire change en fonction de l'axe (Fig. 7.18 et 7.19).

En position debout, pieds en appui, genoux en extension et bassin maintenu en place verticalement par l'action des muscles postérieurs (ischio-jambiers et troisième faisceau du grand adducteur, grand fessier, pelvitrochantériens), la tension des psoas-iliaques et des adducteurs du pubis impose une rotation interne au fémur.

Dans ces conditions, la tension des muscles antérieurs s'exerce en rotation interne, celle des postérieurs en rotation externe et celle des muscles dont



**Fig. 7-18.** Disposition du psoas-iliaque et des adducteurs pubiens en fonction des axes.



**Fig. 7-19.** Inversion d'action musculaire en rotation du psoas-iliaque et des adducteurs en fonction des axes.

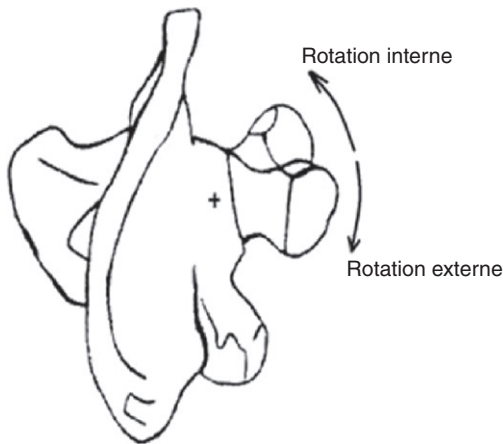
le vecteur force passe par l'axe n'engendre pas de rotation (Fig. 7.20 et 7.21).

Le tableau des actions rotatoires s'en trouve modifié (Tableau 7.2).

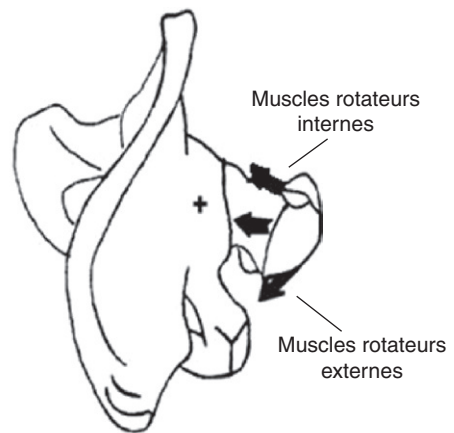
### ● Points clés

Au niveau de l'articulation coxo-fémorale, en position debout, pied en appui, genou en extension, la tension musculaire prédominante est la rotation interne.





**Fig. 7-20.** Vis-à-vis de l'axe de charge, la rotation interne du fémur s'accompagne d'une adduction; la rotation externe d'une abduction.



**Fig. 7-21.** Action rotatrice des muscles antérieurs et postérieurs du fémur.

**Tableau 7-2** Inversion d'action musculaire du psoas-iliaque et des adducteurs pubiens en appui.

Rotateurs externes		Rotateurs internes	
Psoas-iliaque	→	Psoas-iliaque	→
Adducteurs pubiens	→	Adducteurs pubiens	→
← Obturateur externe		→	
← Pectiné		→	

Si, en cinétique, la flexion-abduction-rotation externe de la hanche est facilitée, en revanche, en statique ces inversions d'action musculaire permettent le regroupement en rotation interne nécessaire à la bipédie.

## Correspondances musculaires et ostéoarticulaires

La fixation du bassin en position exagérément antéversée ou trop rétroversée dépend des tensions réciproques développées par les groupes musculaires statiques, antérieurs et postérieurs, qui le sous-tendent.

En station bipédique, la rétraction des psoas-iliaques et des adducteurs pubiens fixe le bassin en

antéversion et provoque la rotation interne du fémur. Dans ce cas, le recul de l'acetabulum appuie sur la face antérieure de la tête fémorale et entraîne également une rotation interne (Fig. 7.22).

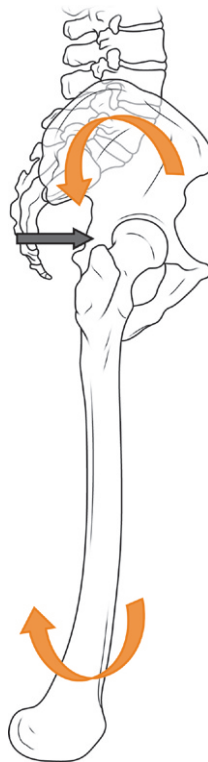
Lorsque la rétraction prédomine au niveau des muscles postérieurs (grand fessier, pelvitrochantériens, ischio-jambiers et 3<sup>e</sup> faisceau du grand adducteur), les iliaques se placent en position verticale. L'avancée de l'acetabulum crée alors une rotation externe du fémur (Fig. 7.23).

Ces interrelations ostéoarticulaires entre la rotation de la tête fémorale et le positionnement antéropostérieur de la ceinture pelvienne peuvent avoir pour origine la rotation du fémur<sup>6</sup>.

6 Bulletin de RPG n° 59, septembre 1997. Ed. Le Pousoë.



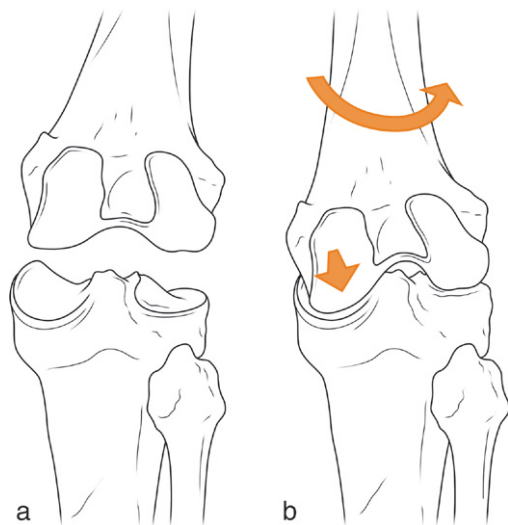
**Fig. 7-22.** L'antéversion du bassin provoque une rotation interne du fémur.



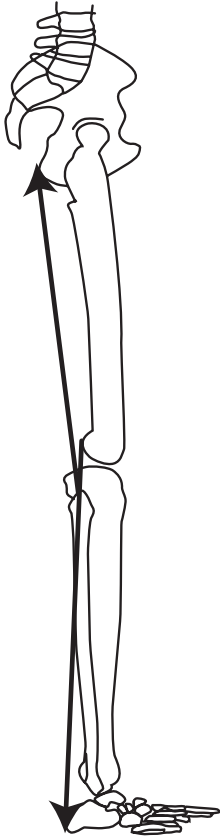
**Fig. 7-23.** La rétroversion du bassin provoque une rotation externe du fémur.

### Vissage du genou : inversion d'action musculaire des ischio-jambiers et des gastrocnémiens au niveau du genou

Il a été dit que les ischio-jambiers et les gastrocnémiens participent au maintien en extension du genou lorsqu'il est aligné verticalement, pied en appui. Ceci est dû au fait que, dans ce cas, les deux segments, tibia-péroné d'une part et fémur d'autre part, sont verrouillés grâce à l'action de vissage en rotation interne du fémur. Cette action de rotation, qui est prédominante en charge, recule le condyle interne du fémur et le fixe en appui sur la partie la plus basse du plateau tibial interne (Fig. 7.24 a et b).



**Fig. 7-24.** a et b. Le "vissage" du genou.

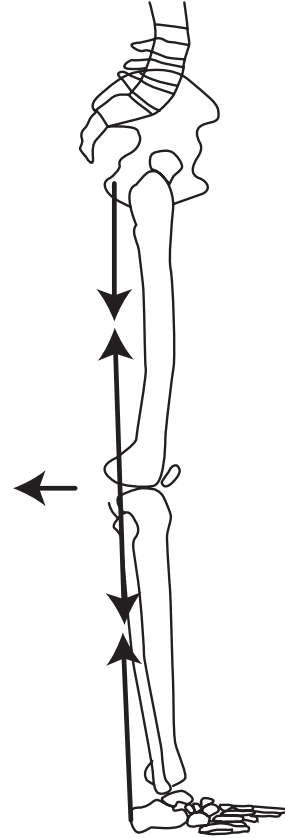


**Fig. 7-25.** Participation des muscles postérieurs au maintien du genou en extension.

Les deux segments répondent alors comme un tout aux tensions musculaires exercées en direction postérieure depuis l'ischion et le calcaneum, vis-à-vis d'une ligne de gravité qui passe au niveau de la rotule (Fig. 7.25). Lorsque le fémur est en excessive rotation interne, la rétraction de ces deux groupes musculaires provoque un recurvatum (Fig. 7.26).

Le recurvatum de genou est indubitablement associé à une laxité ligamentaire. Mais encore une fois, il n'y a aucune raison pour que la déviation se produise dans ce sens, si elle n'est pas provoquée et maintenue par les tensions musculaires.

Le recurvatum éloigne l'articulation du passage antérieur de la ligne de gravité. Il est confortable pour le quadriceps et particulièrement le droit fémoral, car il lui permet d'économiser les interventions stabilisatrices en extension.



**Fig. 7-26.** La rétraction des muscles postérieurs provoque un recurvatum du genou lorsqu'elle s'accompagne d'une rotation interne du fémur et d'une laxité ligamentaire.

### Inversion d'action musculaire du triceps sural au niveau du calcaneum

Le triceps sural provoque le varus-équin du pied. L'action varisante se produit par rapport à l'axe de Henkel. Mais, en appui au sol, suivant le positionnement en rotation externe ou interne du membre inférieur, l'articulation sous-astragaliennne opère une translation de la charge, du thalamus vers le sustentaculum tali ou inversement. L'appui postérieur du calcaneum au sol se fait alors sur le tubercule externe, entraînant un varus; ou interne, provoquant un valgus, en accord avec la rotation de la jambe. Il est possible de le vérifier en position debout, grâce à des mouvements alternés du genou, en varus ou en valgus (Fig. 7.27 a et b).

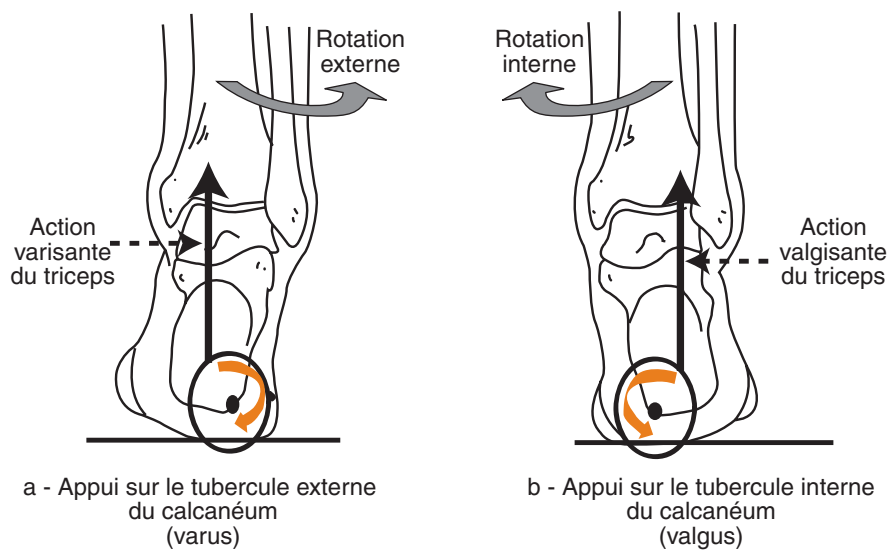


Fig. 7-27. a et b. Faces postérieures de jambe droite.

Cela signifie que, morphologiquement, un calcanéum valgus n'est pas lié à la faiblesse, dans le sens de l'hypotonie, du triceps sural.

Ces quelques exemples, parmi tant d'autres, démontrent, d'une part, l'importance de la connaissance des règles de la fonction statique et, d'autre part, la valeur de l'observation et de la connaissance anatomo-physiologique. Elles conditionnent le choix thérapeutique. Une mauvaise interprétation peut conclure à la nécessité d'un renforcement musculaire, alors qu'il convient d'étirer des rétractions.

### Schémas de coordination motrice

Au niveau de la colonne vertébrale comme au niveau des membres, des schémas de coordination motrice se dégagent et s'inscrivent au sein de la bipolarité statico-dynamique (Tableau 7.3).

Sur le plan statique, il se confirme qu'au niveau des membres inférieurs et de la colonne vertébrale nous sommes en face d'un système d'extension postérieur dont la base est la «chaîne maîtresse

Tableau 7-3 Schémas de coordination motrice.

Colonne vertébrale			
Orientation statique		Orientation dynamique	
• Postéroflexion (extension) • Latéroflexion avec rotation des épineuses dans la concavité		• Antéflexion • Latéroflexion avec rotation des épineuses dans la convexité	
Membres supérieurs			
Orientation statique Regroupement et suspension		Orientation dynamique	
Épaule : • Flexion • Adduction • Rotation interne	Poignet : • Flexion	Épaule : • Extension • Abduction • Rotation externe	Poignet : • Extension
	Doigts : • Flexion		Doigts : • Extension
Coude : • Flexion • Pronation	Pouce : • Flexion • Opposition	Coude : • Extension • Supination	Pouce : • Extension • Abduction



Membres inférieurs	
Orientation statique Regroupement et extension	Orientation dynamique
Hanche : • Extension • Adduction • Rotation interne	Hanche : • Flexion • Abduction • Rotation externe
Genou : • Extension	Genou : • Flexion
Pied : • Varus • Equin	• Pied : • Valgus • Tallus
Orteils : • Flexion	Orteils : • Extension

postérieure», à laquelle il convient d'ajouter le droit fémoral et le long du cou.

Suspension et regroupement sont antérieurs et centralisés autour de la «chaîne maîtresse antérieure».

## Mixité des comportements

Pour un individu capable de tenir debout, les rétractions, soit de la chaîne maîtresse antérieure, soit de la chaîne maîtresse postérieure, ne peuvent être totales. L'addition des effets postérieurs entraînerait une chute en arrière; celle des antérieurs, un retour à la position fœtale.

Les déplacements segmentaires occasionnés par les rétractions offensives de l'une ou de l'autre «chaîne» doivent donc s'ordonner en respectant la finalité essentielle de l'équilibre, sans douleur et de la façon la plus économe possible (Mécanismes d'adaptation et de défense, Chapitre 5).

Ils se rééquilibrent en utilisant de préférence leur prédisposition fonctionnelle et en suivant les règles d'organisation des déséquilibres de tensions réciproques (Chapitre 6).

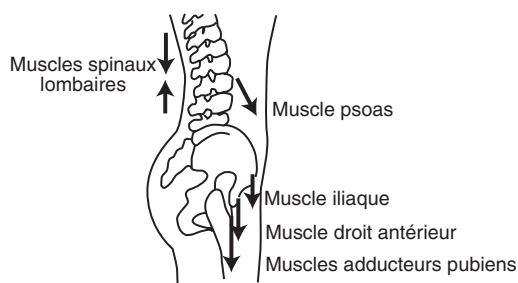
Le diagnostic se doit donc d'être nuancé et de faire état d'une posture générale, plutôt antérieure ou plutôt postérieure.

## Antagonismes et complémentarités antéropostérieures

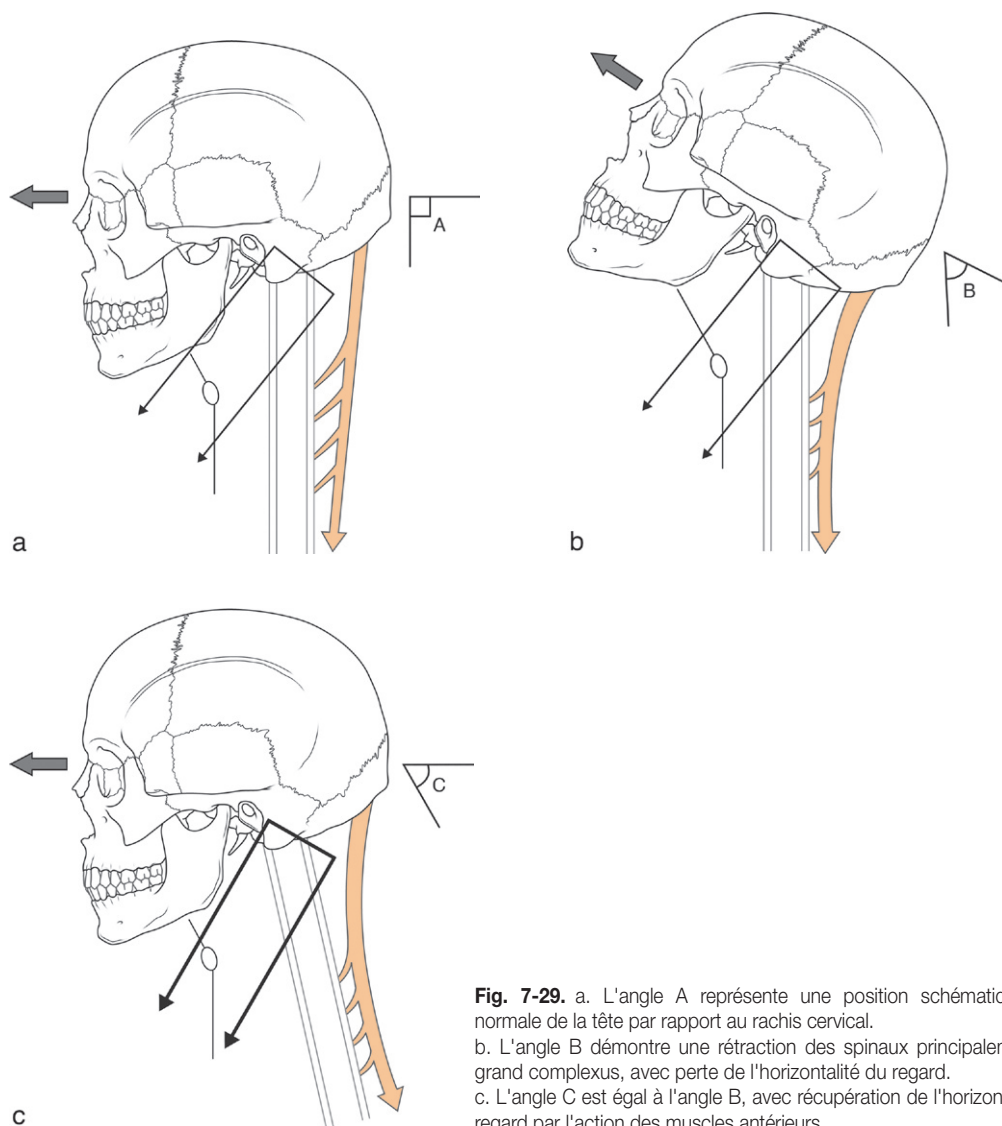
Les muscles n'étant pas antagonistes, mais antagonistes et complémentaires, aucune déformation venant d'une rétraction caractérisée ne demeure exclusivement liée à ce raccourcissement.

Une hyperlordose lombaire avec bascule du bassin en avant est due à la rétraction postérieure des spinaux lombaires et antérieure du psoas-iliaque, des adducteurs du pubis et du droit fémoral, quel que soit le groupe musculaire à l'origine du dysmorphisme (Fig. 7.28).

En cas de raccourcissement postérieur du grand complexe (semi-spinalis capitis), les muscles antérieurs sterno-cléido-mastoldiens et scalènes



**Fig. 7-28.** Les groupes musculaires responsables de l'hyperlordose lombaire.



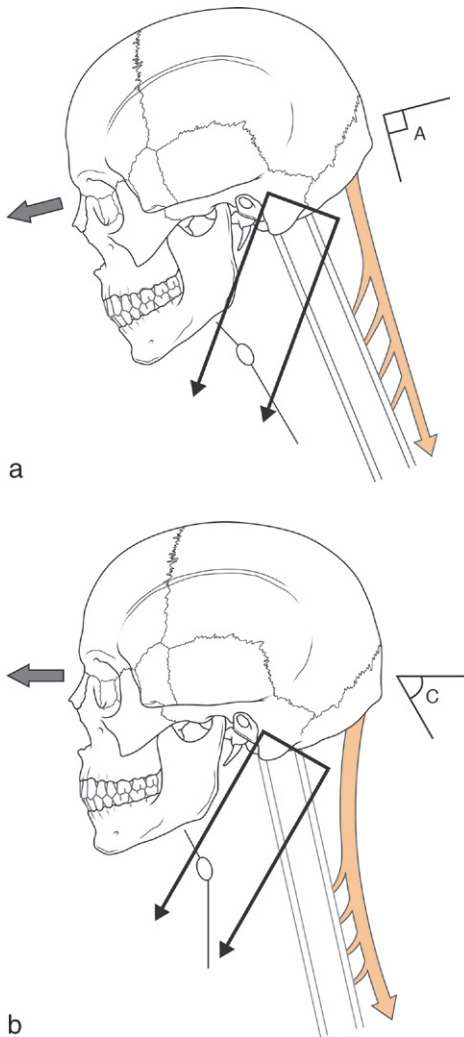
**Fig. 7-29.** a. L'angle A représente une position schématiquement normale de la tête par rapport au rachis cervical.  
 b. L'angle B démontre une rétraction des spinaux principalement du grand complexe, avec perte de l'horizontalité du regard.  
 c. L'angle C est égal à l'angle B, avec récupération de l'horizontalité du regard par l'action des muscles antérieurs.

décalent la tête et le cou vers l'avant pour sauvegarder l'horizontalité du regard (Fig. 7.29 a, b et c).

Inversement, le grand complexe raccourcit sa longueur en cas de déplacement antérieur de la tête. Ce mécanisme compensatoire est très fréquent. Il affecte particulièrement les personnes

travaillant devant écran ou victimes d'un coup du lapin (Fig. 7.30 a et b).

Il ne s'agit que d'exemples. Le phénomène est général et concerne également les déformations morphologiques en adduction ou abduction, inclinaison ou rotation interne ou externe. La



**Fig. 7-30.** a. La rétraction conjointe du long du cou, du grand droit antérieur, des scalènes et des sternocléidomastoïdiens fait perdre l'horizontalité du regard.

b. Le grand complexus peut la rétablir par son raccourcissement. La lordose se localise au niveau occipital-C1, C1-C2

connaissance de l'anatomie et de la physiologie est donc indispensable à une bonne interprétation de la position de chaque segment, chacun d'entre eux étant sous-tendu par différents muscles pouvant avoir causé, individuellement ou ensemble, la malposition.

Il n'en est pas moins vrai que des préférences chronologiques dans l'installation des dysmorphismes peuvent apparaître. Les rétractions affectant le système musculo-fibreux cervico-thoraco-phrénique contraignent les spinaux à une suractivité réactionnelle.

On retrouve fréquemment ce phénomène dans les pathologies scoliotiques.

## Le caractère individuel des déformations morphologiques

Les altérations posturales sont donc identifiables et même classifiables. Cela ne doit pas faire oublier la multiplicité de formes qu'elles peuvent prendre.

Les principes de la physiopathologie rétractile musculaire sont immuables mais les combinaisons sont infinies.

## Tests d'allongement

Pour le thérapeute, le simple fait de corriger la mauvaise attitude posturale d'un patient ou de lui demander d'effectuer un geste d'amplitude physiologique normale, confirme l'identité des muscles impliqués dans la pathologie et leur raideur.

Ces corrections précisent l'importance des rétractions musculo-fibreuses.

Elles se traduisent par la limitation du mouvement et/ou par le caractère massif des compensations apparaissant lors de la correction.

Cela permet également de comparer le degré de raccourcissement des différentes « chaînes » conjointement impliquées dans une même pathologie. Dans les deux exemples précédemment choisis, au niveau lombaire et nuchal (voir Fig. 7.28, 7.29 et 7.30), la responsabilité soit de la « chaîne maîtresse antérieure », soit de la « chaîne maîtresse postérieure », apparaît alors plus engagée.

# Chapitre 8

## La globalité restreinte

Dans le domaine thérapeutique, prétendre être global suscite immédiatement la polémique. La globalité est-elle partout, n'est-elle nulle part? L'aspiration holistique est-elle une utopie?<sup>7</sup>

Comme souvent, il faut chercher les racines d'impitoyables batailles fratricides dans l'ignorance de ce qu'implique exactement le terme en lui-même. L'emploi fantaisiste qui en est fait par certains thérapeutes en découle. Ceux-ci ouvrent malheureusement une voie royale à des adversaires qui n'en demandaient pas tant mais qui prouvent le plus souvent par leurs argumentations arbitraires, la même méconnaissance.

Un retour aux définitions et une explication de texte s'imposent.

Le dictionnaire Larousse nous apprend :

- Analyse : décomposition d'un corps dans ses éléments constitutifs;
- Analytique : qui procède par voie d'analyse.

C'est la base de démarches scientifiques indispensables permettant l'étude d'éléments spécifiques en les séparant de leur contexte.

- Global : qui est considéré dans sa globalité;
- Globalisme : conception selon laquelle un ensemble possède des propriétés que ses composants n'ont pas.

Autre principe apparemment indiscutable.

Sur quelles bases concilier ces deux définitions à première vue antagonistes, lorsqu'on doit analyser finement les caractéristiques d'une pathologie, tout en sachant parfaitement qu'elles sont inséparables de l'unicité psychosomatique, de l'hérédité, de l'histoire, de la profession, du contexte familial ou socioculturel, etc. de celui qui les présente?

### L'unicité psychosomatique

---

Unique et indivisible sur le plan psychosomatique, l'homme forme un ensemble articulé autour d'une structure musculo-squelettique qui détermine les formes et protège les fonctions. Tous ces éléments sont interdépendants les uns des autres.

Cette prodigieuse machine est dotée d'un patrimoine héréditaire, et est alimentée en énergie carburante (alimentation) et comburante (respiration). Elle est pourvue de moyens d'auto-régulation, de reproduction et est en communication interactive avec l'extérieur par les organes des sens (Fig. 8.1).

Il est inutile et il serait surtout prétentieux d'entrer plus avant dans la démonstration de l'unicité de l'être humain et de ses interdépendances fonctionnelles, tant les ouvrages qualifiés abondent sur le sujet, émanant d'auteurs spécialisés dans l'humain depuis les généticiens jusqu'aux psychiatres.

C'est un fait, l'homme est un tout et, s'il possède les caractéristiques de l'espèce, il n'en est pas moins singulier.

Il est également évident qu'il est formé, à l'état mature, d'éléments très différenciés anatomiquement et fonctionnellement, ce qui justifie l'existence de spécialités médicales ou paramédicales.

La connaissance spécifique y gagne... au risque de faire perdre l'esprit de l'ensemble.

### Panacée et réalité

---

Tous ceux qui se revendiquent de la globalité ne manquent pas une occasion de rappeler que chaque élément constitutif d'un être humain fait donc

<sup>7</sup> Du même auteur, *Vous avez dit holistique?*, Éditions Le Pousoë, 1991.



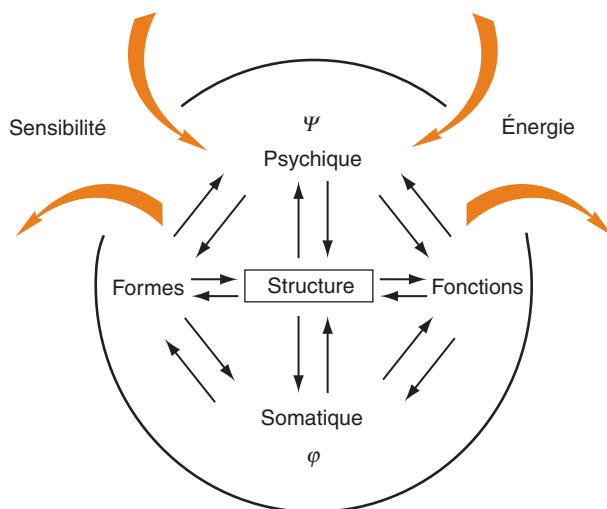


Fig. 8-1. « L'homme global ».

partie d'un tout. Le macrocosme ne se retrouve-t-il pas dans le microcosme et inversement ?

Une dent est aussi traçable qu'un rein ou une vertèbre lombaire appartenant au même individu, les tests ADN en témoignent.

En modifiant un élément on modifie l'ensemble.

Si ce principe ne paraît pas discutable, en revanche certaines prétentions thérapeutiques qui le prennent pour unique base le sont. La tentation est grande d'avoir accès au tout à partir du particulier.

Qui n'a pas entendu vanter l'effet miraculeux de la mobilisation de telle ou telle articulation ou celui de semelles correctrices des dysmorphismes, sous prétexte que la plante du pied constitue une zone d'entrée d'informations proprioceptives particulièrement riche ?

Les exemples sont légions.

Cela ne résiste pas à l'analyse, car c'est faire peu de cas des différenciations et des spécifications structurelles et fonctionnelles qui ont commencé à s'opérer dès la période embryonnaire, comme cela vient d'être souligné.

Comment peut-on espérer qu'agir sur un élément puisse avoir un effet ciblé sur un autre, s'ils ne sont pas liés directement par des relations de cause à effet ?

Par ailleurs, dans le chapitre traitant des mécanismes de défense, un autre problème a été évoqué :

celui de la fixation des compensations. Le paradoxe des effets permanents et des causes évanouies montre même que l'agression primaire peut avoir disparu sans que cela en modifie les conséquences. Le temps a fait son œuvre.

### ● Points clés

Il est possible de conclure, d'une façon ironique, que tout est dans tout mais pas réciproquement.

La déesse Panacea a la vie dure mais il n'est pas interdit d'aider à creuser sa tombe.

## Individualité – Causalité – Globalité

Uniques nous sommes, uniques nous demeurons dans le domaine de la pathologie. La réaction de chacun à l'agression est personnelle. Il n'existe pas deux scolioses ni deux lombalgies identiques.

En thérapie il ne peut donc y avoir de recettes mais seulement des règles, qu'il convient d'ajuster en fonction de chaque patient.

### ● Points clés

Nous devons traiter des malades et non pas seulement des maladies.

Dans le domaine de la Physique et de la Mathématique la théorie du chaos fait état d'effets aléatoires. Depuis Henri Poincaré, en passant par Einstein et Langevin pour aboutir à Edward Lorenz (effet papillon), des scientifiques ont montré qu'un changement des conditions initiales entraîne non seulement un bouleversement dans l'évolution future d'un système, mais qu'en outre ce changement n'entre pas systématiquement dans le cadre des équations régissant le système.

En kinésithérapie comme dans toutes les disciplines, les causes d'un problème ne sont pas toujours connues. Elles sont bien sûr innombrables, même si les statistiques sont là pour montrer qu'il existe des disparités dans leurs fréquences.

Cela rend irrecevable l'expression trop souvent entendue de la bouche de thérapeutes voulant faire entrer de force la variété et la complexité des pathologies dans leur domaine préférentiel de compétence : « cela vient toujours de là »<sup>8</sup>.

Prenons un exemple simple. Un patient se plaint soudain des muscles de la ceinture scapulaire d'un côté. Ceci parce que des années auparavant il a souffert d'une entorse de cheville qui l'a obligé à élever, pendant un certain temps, l'épaule opposée afin de soulager l'appui douloureux du pied. La position s'est fixée, entraînant une symptomatologie.

À l'anamnèse le physiothérapeute ne peut attendre aucune aide de son patient, naturellement incapable de faire le rapport entre sa douleur actuelle et sa vieille lésion de la cheville. Aucun examen ne pourra objectiver la relation entre les deux.

Pourtant, à la suite de l'entorse c'est bien toute une « chaîne musculaire » qui s'est mise en action puis rétractée pour éviter les mouvements intempestifs de la cheville. Les gastrocnémiens et les ischio-jambiers ont limité les mouvements du genou, protégeant ainsi la tibio-astragaliennne. Les spinaux du même côté ont compensé. Le trapèze supérieur de l'autre côté s'est mobilisé pour alléger l'appui.

À ce stade de fixation, un traitement symptomatologique est inefficace. La rechute est programmée.

Mais il existe un moyen de corriger la symptomatologie de l'épaule tout en remontant jusqu'à la cheville.

L'étirement lent et progressif du trapèze supérieur entraîne une compensation nucale dont la correction met en évidence la rétraction des spinaux. L'allongement de ceux-ci fait apparaître la raideur des ischio-jambiers, puis des gastrocnémiens, jusqu'au pied.

La globalité, qui est une nécessité dans les étirements, permet de remonter de la conséquence à la cause d'un problème, en suivant le fil d'Ariane des rétractions fixées et en les abolissant au fur et à mesure.

Mais, on l'aura compris, cette globalité indispensable est limitée, dans notre cas, à l'appareil musculo-squelettique.

### ● Points clés

L'usage de la globalité en temps que moyen thérapeutique ne peut s'exercer que dans les limites d'un système cohérent.

Il est pourtant fréquent d'entendre qualifier d'holistique l'association de diverses techniques (par exemple : relaxation, diététique et soins corporels) sous prétexte qu'elles englobent différents aspects de l'humain. La variété des combinaisons proposées qui pourtant se prévalent toutes de la même ambition montre la vanité de l'entreprise et combien il est utopique de prétendre tout embrasser.

## Sélectivité

Chaque séance de traitement doit s'assortir d'une intention thérapeutique. Le souci de résoudre la symptomatologie, qu'elle soit lésionnelle ou morphologique (ici et maintenant), réduit encore le champ d'action de cette conception de la globalité.

À partir de la correction initiale de la pathologie choisie, seuls les éléments en corrélation avec elle vont apparaître lors de la mise en tension progressivement globale.

<sup>8</sup> Voir aussi « Le protocole de l'entonnoir », Bulletin de Rééducation Posturale Globale, n° 63, Novembre 1998.

Ce sont eux qui sont diagnostiqués partie intégrante du cadre pathologique.

Cette façon de faire est nécessaire lorsque la cause pathogène n'est pas identifiable par d'autres moyens.

### ● Points clés

La mise en globalité est un moyen qui permet de porter remède à une pathologie dans le cadre de ses interactions. Elle ne permet pas de tout traiter à la fois.

## Simultanéité

Il est commun de confondre succession de corrections analytiques, même complétées, et traitement global.

Si l'on reprend l'exemple du pied qui peut être à l'origine d'une douleur au niveau de la ceinture scapulaire, il est clair qu'il est nécessaire de parvenir à étirer en même temps tous les muscles rétrécis de la chaîne, sous peine de perdre la continuité de la tension. C'est uniquement grâce à cette simultanéité qu'il est possible d'éviter les compensations et de remonter en sens inverse la chronologie : cause – fixation – symptôme.

Un manquement à ce principe est comparable à la rupture d'un maillon. Cela remet en jeu le diagnostic et le caractère définitif du traitement.

### ● Points clés

Sur le plan musculo-squelettique, il faut corriger en même temps les différents éléments impliqués dans une pathologie.

## Globalité élargie et restriction de compétence

Par son caractère structurel l'appareil musculo-squelettique influence fortement les formes et peut altérer les fonctions.

Inversement une souffrance d'origine viscérale peut en modifier l'harmonie, ne serait-ce qu'en imposant, par exemple, une position antalgique à la colonne vertébrale.

Dans ce cas la correction morphologique de celle-ci peut désocculter la douleur viscérale d'origine... nécessitant alors l'intervention d'un autre professionnel compétent en la matière.

Il en est de même lorsqu'il s'agit d'agressions de caractère neuropsychique affectant principalement, comme cela a été vu, la tension des muscles de l'étage sus-diaphragmatique.

## Conclusion

Il ne semble pas qu'il existe de moyen terme sémantique entre analytique et global.

L'expression globalité restreinte tente de rendre compte d'une réalité complexe.

Dans le domaine des pathologies musculo-articulaires et morphologiques traitées en physiothérapie les règles en sont précises et limitatives.

Leur connaissance est indispensable à qui désire appliquer un traitement qualifié de global comme à qui prétend s'y opposer.

# Chapitre 9

## Les principes physiques de l'allongement

### L'élasticité

L'élasticité est la capacité que possède un corps à reprendre sa longueur d'origine lorsque cesse l'étirement.

Le coefficient d'élasticité dépend de caractéristiques intrinsèques mais aussi circonstancielles du matériau, en particulier sa température.

Nous avons vu que l'élasticité musculaire est à la fois résistante par sa capacité d'amortissement des contraintes et réactive par restitution d'énergie passive lorsque cesse la traction (Loi de Hooke – État solide de la matière).

Les tissus musculaires présentent des caractéristiques de modèle viscoélastique mais également plastique.

Durant l'allongement musculaire, diverses structures sont concernées. Leur résistance s'exerce en série et en parallèle (voir Chapitre 1).

En dessous d'une certaine intensité de traction, l'allongement obtenu est totalement réversible, le muscle reprend sa longueur initiale (Fig. 9.1 a et b).

Dans un premier temps, soumis à une contrainte  $\sigma$ , d'intensité moyenne, pendant un temps donné (Fig. 9.1 a), le muscle acquiert immédiatement une déformation (Bouisset et Maton, 1996), qui s'arrête quand la courbe apparaît (sommet de la ligne verticale  $\varepsilon=0$ ) (Fig. 9.1 b). À partir de ce moment, la résistance élastique freine l'allongement. L'arrêt de la traction en  $t_1$  provoque une recouvrance instantanée, puis apparaît une courbe inverse à la première, qui rejoint l'axe de l'abscisse. Il ne subsiste aucune déformation résiduelle.

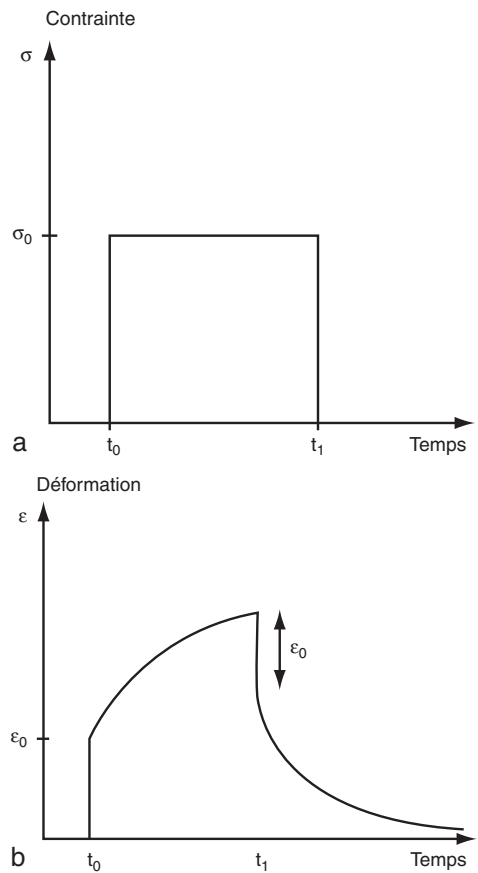


Fig. 9-1. a,b. Le cycle de l'élasticité.

C'est un phénomène totalement réversible, décrivant une boucle d'hystérésis (Fig. 9.2) (Buchthal et Rosenfalk, 1957).

Le décalage de la courbe de retour de b vers a s'explique par la résistance visqueuse qu'offre le frottement des filaments d'actine et de myosine

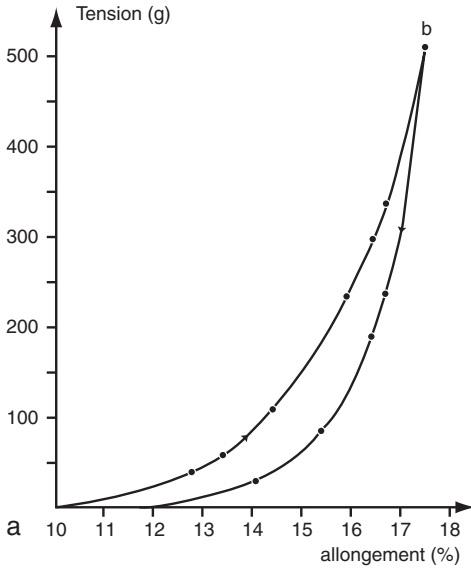


Fig. 9-2. Boucle d'hystérésis.

entre eux. Elle marque la dissipation d'énergie. Ces deux courbes sont représentatives du comportement viscoélastique des structures musculaires.

## Le Fluage (« Creep »)

À l'inverse de l'élasticité, le fluage est un phénomène physique à l'origine de la déformation définitive d'un matériau soumis à une traction constante pendant une durée suffisante. La connaissance des règles de son fonctionnement est nécessaire au traitement des raccourcissements musculaires.

Le fluage concerne les matériaux viscoélastiques et plastoélastiques ductiles (c'est-à-dire : malléables, souples ou encore flexibles, étirables). C'est le cas des métaux doux, comme l'aluminium ou le fer. Ce sont les plus sensibles au fluage.

Le taux de déformation dépend des propriétés du matériel, du temps de traction, de la tension imposée et de la température. C'est ainsi que le métal chauffé devient malléable et adopte un comportement viscoélastique. Ce modèle ne peut évidem-

ment pas concerner les tissus musculaires, dont le fluage ne peut s'obtenir qu'à froid.

Le modèle retenu, s'agissant de protéines structurales et des tissus conjonctifs, est celui des polymères fibreux peu réticulés.

Pour J. Lecomte-Beckers (2009), les propriétés mécaniques des polymères sont plus faibles que celles des métaux hormis une ductibilité qui peut être du même ordre. Le fluage des polymères est comparable à celui des métaux, à ceci près qu'il se produit à des températures plus basses.

## Fluage et contrainte

La proportion de déformation permanente obtenue par fluage est représentée par les figures 9.3 a et b.

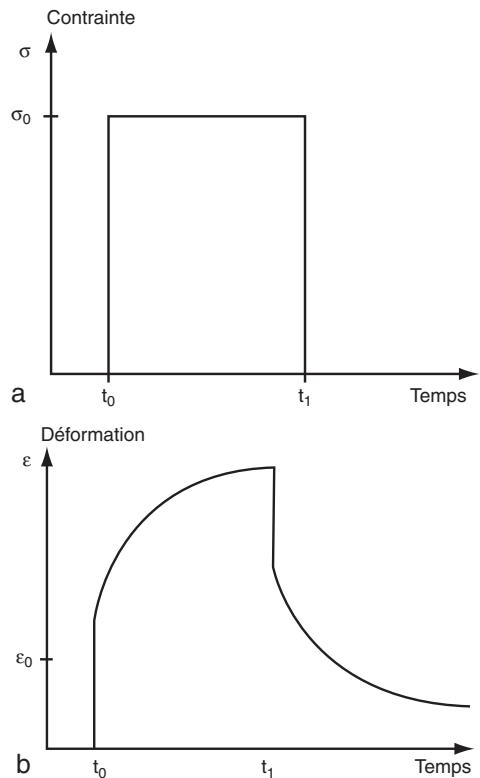


Fig. 9-3. a,b. Le cycle du fluage.

Alors que dans le cas de l'élasticité le matériau reprend sa forme initiale à l'arrêt de la contrainte en  $t_1$  (voir Fig. 9.1), on constate que, soumis à une contrainte supérieure, la courbe ascendante témoigne d'une résistance accrue, tandis que la descendante ne rejoint pas l'axe d'abscisse, laissant apparaître une différence de longueur résiduelle ou gain de longueur après traction.

### ● Points clés

Le taux de fluage dépend de la contrainte.

Mais le caractère irréversible de la déformation peut s'accompagner d'une diminution relative de la contrainte pour une déformation continuant à progresser (Fig. 9.4).

Soumis à une tension donnée  $\sigma$ , le matériau s'allonge de manière linéaire du point 0 au point B, c'est la plage élastique, totalement réversible (Massonnet et Cescotto, 2001). Ensuite la déformation continue à progresser, alors que la contrainte  $\sigma$  augmente beaucoup moins. C'est la phase plastique (points B, C, D, E, F).

Si la contrainte cesse après le point B, on peut observer un gain permanent de longueur. Si la contrainte devait cesser en D', il n'y aurait pas de

retour en arrière calqué sur la courbe initiale, mais le départ d'un nouveau cycle, illustré par la ligne D'H.

### ● Points clés

La déformation peut continuer à progresser même en cas de diminution relative de la contrainte.

## Fluage et temps de traction

Plus la vitesse d'étirement s'accroît, plus la force utilisée pour vaincre la résistance doit être augmentée (Dufour et Pillu, 2006, Masson) (Fig. 9.5).

Par contre, plus le matériau est soumis à une contrainte prolongée, plus la déformation est importante (Fig. 9.6).

### ● Points clés

La longueur gagnée dépend du temps de traction.

## Rapport contrainte-temps

Au regard des figures 9.4, 9.5 et 9.6, il est donc possible de diminuer l'intensité de la contrainte, à condition d'augmenter le temps de traction.

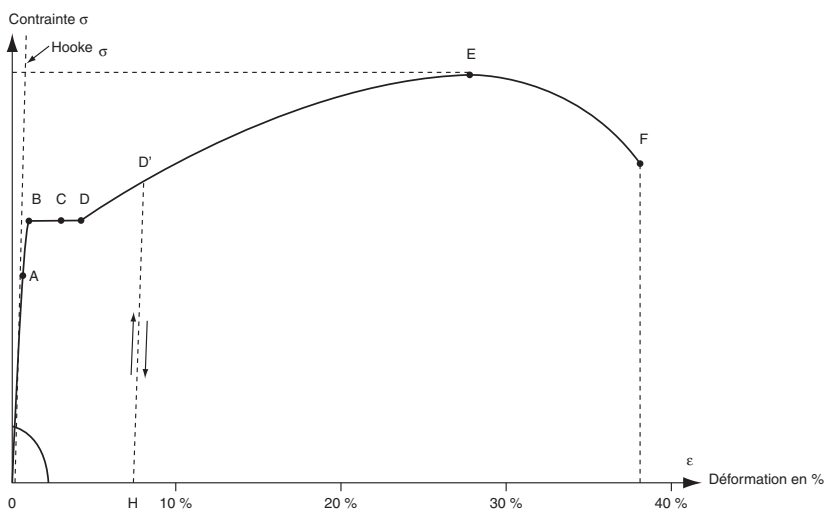


Fig. 9-4. La déformation continue à progresser, même lorsque la contrainte diminue.

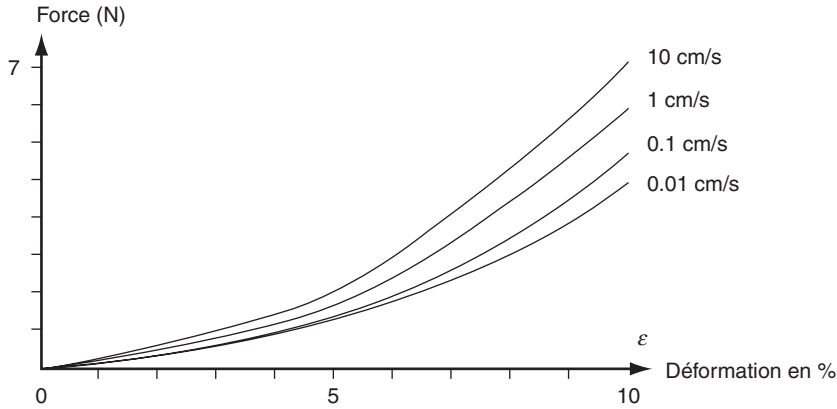


Fig. 9-5. La résistance à l'éirement augmente avec la vitesse.

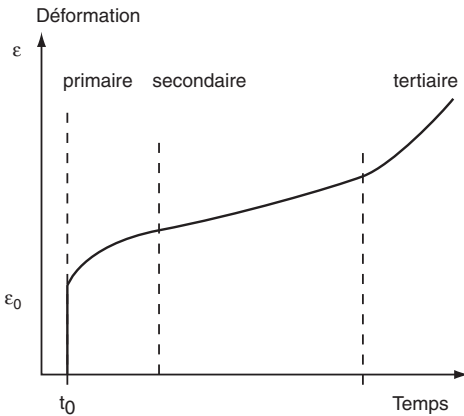


Fig. 9-6. Les trois phases du fluage.

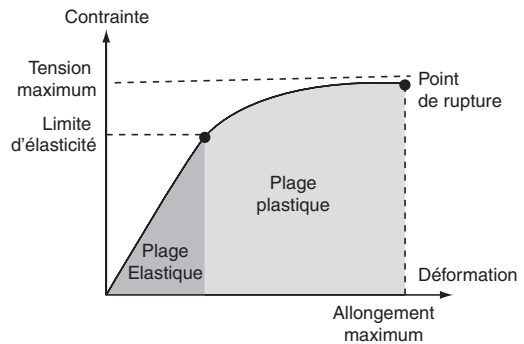


Fig. 9-7. Module de Young.

### ● Points clés

L'augmentation du temps d'étirement permet de diminuer la force de traction.

## Fluage et coefficient d'élasticité

Le coefficient d'élasticité (ou propriétés du matériel) présente un paradoxe. Il est d'autant plus élevé qu'un matériau est plus élastique. Si celui-ci est idéalement élastique, il peut théoriquement revenir indéfiniment à sa position d'origine lorsque la force de traction cesse.

C'est le cas des déformations régies par la loi de Hooke, selon laquelle la déformation est proportionnelle à la traction et entièrement réversible.

Dans le module de Young, la droite qui précède la courbe, et qui représente la phase élastique réversible, se prolonge plus le corps est élastique (Fig. 9.7).

Un matériau souple, au grand coefficient, flue donc peu. Par contre, plus il est raide (petit coefficient), plus il peut afficher un fort taux de longueur gagné après traction. Le principe est applicable aux tissus musculaires.

Cela corrobore des expérimentations effectuées sur les muscles, qui montrent que les tissus sont

plus extensibles à température élevée (Lehmann et coll., 1970; Warren et Lehmann, 1976; Woo et coll., 1987; Safran et coll., 1988; Nooman et coll., 1993).

De même l'amplitude articulaire augmente après échauffement (Wiktorsson et coll., 1983; Henricson et coll., 1984; Taylor et coll., 1995; Stewart et coll., 1998). Mais les allongements obtenus dans ces conditions sont temporaires. Pour un même niveau de tension, la déformation n'est durable que si le tissu musculaire est allongé « à froid » (Sapega et coll., 1981).

Tout échauffement musculaire avant étirement est donc à éviter.

### ● Points clés

Plus un muscle est raide, plus il est susceptible de fluer.

En fonction des critères de contrainte, de temps et de coefficient d'élasticité, il est possible de formuler l'allongement gagné par fluage de la façon suivante<sup>9</sup> :

$$\text{Taux de longueur gagnée} = \frac{\text{Taux d'allongement temporaire} \times \text{Temps d'étirement}}{\text{Coefficient d'élasticité}}$$

## Fluage et hétérogénéité musculaire

Les divers constituants du muscle présentent des caractéristiques visqueuses, élastiques et plastiques différentes, conditionnant leurs réactions à l'étirement.

En ce qui concerne l'élasticité, nous avons vu qu'à l'allongement, les filaments d'actine et de myosine se désengagent. Les différents feuilletés des tissus conjonctifs glissent les uns par rapport aux autres. Les liaisons transversales sont étirées à tous les

étages, depuis l'endomysium jusqu'à l'aponévrose d'enveloppe (Chapitre 1).

Lorsque la traction dépasse le seuil d'élasticité, les liaisons croisées transversales entre les brins de collagène cèdent (Lieber et coll., 1996; Lieber et Friden, 2002), entraînant une modification structurale.

La titine et la nébuline sont altérées au niveau de leurs liaisons chimiques (Wydra, 1997; Wiemann et Klee, 2000; Trappe et coll., 2002). Des micro-ruptures apparaissent au niveau des tendons entre 3 % et 8 % de déformation (Butler et coll., 1978).

Tous ces éléments se reconstituent après allongement.

Pour Babash et coll. (2002), la rupture de la desmine est maximale 12 heures après étirement mais la régénération en plus grande quantité est totale entre 72 et 168 heures.

Les tendons et, à titre moindre les fascias, sont très résistants à l'étirement grâce à l'organisation longitudinale de leurs fibres et à leur caractère peu réticulé. Nous sommes en face d'un matériau plus « sec », s'approchant des caractéristiquesastoélastiques et donc plus susceptible de fluer.

La viscosité, quant à elle, dépend essentiellement de la capture de l'eau au sein des structures réticulaires. Le modèle est celui de la seringue. Pour une force constante exercée sur le piston, le degré de viscosité influence la vitesse de remplissage ou d'évacuation.

Le caractère plus ou moins visqueux dépend fondamentalement du poids moléculaire.

### ● Points clés

Le but du fluage est de provoquer un réarrangement conformationnel des chaînes macromoléculaires dans une position de plus grande longueur (Fig. 9.8 a et b).

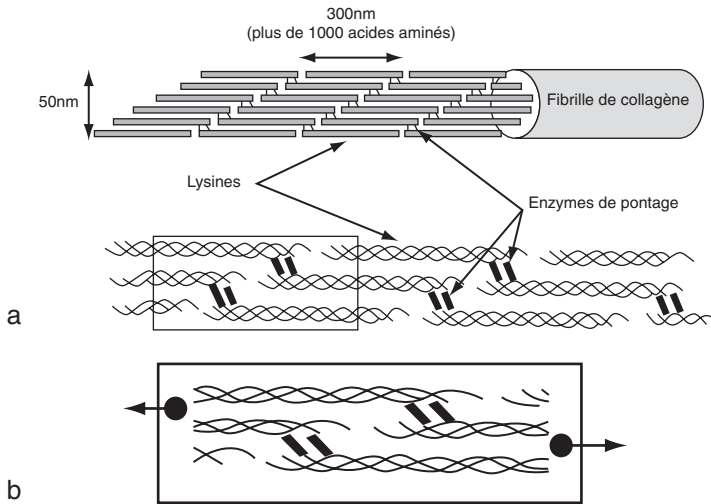
### ● Points clés

Les matériaux organiques n'étant pas homogènes, leurs divers éléments présentent des différences de résistance à l'étirement et de capacité d'allongement par fluage.

À l'étirement, la tension augmente en premier lieu dans les structures musculo-fibreuses qui, par nature ou pathologiquement, sont les moins extensibles.

<sup>9</sup> Du même auteur : *Le champ clos*, Éditions le Pousoë, 1981.





**Fig. 9-8.** Réarrangement des ponts dans une position de plus grande longueur.

a. Ponts ou liaisons croisées, d'après Darnell, Lodish et Baltimore, 1990 (voir aussi Fig. 1.4 a).

b. Glissement des chaînes macromoléculaires à l'étirement.

# Chapitre 10

## Les postures de traitement

### Définition

La mise en tension globale ne peut être obtenue immédiatement. Par ailleurs, certains patients présentent un cadre douloureux ou sont très fragiles. Les corrections ne peuvent donc être imposées rapidement.

L'expression « postures de traitement » – on pourrait également dire « positions de traitement » – veut rendre compte du caractère très progressif des tractions manuelles et de la lenteur de la progression angulaire des segments.

Une posture de traitement dure environ une demi-heure, entrecoupée, bien entendu, de périodes de repos.

### « Chaînes musculaires » et familles de postures de traitement

Suivant les activités, différents groupes musculaires synergiques sont mis en jeu. Diverses chaînes de coordination neuromusculaire peuvent donc être affectées, dans des associations variées. Les postures de traitement doivent en tenir compte et couvrir tout le spectre des connexions qu'elles peuvent établir entre elles.

C'est ainsi que l'on peut regrouper les postures de traitement en quatre familles. Chacune d'entre elles permet d'associer plusieurs « chaînes musculaires » (Tableau 10.1).

Tableau 10.1 Familles de postures.

Familles de postures	« Chaînes musculaires » allongées
1. Ouverture coxo-fémorale Bras adductés	Inspiratoire Maîtresse antérieure Antéro-interne de hanche Supérieure de la ceinture scapulaire Antérieure de bras Latérale de hanche
2. Ouverture coxo-fémorale Bras abductés	Inspiratoire Maîtresse antérieure Antéro-interne de hanche Antéro-interne d'épaule Antérieure de bras Latérale de hanche
3. Fermeture coxo-fémorale Bras adductés	Inspiratoire Maîtresse postérieure Supérieure de la ceinture scapulaire Antérieure de bras Latérale de hanche
4. Fermeture coxo-fémorale Bras abductés	Inspiratoire Maîtresse postérieure Antéro-interne d'épaule Antérieure de bras Latérale de hanche

### Les postures de traitement

Au sein d'une même famille existent, en général, diverses postures. Cette variété a deux intérêts principaux :

- elle offre la possibilité de placer le patient soit en position de décubitus dorsal, soit en charge (assis ou debout) ;
- elle permet au thérapeute d'intervenir manuellement plus spécifiquement au niveau d'un segment ou d'un autre.

Les postures de traitement en décubitus sont particulièrement indiquées, voire indispensables en cas de pathologie articulaire, en fonction de la fragilité, de l'âge, ou encore de l'intensité de la douleur du patient.

Les postures en charge sont plus actives mais sont également plus exigeantes.

Les postures d'abduction des bras, destinées à étirer la « chaîne antéro-interne d'épaule », ne sont

pas réalisables en position assise ou debout car il est impossible, dans ce cas, d'éviter la contraction concentrique des muscles de la ceinture scapulaire. Elles sont donc exclusivement pratiquées en décubitus dorsal.

## Familles de postures

### Première famille : ouverture coxo-fémorale, bras adductés

Postures :

- en décubitus dorsal (Fig. 10.1 a);
- debout contre le mur (Fig. 10.1 b);
- debout au milieu (Fig. 10.1 c).

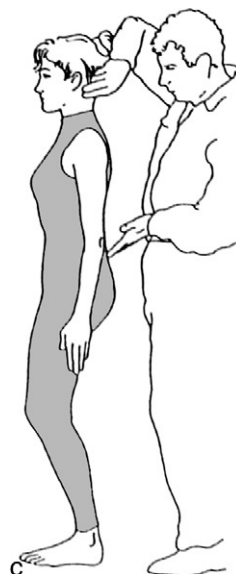
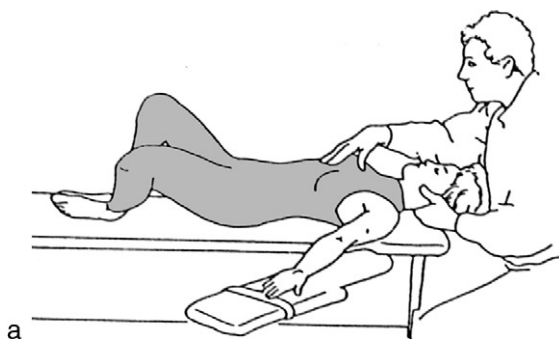


Fig. 10.1. a, b, c.

## Deuxième famille : ouverture coxo-fémorale, bras abductés

Postures :

- en décubitus dorsal (Fig. 10.2).

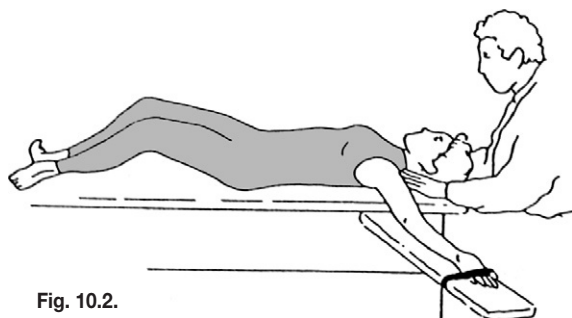


Fig. 10.2.

## Troisième famille : fermeture coxo-fémorale, bras adductés

Postures :

- en décubitus dorsal (Fig. 10.3 a);
- assis (Fig. 10.3 b);
- debout penché en avant (Fig. 10.3 c).

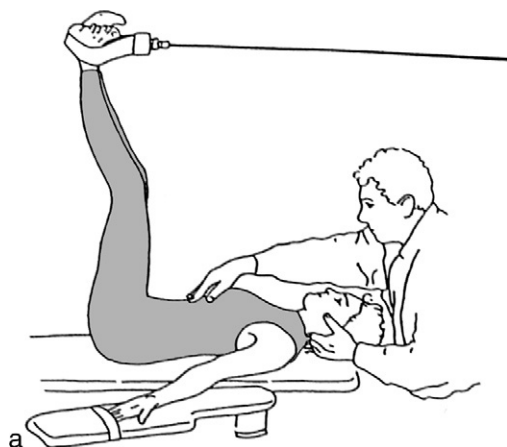


Fig. 10.3. a, b, c.

## Quatrième famille : fermeture coxo-fémorale, bras abductés

Postures :

- en décubitus dorsal (Fig 10.4).

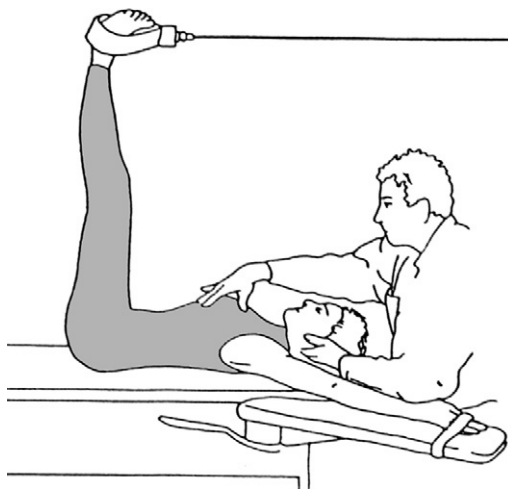


Fig 10.4

## Le choix de postures

Il convient de rappeler qu'être global ne signifie pas prétendre tout corriger à la fois mais, au contraire, traiter une pathologie dans le cadre de ses tenants et de ses aboutissants, c'est-à-dire dans le contexte de sa globalité restreinte.

Seule la mise en tension progressive du système musculo-fibreux, à partir de la correction de la symptomatologie, peut mettre en évidence de façon précise les corrélations de celle-ci avec d'autres éléments particuliers de l'appareil musculo-squelettique et révéler l'importance des rétractions, des lésions et des douleurs occultées. Mais il est possible, dans une large mesure, d'anticiper ces corrélations grâce à un diagnostic bien conduit.

Il est alors possible de choisir, à bon escient, les postures les plus à même de résoudre le problème posé. Certaines postures sont plus généralistes, d'autres plus spécifiques. Ces dernières sont donc moins souvent utilisées. Elles peuvent toutes se révéler indispensables.

Le choix de postures dépend de l'anamnèse, de l'étude des documents présentés, d'un examen

approfondi de la morphologie, de tests de la mobilité articulaire et d'amplitude des mouvements.

Le principe de causalité impose de choisir la ou les posture(s) révélatrice(s) de la pathologie. Si une douleur lombaire apparaît en position assise, elle devra être traitée en fermeture d'angle coxo-fémoral. Une symptomatologie douloureuse ou une limitation d'amplitude de l'articulation scapulo-humérale dans les mouvements d'abduction, doit l'être en posture d'écartement des bras.

Une déformation morphologique due à la rétraction d'une chaîne spécifique doit être corrigée dans la posture permettant l'allongement le plus efficace de celle-ci.

Les corrélations qu'établissent entre elles les « chaînes musculaires » d'une part, la multiplicité des compensations et leur fixation d'autre part, imposent souvent de devoir employer des postures appartenant à diverses familles pour traiter la pathologie présentée.

Il est en particulier fréquent, surtout dans les cas chroniques, d'être contraint d'utiliser des postures en ouverture d'angle coxo-fémoral pour la « chaîne maîtresse antérieure » et de fermeture pour la « chaîne maîtresse postérieure ».

## Première famille

### Posture d'ouverture d'angle coxo-fémoral, bras adductés, en décubitus dorsal (Fig. 10.5 a, b et c)

Il s'agit de la posture la plus généraliste de la première famille.

Elle permet les décoaptations et les détorsions articulaires les plus fines. Elle est très utilisée en cas de cervicales, dorsalgies, lombalgies, dans les scolioses et pour les corrections thoraciques.

L'ouverture progressive de l'angle coxo-fémoral peut permettre d'étirer, en fonction des besoins, les adducteurs pubiens et les muscles antérieurs de la jambe, le psoas-iliaque, le grand adducteur, le droit antérieur. Elle autorise la rééducation de l'équin du pied.

Elle permet toutes les corrections des membres supérieurs. C'est la posture de la rééducation de la supination.

Elle permet au thérapeute d'insister particulièrement sur :

- la nuque;
- le thorax et la respiration;
- la colonne dorsale;
- la ceinture scapulaire;
- les épaules;
- les coudes;
- les poignets;
- les mains;
- les doigts;
- le bassin et la région lombaire;
- les genoux;
- les pieds;
- les orteils.

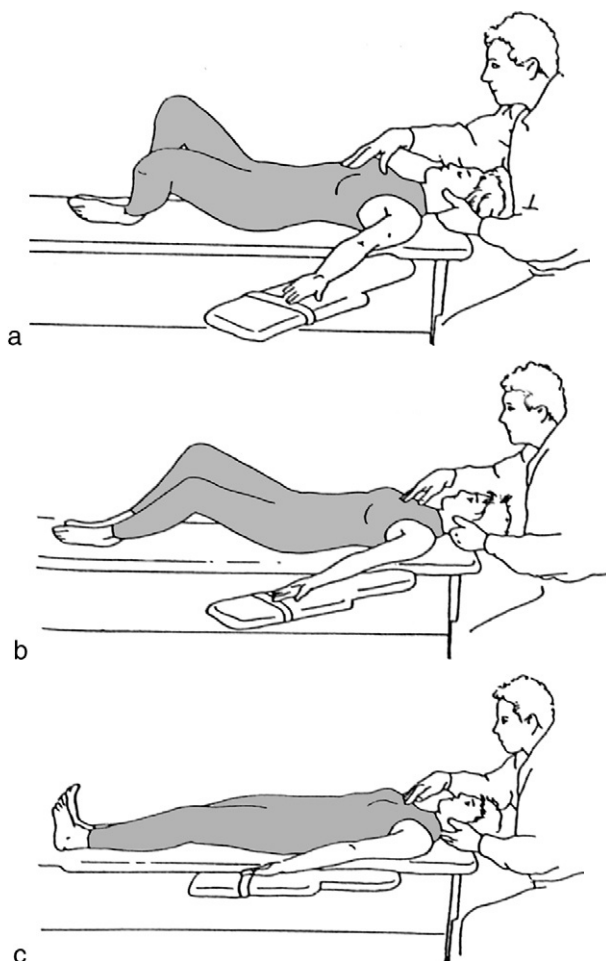


Fig. 10.5. a, b et c.

## Première famille

**Posture d'ouverture d'angle coxo-fémoral – variante impliquant également le grand adducteur** (Fig. 10.6)

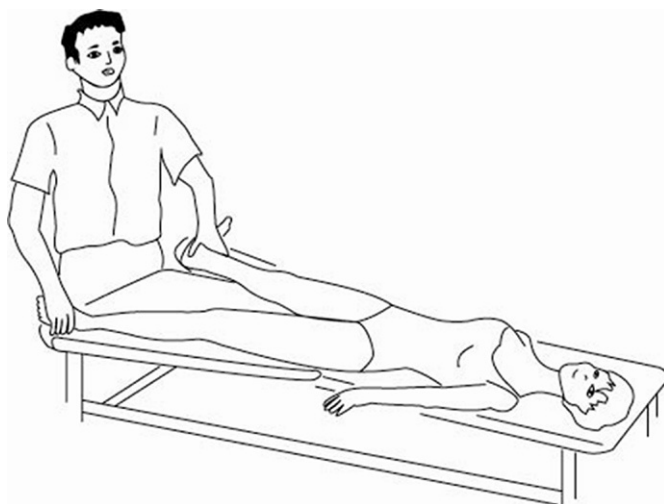


Fig. 10.6.

## Première famille

**Posture d'ouverture d'angle coxo-fémoral – variante impliquant également le droit fémoral** (Fig. 10.7)



Fig. 10.7.

## Première famille

### Posture d'ouverture d'angle coxo-fémoral, debout contre le mur (Fig. 10.8 a, b et c)

C'est la grande posture des problèmes morphologiques de la ceinture scapulaire (élévation, enroulement, et fixation des bras en abduction) et des déformations des membres inférieurs lorsque ceux-ci sont de caractère antérieur (valgum des genoux, pieds en pronation).

Elle n'est pas utilisée en cas de douleur.

Elle permet d'insister particulièrement sur :

- la ceinture scapulaire ;
- les épaules ;
- les hanches ;
- les genoux ;
- les pieds.

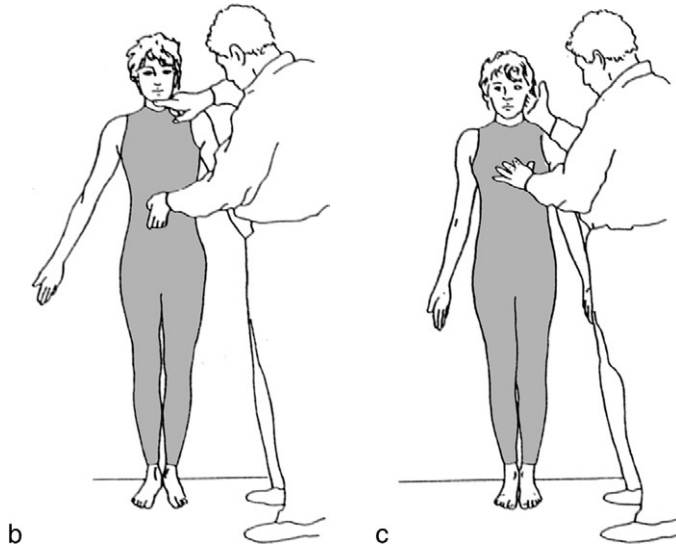


Fig. 10.8. a, b et c.



## Première famille

### Posture d'ouverture d'angle coxo-fémoral, debout au milieu (Fig. 10.9 a, b et c)

Elle est destinée aux déviations complexes de la colonne vertébrale. Elle permet de mettre en rapport leur correction avec le maintien de l'équilibre.

Elle n'est pas pratiquée en cas de douleur.

Elle permet une meilleure précision sur :

- la colonne vertébrale;
- le bassin;
- les genoux;
- les pieds;
- l'équilibre.

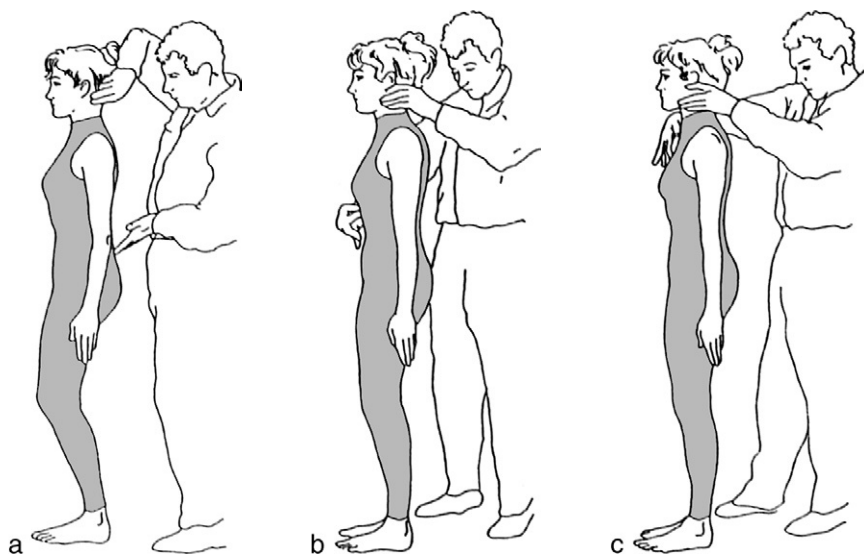


Fig. 10.9. a, b et c.

## Deuxième famille

### Posture d'ouverture d'angle coxo-fémoral, bras abductés (Fig. 10.10 a, b et c)

C'est l'unique posture de la famille.

Elle est particulièrement nécessaire dans les pathologies de l'articulation scapulo-humérale et du membre supérieur. C'est la posture de la pronation.

Comme la posture d'ouverture d'angle coxo-fémoral, bras serrés, en décubitus dorsal, elle est très polyvalente et permet toutes les corrections articulaires. Elle est fréquemment utilisée dans les déformations thoraciques et dans les blocages inspiratoires.

Particulièrement efficace sur :

- la nuque;
- le thorax et la respiration;
- la colonne dorsale;
- les épaules;
- les coudes;
- les poignets;
- les mains;
- les doigts;
- le bassin et la région lombaire;
- les hanches;
- les genoux;
- les pieds;
- les orteils.

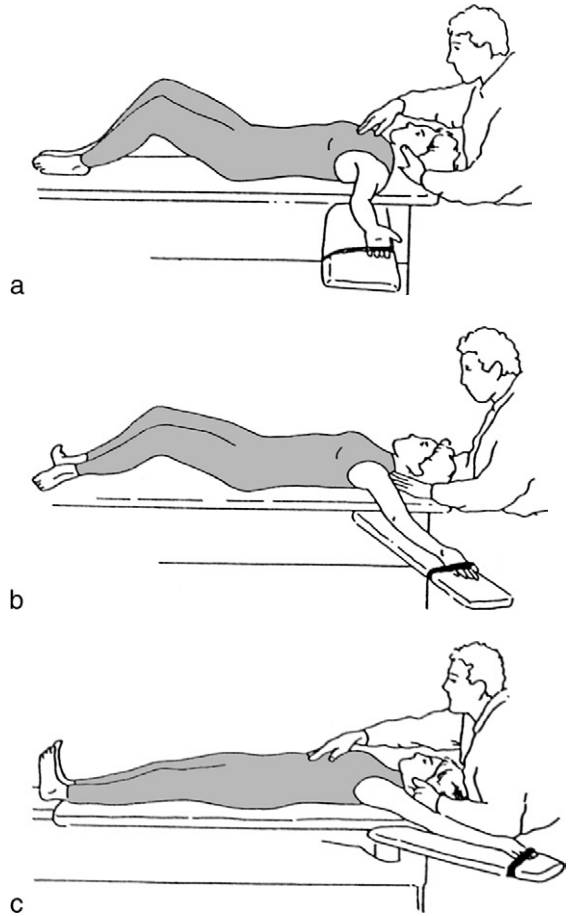


Fig. 10.10. a, b et c.

## Troisième famille

### Posture de fermeture d'angle coxo-fémoral, bras adductés, en décubitus dorsal (Fig. 10.11 a, b et c)

Par le fait que le thérapeute peut intervenir aisément au niveau de tous les segments corporels, c'est la plus complète de la troisième famille.

Elle convient pour toutes les douleurs et lésions articulaires. Elle est à la « chaîne maîtresse postérieure » ce que la posture d'ouverture d'angle coxo-fémoral, bras adductés, en décubitus est à la « chaîne maîtresse antérieure ».

Elle insiste particulièrement sur :

- la nuque ;
- le thorax et la respiration ;
- la colonne dorsale ;
- la ceinture scapulaire ;
- les épaules ;
- les coudes ;
- les poignets ;
- les mains ;
- les doigts ;
- le bassin et la région lombaire ;
- les hanches ;
- les genoux ;
- les pieds ;
- les orteils.

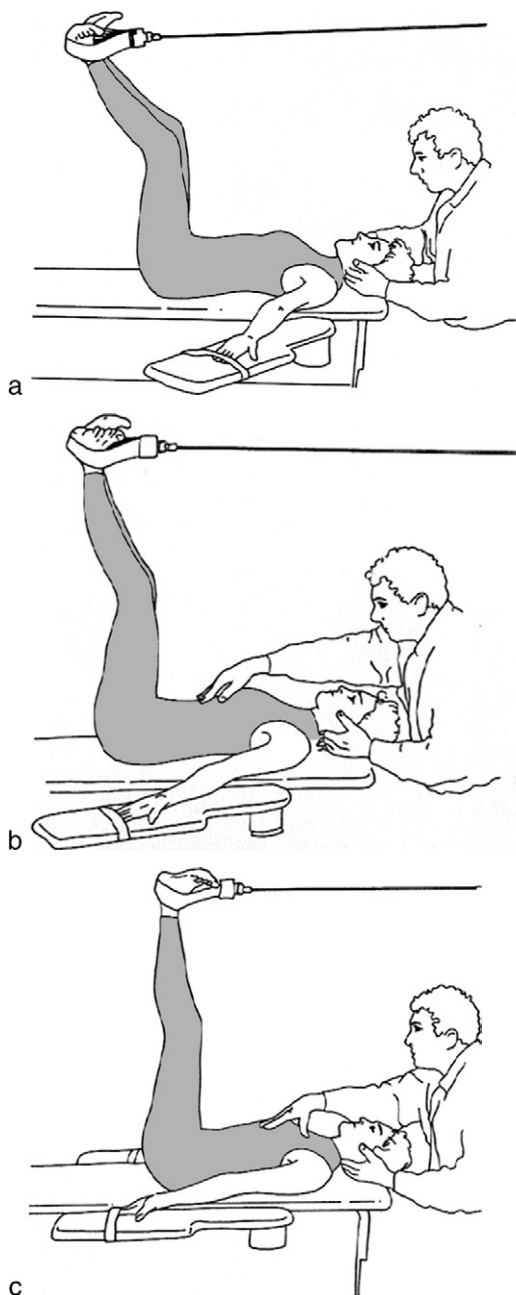


Fig. 10.11. a, b et c.

## Troisième famille

### Posture assis (Fig. 10.12 a, b et c)

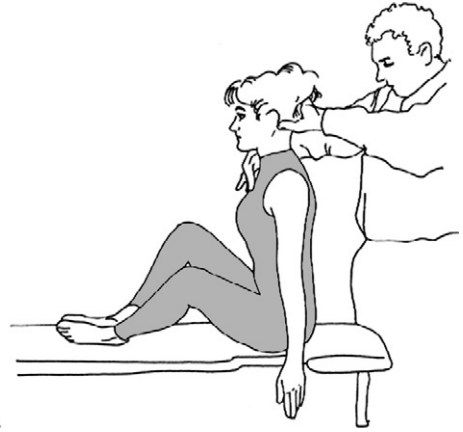
Elle est indiquée en cas de déformations non algiques de la colonne vertébrale.

C'est une grande posture de la scoliose, par l'importance des tractions qu'elle exerce au niveau des muscles spinaux et par le fait que le thérapeute est en mesure, à chaque instant, de contrôler visuellement son action.

C'est aussi une posture de l'équilibre en position assise.

Elle permet d'insister sur :

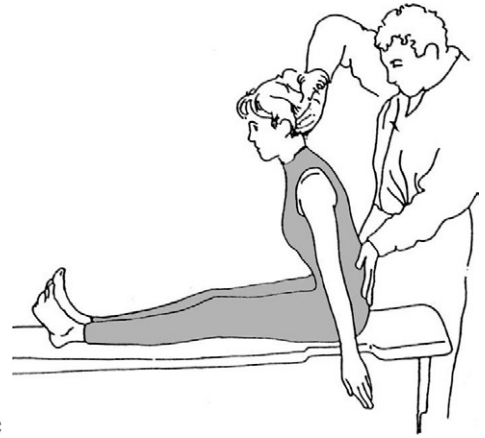
- la colonne vertébrale ;
- les hanches ;
- l'équilibre pondéral d'appui sur les ischions.



a



b



c

Fig. 10.12. a, b et c.

## Troisième famille

### Posture assis – variante impliquant également les pelvitrochantériens (Fig. 10.13 a et b)

Les pelvitrochantériens et, en particulier, le piri-forme (ou pyramidal), sont très fréquemment rétractés.

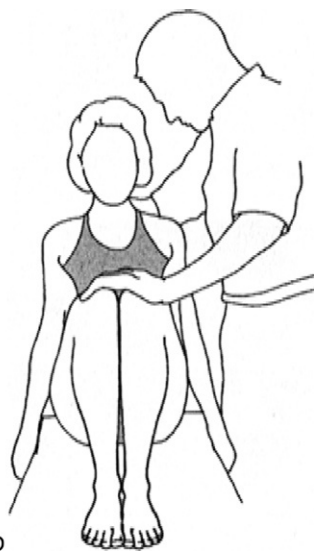
Les scolioses à courbure unique et, en particulier, les scolioses lombaires, réclament fréquemment l'emploi de cette version de la posture assise.

Elle est particulièrement efficace sur :

- la colonne vertébrale ;
- le grand fessier ;
- les pelvitrochantériens ;
- la cyphose lombaire de la position assise.



a



b

Fig. 10.13. a et b.

## Troisième famille

### Posture debout penché en avant (Fig. 10.14 a, b et c)

Cette posture a été, dès l'origine, destinée principalement à l'allongement des muscles postérieurs des membres inférieurs. C'est encore aujourd'hui son rôle, surtout en cas de comportement de type postérieur : bassin retroversé, varus des genoux, calcaneum varus, pieds creux.

Mais la possibilité de commencer la posture avec appui des mains du patient sur la table de traitement libère la colonne lombaire de toute compression. Elle permet au thérapeute de décoapter et de corriger manuellement les vertèbres lombaires avec toute la précision voulue.

C'est une posture précieuse en cas de lombalgies avec ou sans discopathie et des lésions sacro-iliaques. La fréquence de ces pathologies fait qu'elle est très souvent utilisée.

Elle permet une insistance particulière sur :

- les vertèbres lombaires;
- les articulations sacro-iliaques;
- le bassin;
- les hanches;
- les genoux;
- les pieds.



a



b



c

Fig. 10.14. a, b et c.

## Quatrième famille

### Posture de fermeture d'angle coxo-fémoral, bras abductés (Fig. 10.15 a, b et c)

Unique posture de la quatrième famille, elle est aussi complète que son homologue en ouverture d'angle coxo-fémoral, bras écartés.

Elle permet cette fois de combiner l'abduction des bras avec la flexion coxo-fémorale.

Elle permet de travailler avec précision sur :

- la nuque;
- le thorax et la respiration;
- la colonne dorsale;
- les épaules;
- les coudes et la pronation;
- les poignets;
- les mains;
- les doigts;
- la région lombaire et le bassin;
- les hanches;
- les genoux;
- les pieds;
- les orteils.

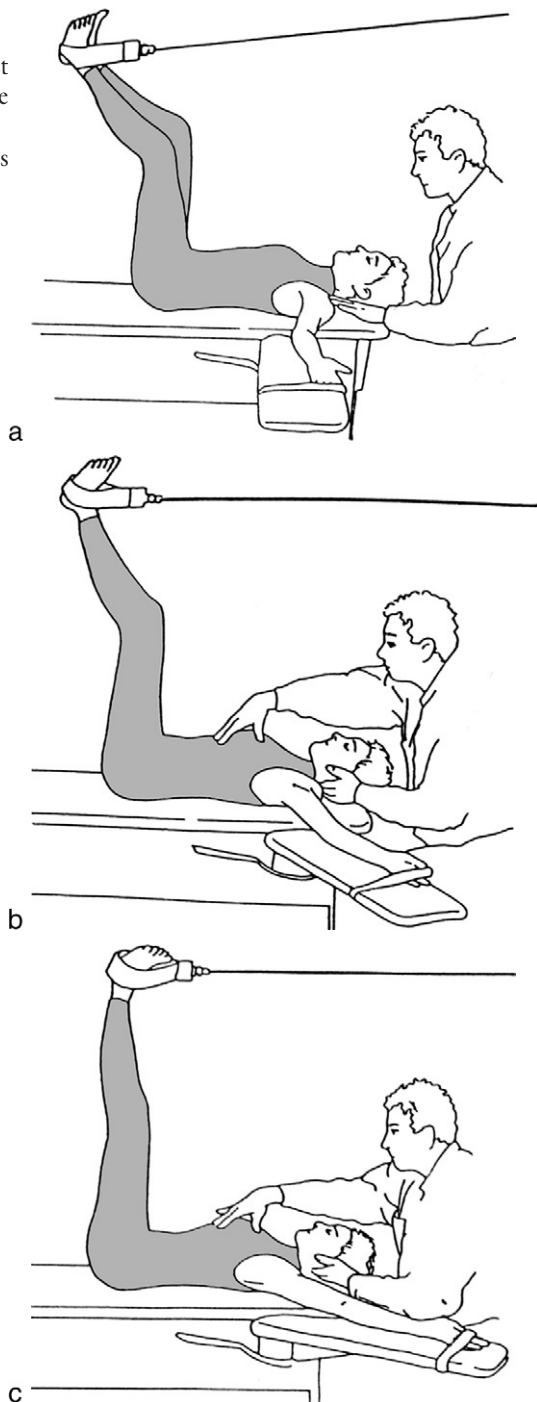


Fig. 10.15 a, b et c.

# Chapitre 11

## La mise en tension – Les corrections – Les contractions isométriques de faible intensité – Les indications

### Les objectifs généraux

---

Vis-à-vis de la fonction statique l'objectif est, bien entendu, de récupérer une posture correcte tant sur le plan frontal que sagittal ou horizontal, tel que cela a été exposé dans le chapitre 7 (voir Fig. 7.1 et 7.2).

La restitution d'une longueur normale des différentes chaînes de coordination neuromusculaire doit permettre en outre à la colonne vertébrale de réaliser, à tous les étages, les mouvements physiologiques dans leurs amplitudes normales.

Il en est de même au niveau de toutes les articulations, qu'il s'agisse d'abduction-adduction, de flexion-extension ou de rotation.

Ces amplitudes segmentaires physiologiques doivent être récupérées sans gêne et sans douleur et les lésions corrigées. Aucun mouvement ne peut donner lieu à compensation.

### ● Points clés

---

Sur le plan physiologique en général, l'objectif est de permettre à chaque muscle pris intrinsèquement de retrouver sa longueur et sa tension idéales.

La force musculaire active et passive disponible et adaptée aux activités du patient en dépend.

L'ambition du projet relève, bien entendu, de l'utopie. Mais faut-il encore établir des critères de normalité pour tenter de s'en approcher.

### Les objectifs par posture

---

La limite ultime d'amplitude de chacune des postures ne va pas au-delà de la physiologie articulaire idéale de chacune des articulations impliquées dans son évolution ni de la longueur normale des muscles qui leur permet de l'atteindre.

C'est ainsi que l'abduction des bras va jusqu'à 180° ou qu'en fermeture d'angle coxo-fémoral il n'est pas demandé aux membres inférieurs de dépasser la dorsiflexion du pied à 70°, l'extension complète des genoux (en bonne correction latérale et de rotation) et la fermeture de l'angle coxo-fémoral à 35/40°, etc. (Fig. 11.1 et 11.2)

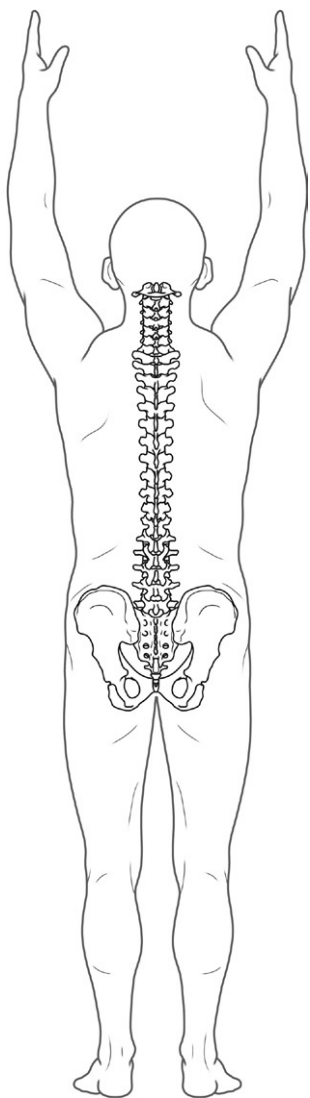
Pour une « chaîne musculaire » considérée ou une combinaison de chaînes, la difficulté réside dans la simultanéité des corrections.

### La personnalisation du traitement

---

Elle constitue l'aboutissement de tout ce qui précède. Les principes de traitement doivent être





**Fig. 11-1.** Exemples d'amplitudes articulaires physiologiques, constituant l'objectif des postures.

respectés mais adaptés en permanence au patient, aux pathologies et à l'évolution du traitement.

## Thérapie qualitative

Tout ce qui vient d'être exposé amène à conclure à la nécessité d'un travail basé sur la sensibilité et la progressivité. Le simple fait de se trouver dans l'obligation d'étirer en même temps différents groupes musculaires organisés en « chaînes » inter-

dit d'appliquer une tension trop forte à chacun d'entre eux.

### ● Points clés

Un travail analytique peut être quantitatif.  
La globalité exige une action qualitative.

## Le travail causal

Il faut rappeler que les mécanismes d'adaptation et de défense sont fondamentalement automatiques. S'ils atteignent leurs objectifs, à savoir sauvegarder les fonctions essentielles tout en évitant la douleur, ils sont alors engrammés.

Ce qui revient à dire qu'une déformation morphologique peut être vécue comme normale.

C'est ainsi qu'un adolescent scoliotique a la sensation d'être parfaitement droit. Des mouvements limités ou compensés n'attirent pas forcément l'attention.

Il s'en suit que, par essence, une action rééducative est dérangeante lorsqu'elle prétend s'attaquer aux racines d'un problème.

Les mécanismes automatiques d'adaptation et de défense s'opposent à l'action thérapeutique causale.

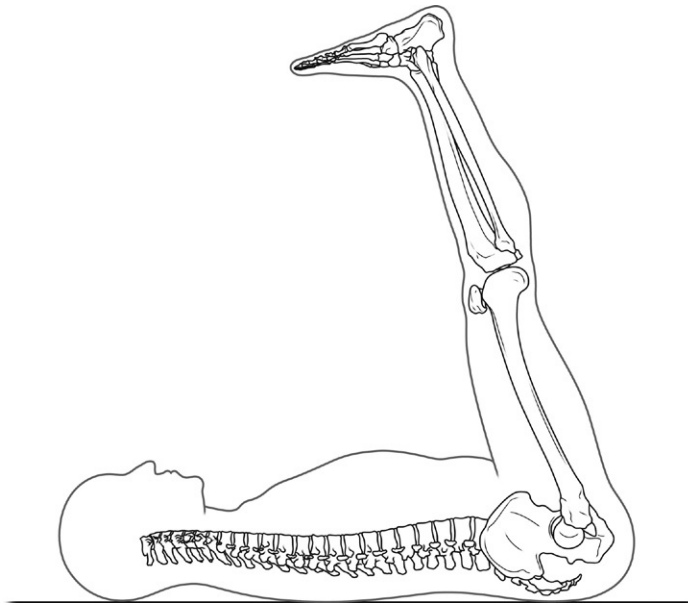
### ● Points clés

Il faut composer avec un appareil musculo-squelettique rebelle à sa propre correction.

## L'intention thérapeutique

Il est évidemment indispensable de porter une attention particulière à la pathologie présentée. En kinésithérapie, la majeure partie des patients souffre d'un problème douloureux. Sa résolution est alors prioritaire. La RPG, en cela, ne diffère pas des autres approches thérapeutiques. En cas de déformation morphologique, l'action corrective se porte particulièrement sur les segments les plus affectés.

Mais il a été dit que les altérations morphologiques macroscopiques et les lésions articulaires microscopiques sont intimement liées. Les dysmorphismes créent des problèmes articulaires qui peuvent devenir douloureux. Les lésions entraînent raideur, blocage et compensations morpho-



**Fig. 11-2.** Exemples d'amplitudes articulaires physiologiques, constituant l'objectif des postures.

logiques à l'origine d'autres pathologies articulaires (Fig. 11.3).

Une des premières exigences de la globalité au niveau musculo-squelettique est de corriger en même temps les problèmes micro-lésionnels et macro-morphologiques.

### ● Points clés

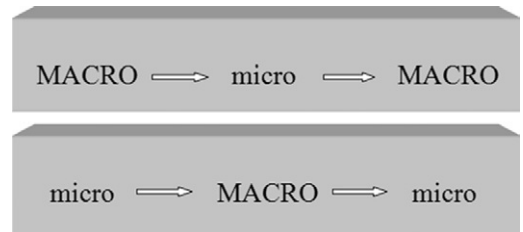
Quelle que soit la priorité, et il s'agit souvent de la douleur, la correction morphologique doit accompagner celle de la lésion.

Il s'agit là d'un principe clé qui doit être respecté en cours de séance. La pérennité du traitement en dépend.

L'intention thérapeutique varie naturellement en fonction de l'évolution de la situation pathologique.

## La position au début de la séance

Quelle que soit la posture de traitement choisie, la position de départ ne peut être que celle que peut accepter le patient sans effort et sans douleur. En fonction de l'importance de la pathologie, cette position peut être fort éloignée de la normale.



**Fig. 11-3.** Les micro-lésions articulaires et les macro-déformations morphologiques sont liées.

### ● Points clés

Tout est acceptable au départ.  
Théoriquement, rien ne l'est à l'arrivée.

## La douleur – l'apprivoisement

Quelle qu'en soit la progressivité, toute tentative d'allongement musculaire est désagréable. Par ailleurs, les lésions articulaires sont réfractaires à la correction qui, dans la quasi-totalité des cas, provoque la douleur. Les myalgies, les tendinites, sont hypersensibles à l'étirement.

La louable intention de résoudre les causes lésionnelles et morphologiques affectant l'appareil musculo-squelettique, doit donc prendre en considération les douleurs du patient et les désagréments inhérents au traitement.

## ● Points clés

La domination de la douleur est la condition nécessaire à l'évolution d'une posture de traitement.

L'application de moyens analgésiques palliatifs locaux étant exclue, l'apprivoisement des réflexes de défense est le maître mot présidant à toute séance de RPG.

## Dialogue avec le patient

Dans l'esprit de ce type de travail, l'analgésie ne peut venir que de la résolution du problème, qu'il s'agisse de la libération de l'articulation en lésion, du relâchement d'un muscle contracturé ou de gain d'amplitude articulaire. Cela signifie que le thérapeute doit demander à son patient de l'aviser dès l'apparition de la moindre douleur, afin d'arrêter la progression et de procéder à la correction. Il en est de même lorsqu'il s'agit d'une sensation d'étirement devenant pénible à supporter ou de quelque autre forme de symptomatologie.

Il peut être utile de convenir d'une notation de 1 à 10, ce qui permet d'adapter la correction à l'évolution de l'intensité des messages nociceptifs.

## La traction passive

Il n'est peut-être pas inutile d'insister sur le fait qu'un mouvement actif qualifié d'excentrique comme, par exemple, l'abduction des bras est dû,

en réalité, à une contraction musculaire concentrique. Lorsqu'il s'agit d'étirer des muscles enraidis au-delà de leur point de raideur, l'excentricité dépend de la main du thérapeute. Ceci commence dès que la traction manuelle produit un allongement d'un millimètre au-delà du point d'inextensibilité. Il est donc possible d'agir avec la plus grande délicatesse et en totale sécurité.

La mise en tension passive s'obtient par le progrès angulaire au niveau des articulations dont l'amplitude est limitée et par la traction axiale des muscles raccourcis.

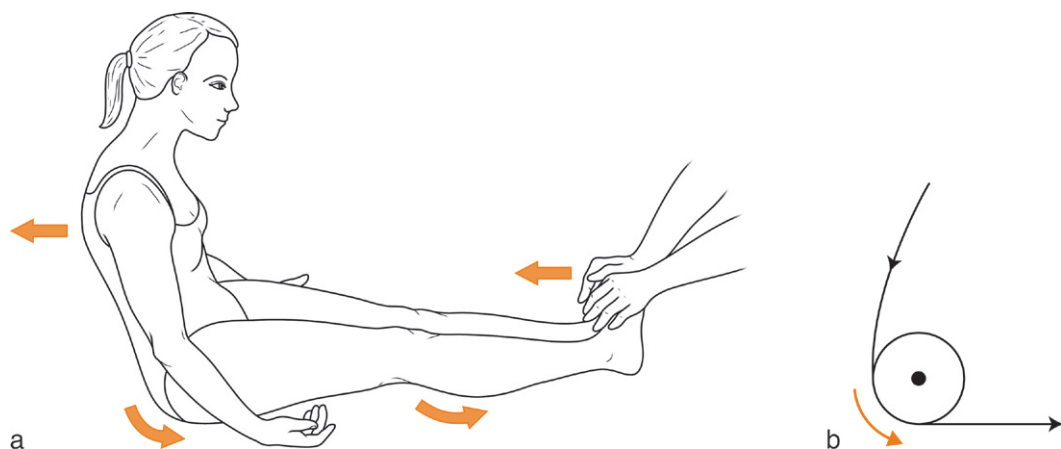
L'étirement diminue l'excitabilité des motoneurons (Moore et Hutton, 1980 ; Guissard et coll., 1988).

Gurfinkel a démontré en 2006 que l'étirement des muscles axiaux entraîne une diminution de l'activité des muscles étirés et une augmentation de celle des muscles antagonistes en accord avec les travaux de Sherrington.

## L'identification des compensations et leur contrôle

Deux exemples suffisent pour rendre compte du souci de globalité lors des étirements. Le premier concerne la « chaîne maîtresse postérieure ».

Une tentative d'allongement des muscles postérieurs des membres inférieurs entraîne une rétroversion du bassin et une compensation cyphotique lombaire (Fig. 11.4 a et b).



**Fig. 11-4.** a. La traction sur des gastrocnémiens enraidis se transmet aux ischio-jambiers, qui basculent le bassin en arrière. b. Le bassin fait office de poulie, la tension entraîne une cyphose lombaire.

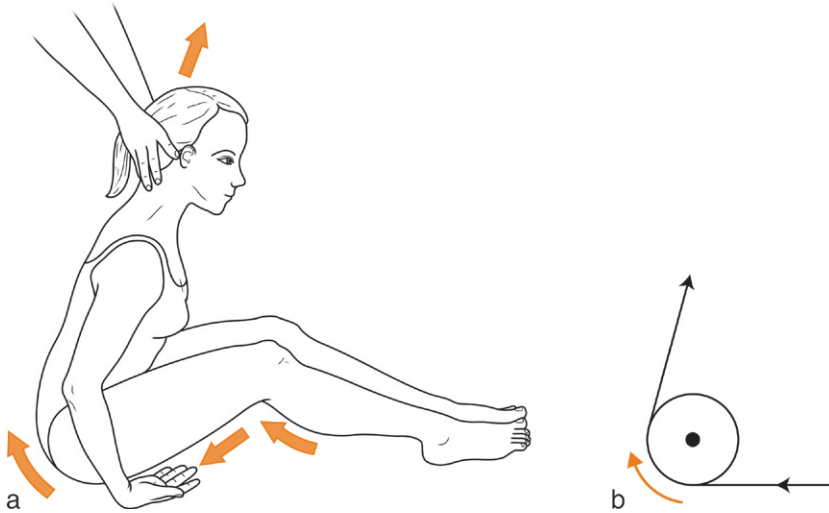
Inversement, la tentative d'allongement des spinaux antèrverse le bassin. Les ischio-jambiers plient alors les genoux. Les gastrocnémiens placent les pieds en équin (Fig. 11.5 a et b).

Dans un cas comme dans l'autre, des compensations sont apparues. L'exercice d'étirement ne sera efficace que si celles-ci sont corrigées (Fig. 11.6 a et b).

Un deuxième exemple simple illustre la nécessité de contrôle global des allongements. Il concerne, cette fois, la « chaîne maîtresse antérieure ».

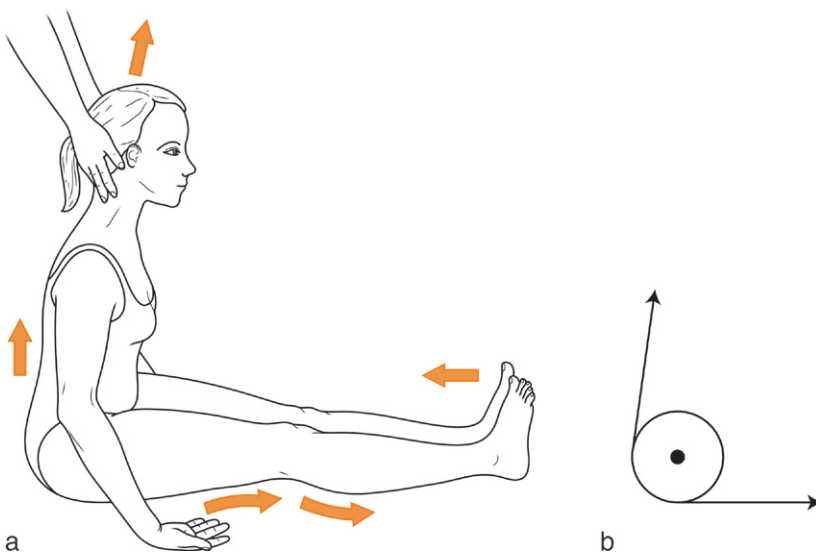
Une tentative d'étirement des adducteurs bascule le bassin en avant, lordose la colonne lombaire et élève le thorax (Fig. 11.7).

Pour être efficace, l'exercice d'étirement doit donc s'accompagner d'une délordose lombaire,

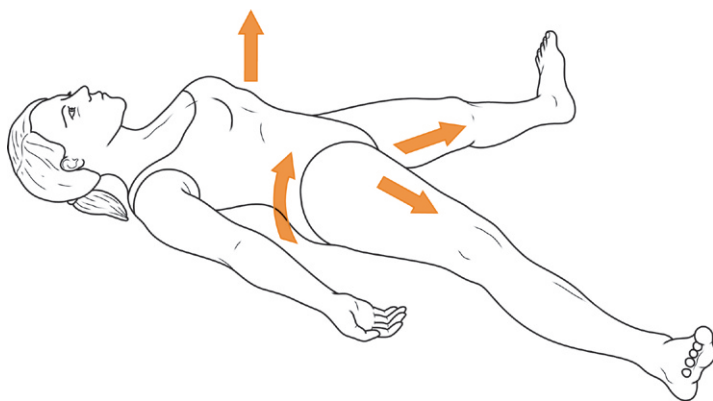


**Fig. 11-5.** a. La traction exercée sur les spinaux redresse le bassin. La tension se transmet aux ischio-jambiers et aux gastrocnémiens.

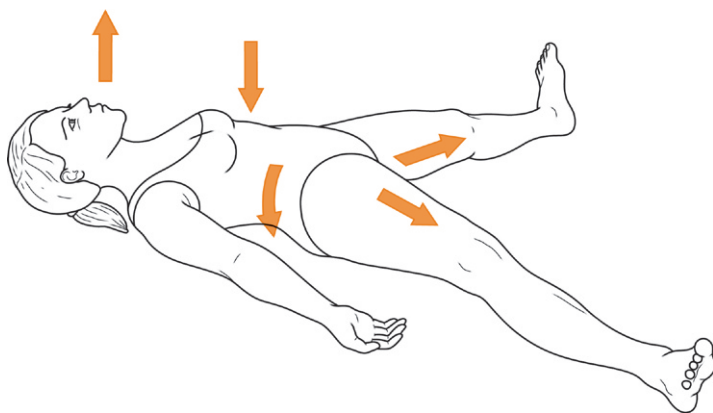
b. La poulie constituée par le bassin opère en sens inverse.



**Fig. 11-6.** a et b. Mise en tension de la « chaîne maîtresse postérieure » dans sa totalité.



**Fig. 11-7.** Une tentative d'allongement des adducteurs et du psoas-iliaque entraîne des compensations au niveau du bassin, des lombes et du thorax.



**Fig. 11-8.** Contrôle du pubis par les abdominaux et expiration thoracique profonde.

maintenue par l'action des abdominaux et d'une descente du thorax grâce à une expiration profonde, en général accentuée par l'action manuelle du thérapeute (Fig. 11.8).

## La décoaptation

L'obliquité des muscles dans différents plans de l'espace fait que les rétractions musculaires, qu'elles soient macro-morphologiques ou micro-lésionnelles, s'expriment, la plupart du temps, par une torsion articulaire.

Une fois le problème identifié, il convient de procéder manuellement à sa correction sans, pour autant, perdre la traction. Étant donné que la

rétraction musculaire entraîne un tassement articulaire, la traction passive doit être en mesure de produire une décoaptation.

Mais l'allongement passif ayant pour effet d'augmenter la tension au sein des muscles étirés, cette décoaptation doit précéder l'étirement et être maintenue pendant celui-ci.

C'est particulièrement indispensable en cas de discopathie, de lésion articulaire et même dans le traitement des scolioses, puisque la torsion vertébrale a pour effet d'excentrer le nucléus.

### ● Points clés

La décoaptation articulaire est le préalable à tout étirement musculaire. Son maintien conditionne l'efficacité de l'allongement et des corrections.

## Le temps

Laisser le temps au temps est fondamental.

- Cela permet de traiter les personnes les plus fragiles et les patients présentant les douleurs les plus sévères.
- Le temps est nécessaire à la mise en tension progressive de tous les éléments d'une « chaîne musculaire » concernée par la pathologie.
- On peut ainsi voir apparaître peu à peu les compensations les plus subtiles.
- Cela autorise de maintenir la décoaptation et de réaliser avec délicatesse les détorsions articulaires.
- Le temps de traction augmente l'allongement gagné par fluage et permet de diminuer la contrainte.
- Il s'accompagne d'une diminution de la résistance musculo-fibreuse à l'allongement, contrairement aux étirements rapides et répétés (augmentation de la raideur à partir de la dixième alternance, décrit par Magnusson et coll., 1998).
- Les propriétés mécaniques des tendons à la charge diminuent en fonction de la vitesse de l'application de celle-ci (Hersberg et coll., 1985). Le temps d'allongement permet donc d'éviter les risques d'accident à leur niveau.
- La lenteur des tractions permet d'éviter le déclenchement du réflexe myotatique direct.
- Les inhibitions synaptiques sont d'autant plus importantes que le temps de traction augmente (Guissard et coll., 2001).
- Enfin, ce n'est qu'à cette condition qu'il est possible de maintenir les douleurs et les sensations pénibles d'étirement au niveau le plus bas.

### ● Points clés

Tous les arguments convergent vers la nécessité d'appliquer ce type de traitement avec lenteur, délicatesse et progressivité.

## Les pauses

Elles sont indispensables, à défaut d'être souhaitables sur le plan de l'efficacité de l'allongement. Plus le temps de repos augmente entre deux phases d'étirement, plus la raideur musculaire s'accroît (Hufschmidt et Mauritz, 1985 ; Laki et Robson,

1988 ; Kilgore et Mobley, 1991). Il convient donc de ne pas les prolonger inutilement.

## La progressivité

On l'aura compris, le temps est un moyen et non une fin en soi. Au début d'un traitement, la vigilance des défenses automatiques du patient impose la patience. Au fur et à mesure de l'appropriation, le rythme de progression peut s'accélérer... jusqu'à ce que cette propre progression bute à nouveau sur la douleur ou sur une nouvelle frontière d'inextensibilité des tissus. C'est alors qu'entre en jeu la manualité, qui est un autre élément fondamental de la thérapie.

## La manualité

Elle doit remplir trois conditions, dans l'ordre chronologique : sentir, faire et obtenir.

Il faut qu'elle soit suffisamment insistante pour parvenir à décoapter les articulations et à faire relâcher les tensions musculaires. Cela impose d'adhérer suffisamment à la peau, pour produire une action en profondeur.

Lors d'une posture de traitement, la main du thérapeute doit intervenir là où elle est précisément nécessaire. Le patient maintient alors la position, ce qui permet au physiothérapeute RPGiste d'intervenir manuellement où il le désire (voir exemples en fin de chapitre).

Toujours dans l'optique de saturer peu à peu les défenses corporelles, le rythme de l'intervention manuelle est important. Les gestes brusques sont à proscrire.

### ● Points clés

La manualité permet un modelage, une sculpture sur le vivant.

## La contraction isométrique dans des positions de plus en plus excentrées

Cette contraction doit, en premier lieu, être de faible intensité. Les contractions isotoniques excentriques ou isométriques en position d'allongement,

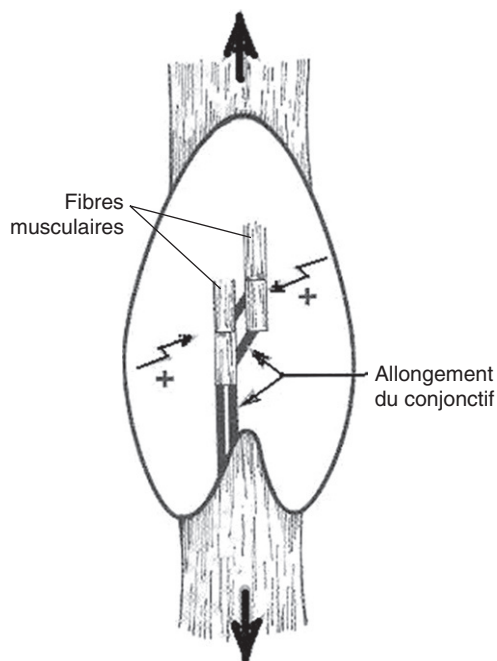
contre forte charge, peuvent provoquer des ruptures fasciculaires. Elles sont dangereuses (Clarkson et Newham, 1995).

Malgré leur intensité, elles n'augmentent pas la durée d'inhibition des motoneurones, même si elles sont maintenues dans le temps.

Elles sont par ailleurs inutiles, car la tension apparaît à des niveaux relativement bas d'une contraction musculaire maximum (Hoffer et Andreassen, 1981).

Ce travail actif semble répondre à toutes les exigences de correction qu'imposent les différents aspects physiopathologiques précédemment identifiés du système musculo-squelettique.

- L'allongement passif provoque un dépontage des filaments actine-myosine. La contraction tend à reponter mettant ainsi en traction les protéines élastiques intra-fibres.
- Les fibres musculaires, pour leur part, mettent en tension le tissu conjonctif associatif disposé en série et en parallèle (Fig. 11.9).
- L'augmentation de tension provoquée au niveau du tissu conjonctif focalise l'action du fluage.



**Fig. 11-9.** Contraction isométrique en position excentrée et allongement du tissu conjonctif du muscle.

Il est ainsi possible d'espérer une diminution de l'influence de la composante visqueuse et atteindre la plasticité des tissus inertes (conjonctif, collagène et protéines structurales), sans soumettre le muscle à des tractions quantitatives.

- La contraction isométrique dans des positions excentrées met en jeu les organes tendineux de Golgi. Ils inhibent le muscle étiré.
- Cette contraction musculaire, aussi qualitative qu'elle soit, ne peut que favoriser la création de sarcomères en série (principe de Goldspink).
- Les différentes plaques motrices et les fibres musculaires qui en dépendent sont mises en jeu en fonction de l'évolution de l'amplitude articulaire.
- Elle permet au patient d'auto-gérer la douleur.
- L'activité volontaire ciblée permet une réappropriation du contrôle musculaire.
- Au niveau cognitif, elle doit s'inscrire dans l'évocation d'un mouvement coordonné finalisé.
- Cette contraction doit être maintenue, au minimum, pendant trois secondes.
- Elle doit être synchronisée avec le moment d'expiration le plus profond.

### ● Points clés

La contraction isométrique de faible intensité dans des positions de plus en plus excentrées est, au même titre que la globalité des étirements et le fluage, une des bases de la Rééducation Posturale Globale.

## Le proprioceptif d'inhibition

Les étirements soutenus contre résistance active de basse intensité pratiqués en RPG permettent donc l'allongement des structures musculo-fibreuses rétractées en s'appuyant également sur des principes issus de la neurologie, à savoir, la mise en jeu du réflexe myotatique inverse.

### ● Points clés

La Rééducation Posturale Globale est une méthode proprioceptive d'inhibition.

Mais il est évident que l'inhibition des actions frénatrices a également pour effet la libération du mouvement.



La correction des raccourcissements fibromusculaires permet :

- la récupération des amplitudes articulaires physiologiques ;
- une amélioration du rapport des forces aux allongements, donc de la force active des muscles antérieurement raccourcis ;
- l'augmentation de l'élasticité, donc de la restitution de la force passive ;
- une ré-harmonisation des relations musculaires antagonistes ;
- une économie d'énergie au niveau des muscles antagonistes complémentaires ;
- une réorganisation du système somato-sensoriel et réflexe sur des nouvelles bases.

### ● **Points clés**

Le proprioceptif d'inhibition est également un moyen d'accéder à la facilitation du mouvement.

## **Travail actif et apprentissage**

Ce n'est qu'au travers d'une action participative que le patient peut aboutir à une réappropriation de son système somato-sensoriel et moteur sur des bases s'approchant de la normalité.

L'évolution progressive de la mise en tension fait inmanquablement apparaître des compensations répétitives. Leurs corrections doivent l'être tout autant.

La répétition des phases essai-erreur, par son effet comparatif, est indispensable à l'apprentissage.

## **L'expiration**

Nous avons vu que la fonction inspiratoire utilise des muscles qui lui sont propres mais qui s'inscrivent également au sein de différentes chaînes de coordination neuromusculaire.

Lorsqu'il s'agit de résoudre la composante musculaire d'une pathologie respiratoire, il peut donc être nécessaire d'employer toutes les familles de postures de traitement.

L'ouverture d'angle coxo-fémoral permet l'allongement des inspireurs antérieurs et surtout du système de suspension du diaphragme. La ferme-

ture de l'angle coxo-fémoral est plus efficace au niveau des spinaux, le resserrement des bras pour les inspireurs nucaux et scapulaires ; l'abduction des bras l'est en particulier pour le grand pectoral.

Étant donné que la « chaîne inspiratoire » utilise des muscles qui font partie d'autres « chaînes », cela signifie également qu'il ne sera possible d'allonger efficacement chacune de celles-ci que si l'on corrige le blocage inspiratoire qui est une des expressions de leur raccourcissement.

Quelle que soit la posture employée, l'expiration doit être suffisamment profonde et prolongée, pour dépasser le point de raideur des inspireurs. Le thérapeute doit donc insister manuellement sur la descente du thorax en fin d'expiration et principalement sur les parties de celui-ci les plus bloquées en inspiration.

L'allongement du système musculo-fibreux médiaspinal suspenseur du centre phrénique ne peut être obtenu efficacement que grâce à des expirations paradoxales. Il faut entendre par cette expression un abaissement volontaire du diaphragme par l'action des nerfs phréniques, alors que le thérapeute maintient manuellement une traction axiale excentrique au niveau des insertions supérieures (tête et cou) de ce système suspenseur<sup>10</sup>.

### ● **Points clés**

Les postures de traitement insistent toujours sur l'approfondissement de l'expiration.

## **Les quatre piliers du traitement – La sommation des effets**

### ● **Points clés**

Cette méthode thérapeutique additionne des actions dont la justification est issue de domaines appartenant à la physiologie musculaire (globalité des étirements et création de sarcomères en série), à la neurologie (réflexe myotatique inverse) et à la physique des matériaux élastiques (fluage). Il est donc possible d'en attendre un effet cumulatif optimisant le résultat obtenu par chacune d'entre elles.

10 Du même auteur, *La Respiration*, Éd. Le Pousoë, 1987.



## Les spinaux

Leur allongement justifie un paragraphe particulier, même si celui-ci n'a pour intention que d'aborder, de façon très résumée, leurs compensations sagittales et leurs corrections<sup>11</sup>.

Si l'on reprend l'exemple de fermeture d'angle coxo-fémoral du paragraphe d'identification des compensations, il est évident que la création d'une cyphose lombaire lors des étirements des ischio-jambiers a déjà été observée en physiothérapie comme dans le monde du sport. Son contrôle fait

11 Les compensations pluridimensionnelles ont été traitées dans le livre *Les Scolioses*, du même auteur, Éd. Masson, 2003.

partie du quotidien des assouplissements des danseurs, gymnastes, athlètes...

Mais l'activation des muscles spinaux, nécessaires au maintien de la rectitude lombaire, est récupérée en lordose dorsale.

Une traction exercée à partir de la tête est également compensée en rectification dorsale et élévation du thorax. Dans un cas comme dans l'autre, les spinaux ne sont pas étirés (Fig. 11.10).

### ● Points clés

Le respect des courbures physiologiques, ainsi que l'alignement de la région médiodorsale avec l'apex du sacrum et l'occipital, est indispensable à l'étirement des muscles spinaux (Fig. 11.11).

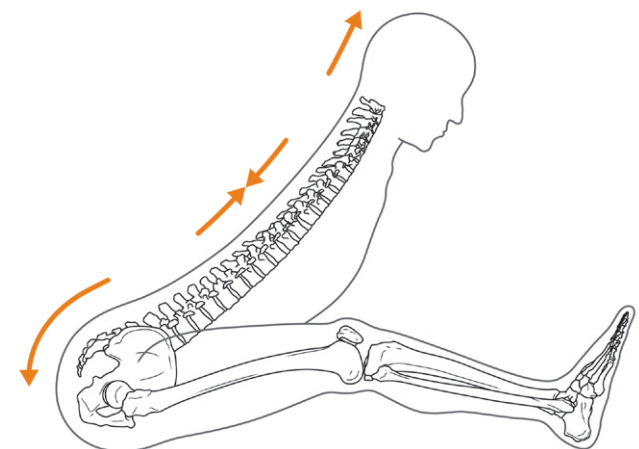


Fig. 11-10. La mise en traction des spinaux lombaires et nucaux tend à effacer la cyphose dorsale.

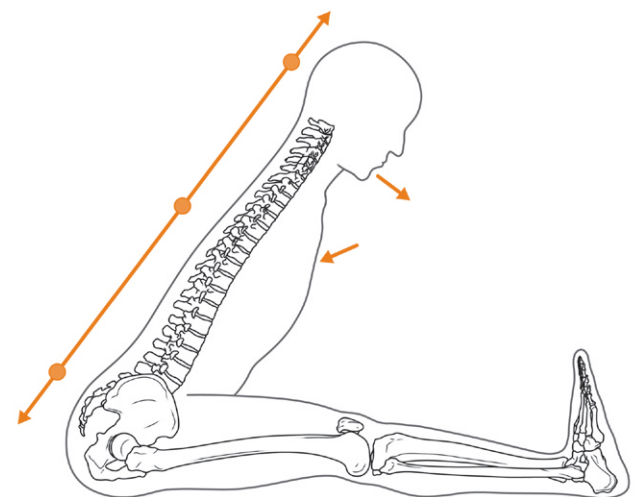


Fig. 11-11. En fermeture comme en ouverture d'angle coxo-fémoral, la traction axiale opérée manuellement par le thérapeute doit s'accompagner d'une récupération des courbures vertébrales physiologiques et de l'alignement des trois points.

Pour maintenir ou retrouver une cyphose dorsale normale lorsque celle-ci tend à s'effacer, la posture doit s'accompagner d'une expiration profonde réclamant, la plupart du temps, une insistance manuelle de la part du thérapeute sur le thorax supérieur.

## De la globalité à l'efficacité analytique

Un allongement raisonné des muscles postérieurs des membres inférieurs ne peut se résumer à la correction d'une éventuelle cyphose lombaire lors des flexions coxo-fémorales genoux tendus.

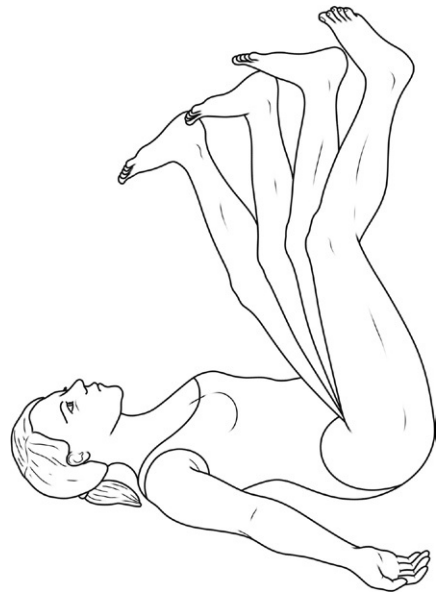
La biomécanique indique que, si le triceps sural, dans son ensemble, provoque l'équin du pied, le soléaire quant à lui est extenseur de la jambe, tandis que les gastrocnémiens sont fléchisseurs du genou. Le grand fessier et les pelvitrochantériens d'une part, les ischio-jambiers d'autre part, opèrent la rétroversion du bassin. Mais les premiers sont extenseurs du fémur, tandis que les seconds sont fléchisseurs du genou.

La mise en tension de l'ensemble de ces quatre groupes suppose donc la dorsiflexion du pied, l'extension du genou et la flexion coxo-fémorale (Fig. 11.12).

Mais en fonction de l'intention thérapeutique, l'allongement du soléaire et de l'ensemble grand fessier-pelvitrochantériens demande de privilégier la dorsiflexion des pieds et la flexion coxo-fémorale, avec contrôle de la région lombaire, sans insister de façon exagérée sur l'extension des genoux.

À l'inverse, l'étirement des gastrocnémiens et des ischio-jambiers réclame en plus de la dorsiflexion du pied, de la flexion coxo-fémorale et du contrôle du bassin, une insistance particulière sur l'extension des genoux sans toutefois en accepter le recurvatum.

Il ne s'agit là que d'un exemple. Cette complexité se retrouve à tous les niveaux et est observable dans tous les plans de l'espace. Mais l'observation alliée à la connaissance de l'anatomie et de la physiologie musculaire permet non seulement d'établir une tension globale en cours de posture comme d'agir avec plus d'efficacité au niveau de tel ou tel segment.



**Fig. 11-12.** Étirement des muscles postérieurs des membres inférieurs, par la dorsiflexion du pied, l'extension du genou, la flexion coxo-fémorale, l'appui du bassin au sol et le contrôle de la rectitude lombaire

### ● Points clés

Au sein d'une mise en tension progressivement globale il est possible d'insister spécifiquement sur les muscles les plus rétractés.

## La position assise

Elle est emblématique des problèmes que ne manquent pas de poser les positions maintenues durablement et les activités répétitives. Elle permet également de démontrer, de la façon la plus claire, à quel point une position apparemment facilement caractérisable dépend de différentes « chaînes musculaires », combien elle peut affecter leur longueur et nécessiter un traitement plus complexe que celui auquel on pourrait s'attendre.

La position assise, surtout lorsqu'elle s'accompagne d'attention visuelle, revêt un caractère « foetal », dans la mesure où elle crée un enroulement antérieur. La flexion coxo-fémorale maintenue favorise la rétraction des muscles psoas-iliaque et adducteurs du pubis, la projection de la tête vers l'avant,

celle de tous les muscles antérieurs du cou (Fig. 11.13).

C'est dans son ensemble la « chaîne maîtresse antérieure » qui se trouve raccourcie.



Fig. 11-13. Les inconvénients de la position assise.

Cela requiert des postures en ouverture d'angle coxo-fémoral, éventuellement associées à des écartements des bras (Fig. 11.14 et 11.15).

Mais si en position assise, de par la flexion des genoux, ni les gastrocnémiens ni les ischio-jambiers ne sont mis en tension, par contre les grands fessiers et les pelveschio-trochantériens le sont, à cause de la flexion coxo-fémorale. En cas de raideur, ils postériorisent le bassin et cyphosent la région lombaire. La tête doit alors compenser par une projection antérieure.

Une bonne longueur des muscles postérieurs de la hanche est donc, non seulement, nécessaire pour éviter les lombalgies dues à la cyphose de la position assise, mais également pour éviter la propulsion de la tête en avant et la rétraction des muscles antérieurs du cou qui s'en suit.

Les positions assises qui entraînent une cyphose lombaire nécessitent donc également des postures de fermeture d'angle coxo-fémoral, insistant sur l'allongement des muscles grands fessiers et pelveschio-trochantériens.

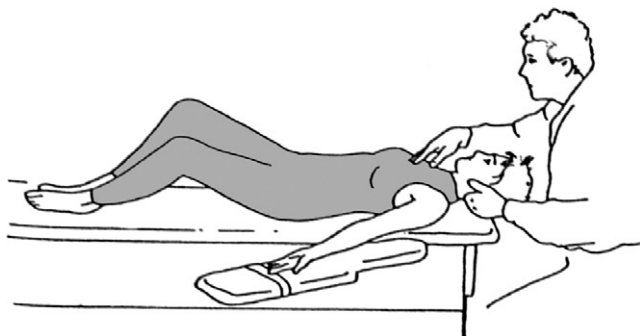


Fig. 11-14. Modèles de postures utilisées pour remédier aux méfaits de la position assise.

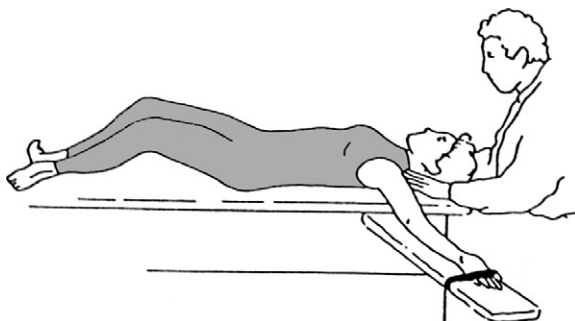


Fig. 11-15. Modèles de postures utilisées pour remédier aux méfaits de la position assise.

## Les dysfonctionnements qualitatifs et la nécessité de leur correction

En fonction du tableau clinique présenté ou des révélations qu'occasionnent les mises en globalité, l'intention thérapeutique peut amener à opérer des corrections extrêmement délicates : problèmes crânio-cervicaux en relation avec les muscles moteurs oculaires, pathologies des doigts de la main, de la plante du pied. Dans ce cas, l'importance des compensations qui se créent immédiatement et qu'il convient, bien évidemment, de corriger conjointement, démontre à quel point le système neurophysiologique musculaire possède une coordination hiérarchiquement finalisée se manifestant par une très grande qualité fonctionnelle au niveau de la tête et des extrémités des membres.

Les déséquilibres tensionnels des muscles moteurs oculaires créent immédiatement des compensations céphaliques et cervicales spectaculaires (Fig. 11.16 a et b<sup>12</sup>).

L'extension des poignets et des doigts associée à l'abduction du pouce entraîne une rotation

externe du membre supérieur très importante, en accord avec la facilitation de coordination gestuelle d'ouverture de la main pour donner un objet (Fig. 11.17 a et b<sup>13</sup>).

En fin de posture d'ouverture d'angle coxo-fémoral en décubitus, le fait d'axer la tête du premier métatarsien dans le plan vertical, plaçant ainsi l'ensemble de la plante du pied dans la situation physiologique qui est la sienne en position d'appui au sol, provoque une forte rotation interne des membres inférieurs. Elle confirme la prépondérance, en coordination statique, de l'adduction-rotation interne lors de la station érigée (Fig. 11.18 a et b<sup>14</sup>).

Il convient donc d'être très attentif aux déséquilibres statiques et aux dysfonctionnements dynamiques qualitatifs des muscles moteurs oculaires, de ceux de la main et du pied. Leurs pathologies sont lourdes de conséquences.

### ● Points clés

En cours de posture, il est fréquent de devoir opérer de très fines corrections au niveau crânio-cervical, de la main ou du pied, soit parce que des dysfonctionnements à ce niveau font partie du cadre clinique, soit parce qu'ils sont affectés par l'évolution de la mise en tension.

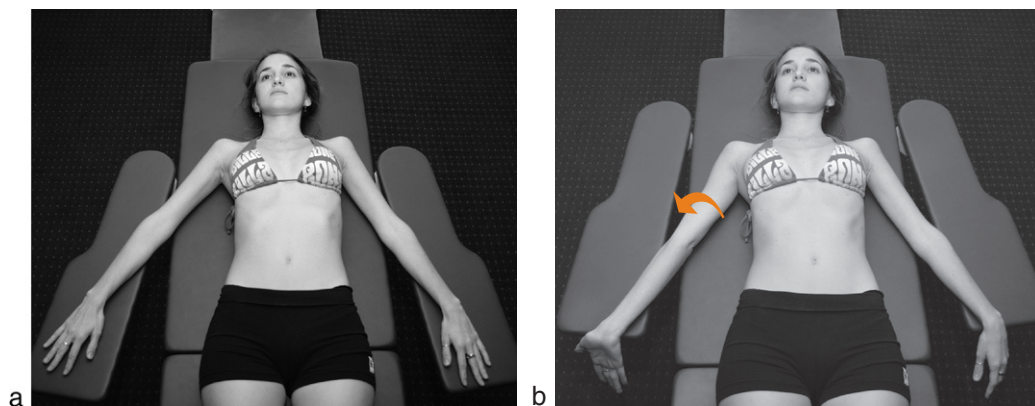
12 Photographies : cours de RPG - Buenos Aires, août 2010.

13 Idem.

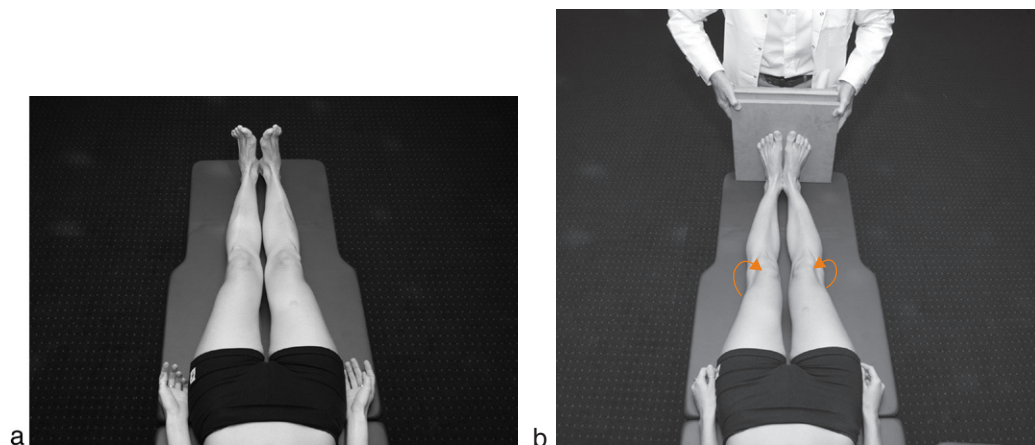
14 Photographies : cours de RPG - Buenos Aires, août 2010.



Fig. 11-16. a. Mouvement oculaire sans compensation. b. Mouvement oculaire avec compensation de la tête et du cou.



**Fig. 11-17.** a. Axation normale de l'humérus en rotation. b. Rotation externe de l'humérus lors de l'extension du poignet et des doigts et de l'abduction du pouce.

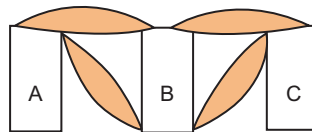


**Fig. 11-18.** a. Le positionnement des genoux en bonne rotation crée une compensation en supination des pieds. b. L'appui correct des pieds entraîne une forte rotation interne des genoux.

## Modélisation de l'ordre de correction en cours de séance

Cette modélisation schématique ne peut évidemment rendre compte de la pluridimensionalité des pathologies musculo-squelettiques. Elle ne donne qu'une idée générale de la chronologie habituelle d'évolution d'une séance.

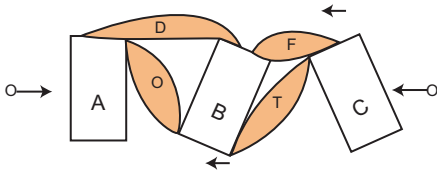
La [figure 11.19](#) représente trois segments osseux A, B, C et les muscles qui les sous-tendent, dans leur disposition agoniste et antagoniste normale.



**Fig. 11-19.** Situation normale.

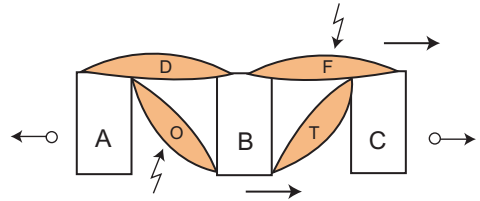
La [figure 11.20](#) symbolise une déformation morphologique.

En cas de lésion articulaire, matérialisée par le point de contact entre l'os A et l'os B, les inter-



**Fig. 11-20.** Déformation morphologique.

A : os de référence. O : muscle rétracté offensif. D : Muscle défensif. T : muscle transmetteur. F : muscle fixateur.



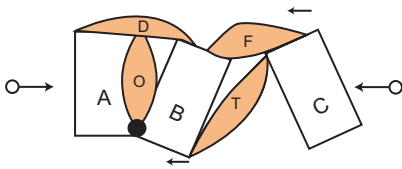
**Fig. 11-24.** Contraction isométrique en position excentrée du muscle offensif O, puis du muscle fixateur F.

actions musculaires sont schématiquement les mêmes (Fig. 11.21).

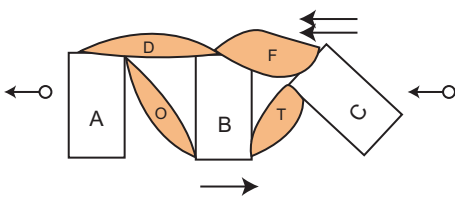
La figure 11.22 montre le maintien de l'os de référence A, associé à la correction passive de l'os B. Celle-ci entraîne la compensation de l'os C.

Maintien de A et correction simultanée de B et C, en décoaptation (Fig. 11.23).

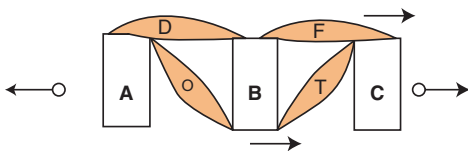
La figure 11.24 représente la contraction isométrique en position excentrée du muscle offensif O et du muscle fixateur F.



**Fig. 11-21.** Lésion articulaire.



**Fig. 11-22.** La correction manuelle de l'os B met en tension passive le muscle offensif O mais provoque une compensation de l'os C, due au muscle fixateur F.



**Fig. 11-23.** Correction manuelle de l'os C. Allongement passif du muscle F. Maintien de la traction axiale et de la décoaptation.

## Indications thérapeutiques

La Rééducation Posturale Globale s'adresse à toutes les pathologies du ressort de la physiothérapie.

## Problèmes morphologiques

Il s'agit de la vocation première de la RPG, qui s'applique à tous les dysmorphismes, de la colonne vertébrale ou des membres.

## Lésions articulaires

Tous les problèmes articulaires de caractère mécanique doivent être traités conjointement à la morphologie. Les cervicalgies et les lombalgies, s'accompagnant ou non de discopathies, sont les pathologies le plus fréquemment rencontrées.

## Problèmes post-traumatiques

Que ceux-ci aient donné lieu à immobilisation ou non, ils s'accompagnent de rétractions musculaires et de limitations d'amplitudes articulaires qui doivent être corrigées.

## Pathologies neurologiques spastiques

Elles constituent l'archétype des pathologies rétractiles organisées.



## Pathologies respiratoires

Quelle que soit leur étiologie, elles se manifestent mécaniquement par un blocage respiratoire qui réduit les échanges.

## Durée et rythme des séances

Chaque séance de RPG comporte, en général, deux postures d'une durée d'environ une demi-heure chacune, entrecoupées de périodes de repos. Tout dépend, en dernier ressort, du patient et de la pathologie présentée. Ces séances sont évidemment individuelles.

Lorsqu'il s'agit de rééducation (dysmorphismes, pathologies neurologiques, post-traumatiques ou respiratoires), le rythme est, en général, hebdomadaire.

Dans le cas de problèmes douloureux ou de risque évolutif rapide de la pathologie, les séances peuvent être renouvelées plusieurs fois par semaine, sans inconvénient.

## Cas spécifiques

Certaines rétractions concernent le tissu conjonctif périarticulaire ou cutané. Les rétractions s'y manifestent de façon encore plus importante qu'au niveau du tissu musculo-fibreux.

Lors de la mise en tension, la résistance apparaît en premier lieu à leur niveau. Cela ne rend que

plus précieux la lenteur des étirements, les décoaptations et le fluage.

## Réactions et limites

Il est parfois possible de noter des légères réactions de type parasympatricotoniques.

Les limites sont celles de la physiothérapie.

## Arrêt de traitement

Au nom de la recherche de la perfection, un traitement pourrait être maintenu indéfiniment... entraînant des abus qui sont connus. Une bonne thérapie se doit non seulement d'être efficace mais également, dans la mesure du possible, rapide et définitive. Si ce n'est pas le cas, elle doit être modifiée ou substituée.

Lorsque le cadre clinique est corrigé, la morphologie améliorée et stabilisée, le traitement peut être interrompu. En fonction des circonstances, des contrôles périodiques doivent être organisés. Ils sont particulièrement précieux dans les cas de pathologies neurologiques spastiques, qui ont tendance à régresser et quand il s'agit de scolioses d'adolescents, qui s'aggravent spontanément, surtout en période pré-pubertaire.

Dans les commentaires faits au patient, aucun cadre ne doit être noirci de façon injustifiée.

## Exemples de positionnements et d'interventions manuelles du thérapeute, en fonction des besoins et des postures<sup>15</sup>



**Fig. 11-25.** Traction de l'occipital et de la nuque, main en opposition sur le thorax, en ouverture d'angle coxo-fémoral, bras serrés.



**Fig. 11-26.** Correction de cervicales dans la même posture.

<sup>15</sup> Photographies : *Centro di rieducazione posturale globale, Casa di cura Pio XI, Rome.*





**Fig. 11-27.** Correction de l'enroulement de l'épaule avec traction de nuque.



**Fig. 11-28.** Correction cervico-scapulaire.



**Fig. 11-29.** Décoaptation scapulo-humérale et traction axiale du bras, dans un syndrome d'impact.



**Fig. 11-30.** Correction de l'épaule, du coude, du poignet et des doigts, en adduction des bras.



**Fig. 11-31.** Décoaptation lombaire par pompage du sacrum – contrôle de la région lombaire.



**Fig. 11-32.** Correction lombaire, en décoaptation par pompage du sacrum.



**Fig. 11-33.** Mise en tension des adducteurs pubiens avec contrôle lombaire.



**Fig. 11-34.** Correction des pieds en équin avec contrôle du genou.



**Fig. 11-35.** Étirement du droit fémoral, pieds en équin, avec contrôle de la lordose lombaire par propulsion du pubis.



**Fig. 11-36.** Traction-décoaptation des vertèbres dorsales permettant éventuellement la détorsion en cas de scoliose.



**Fig. 11-37.** Décoaptation scapulo-humérale, en posture de bras en abduction.



**Fig. 11-38.** Correction de l'épaule, du coude, du poignet et des doigts, en abduction des bras.



**Fig. 11-39.** Décoaptation lombaire par pompage du sacrum, en fermeture d'angle coxo-fémoral, bras serrés.



**Fig. 11-40.** Correction de la rotation des genoux, en fermeture d'angle coxo-fémoral, pieds en dorsiflexion.



**Fig. 11-41.** Correction des pieds en fermeture coxo-fémorale.

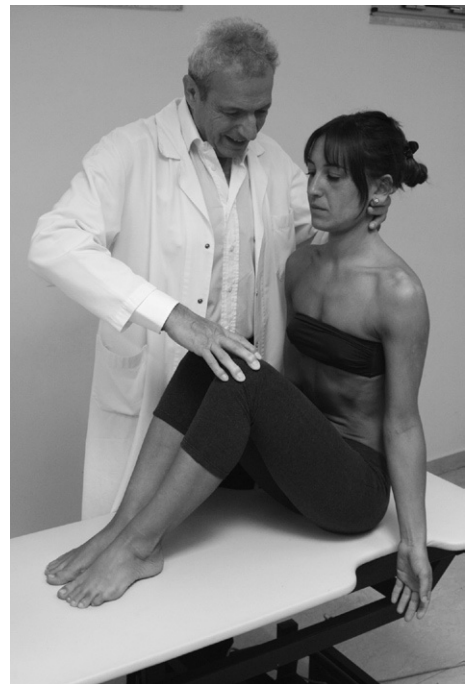




**Fig. 11-42.** Traction de la nuque, main en opposition sur le thorax, en fermeture d'angle coxo-fémoral, bras en abduction.



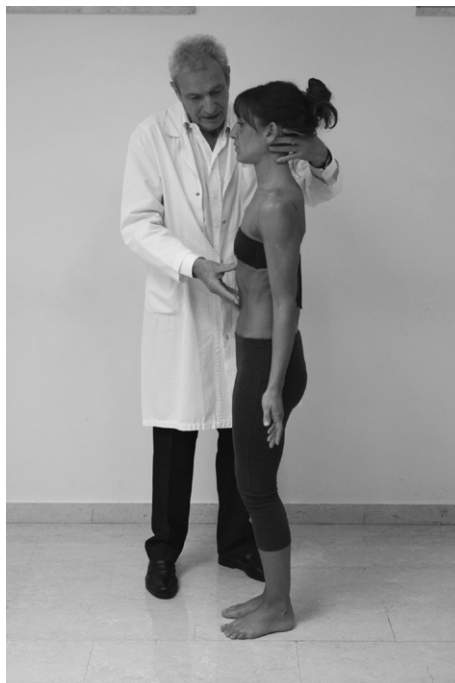
**Fig. 11-43.** Traction des spinaux à partir de la tête, associée à une correction de la rectification dorsale, en posture assis.



**Fig. 11-44.** Posture assis avec resserrement des genoux – variante pelvitrochantériens.



**Fig.11-45.** Traction axiale à partir de la tête, dans la posture debout contre le mur.



**Fig. 11-46.** Traction à partir de l'occipital, avec correction de l'hyperlordose lombaire, posture debout au milieu.



**Fig. 11-47.** Décoaptation et correction lombaire dans la posture penché en avant.



**Fig. 11-48.** Traction à partir de la tête, dans la posture debout penché en avant.

# Chapitre 12

## L'intégration des résultats

### Proprioceptivité – Posture et Mouvement

---

Les messages transmis par les mécanorécepteurs sont utilisés aussi bien dans les activités gestuelles volontaires que dans le maintien automatique de la posture.

Or, si les nocicepteurs sont discriminatifs au regard de la pathologie, les fuseaux neuromusculaires et les organes tendineux de Golgi transmettent en temps réel des informations sur des modifications de longueur ou de tension à partir de situations d'origine auxquelles ils sont capables de s'adapter, qu'elles soient physiologiques ou pathologiques.

En effet, la co-activation fibre musculaire-fuseau entraîne que leur longueur, donc leur éventuel raccourcissement, évolue de façon conjointe.

Par ailleurs, la tension musculaire dont rendent compte les organes tendineux de Golgi n'augmente pas si le raccourcissement d'un muscle a donné lieu à une désaxation segmentaire stabilisée.

Le système nerveux central fixe alors le niveau de feed-back dont il a besoin pour accomplir ses tâches, à partir d'informations ne correspondant plus à la normalité. Un cercle vicieux est créé.

#### ● Points clés

La proprioceptivité est omniprésente et dépendante de ses sources.

### Posture et automaticité

---

Après l'application d'un traitement, ce n'est donc que lorsque les rétractions musculaires ont été corrigées et que la modification posturale peut être maintenue sans intervention de la volonté et

en accord avec les règles des mécanismes de défense, qu'il devient possible d'envisager qu'elle soit engrammée.

Aussi précieuse que soit la participation active du patient en cours de séance et indispensables les contractions musculaires isométriques, elles ne sont qu'un moyen provisoire d'atteindre les objectifs fixés.

#### ● Points clés

La gestion de la posture est indépendante de la volonté. Rien de nouveau ne peut être enregistré au niveau des centres de contrôle qui n'ait été préalablement corrigé.

### Geste et contrôle volontaire

---

Les informations fournies par les mécanorécepteurs sur la disponibilité de l'appareil musculo-squelettique à produire un geste doivent également passer par le filtre des mécanismes d'adaptation et de défense.

Un mouvement ne peut s'effectuer normalement s'il est freiné ou douloureux.

#### ● Points clés

La coordination gestuelle dépend également de la résolution préalable des dysfonctionnements musculo-articulaires.

Qu'il s'agisse d'altération de la posture ou du mouvement, un traitement ne peut être qualifié de « proprioceptif » que si les éléments musculo-articulaires à la base de ces informations proprioceptives sont corrigés.

Dans tous les cas, le principe de causalité est récurrent.



## Les causes de retard à l'intégration

---

Outre le fait que le problème causal n'est pas résolu, divers inconvénients sont identifiables.

### Conscience corporelle

Certains patients présentent préalablement des difficultés lorsqu'il s'agit de coordination fine.

### La chronicité

Plus une pathologie est ancienne, plus elle est évidemment engrammée.

### La persistance d'une frontière de douleur

Après une séance de traitement, il est fréquent de constater le progrès angulaire d'une articulation douloureuse sans qu'il ait été possible de libérer la totalité de son amplitude. Le mouvement est encore sanctionné par une douleur à un autre niveau.

Dans ce cas, le principe de précaution des mécanismes de défense impose une position antalgique ou un arrêt du mouvement à une distance respectueuse de la frontière de la douleur.

L'intégralité du progrès constaté ne sera pas maintenue d'une séance à l'autre.

### Les résultats spectaculaires

Plus les progrès sont notables entre le début et la fin de la séance, plus ils peuvent poser problème en vue d'une intégration immédiate.

### Les spécifications fonctionnelles

Les objectifs fonctionnels ont été identifiés et amplement développés dans les chapitres précédents. Il en ressort une cohérence absolue de l'ensemble du système neuromusculaire mais aussi

une hiérarchisation des fonctions et de la richesse des informations qui y sont attachées.

La finalité de la bipédie, matérialisée par l'horizontalité du regard et l'appui du pied au sol, bénéficie des informations visuelles, vestibulaires et proprioceptives nucales d'une part, et des nombreux récepteurs plantaires d'autre part.

La main, aboutissement du geste, est particulièrement riche en récepteurs tactiles (sensibilité thermique et à la douleur de la pointe des doigts).

D'autres segments corporels ont des spécifications moins élaborées et ne véhiculent que des informations proportionnées à leur fonction.

Nous avons vu que leurs pathologies sont moins lourdes de conséquences. Elles n'en sont que plus facilement acceptées.

C'est ainsi que des adolescents hyper-cyphotiques se retrouvent en rupture d'information et de contrôle au niveau du rachis dorsal et peuvent se montrer incapables d'effectuer une postéro-flexion dorsale, même en l'absence de toute douleur.

En fin de séance, quelques minutes consacrées aux intégrations peuvent donc être nécessaires.

Suivant le type de la pathologie, elles sont dynamiques ou statiques.

Il ne faut pas perdre de vue que la RPG a pour but d'inhiber les inhibitions que constituent les rétractions musculo-fibreuses. En dernier ressort, l'objectif est donc de libérer les mouvements et de récupérer la force active et passive des muscles anciennement raccourcis.

Les intégrations sont un bon moyen de contrôler les progrès. Leur effet psychologique n'est pas négligeable et elles sont le premier pas sur la voie de la mémorisation.

## Intégrations dynamiques

---

### Objectif

Permettre au patient de réaliser et reproduire le mouvement physiologique désiré, dans un geste global finalisé, de grande vélocité.

## Estimation de fin de traitement

La nécessité de l'intégration s'évalue en fonction des éventuelles causes de retard rencontrées.

Le geste sélectionné doit être d'usage courant, ce qui peut nécessiter un choix d'exercices personnalisés.

## Progression

Des aides extéroceptives sont acceptables au départ :

- auto-observation devant un miroir ;
- sollicitation manuelle du thérapeute ;
- etc.

Ces aides doivent être abolies au fur et à mesure. Le geste souhaité doit se réaliser sans douleur et sans compensation. La progression ne peut s'effectuer qu'en fonction de la capacité du patient à contrôler son propre mouvement. L'accélération du rythme permet de diminuer l'importance du contrôle cortical.

## Répétitions personnelles

Elles sont évidemment souhaitables, au rythme de quelques minutes par jour.

Les autopostures de RPG permettant de pérenniser les résultats seront traitées dans la quatrième partie.

## Intégrations statiques

---

### Objectif

Elles doivent permettre d'obtenir la posture la plus proche possible du résultat espéré, sans effort du patient et avec sensation d'équilibre confortable.

## Évaluation de fin de traitement

Le patient en position debout ou assis doit montrer une posture en accord avec les objectifs fixés en début de séance. Si ce n'est pas le cas, ou si le patient ne se sent pas parfaitement bien dans cette position, une intégration de quelques instants doit avoir lieu.

## Choix des positions d'intégration

L'intégration se fait patient debout, assis ou dans les deux positions, en accord avec l'importance des problèmes posturaux présentés initialement, dans un cas ou dans un autre.

## Progression

Le thérapeute procède à un balancement manuel correctif très délicat des segments vertébro-thoraciques présentant encore des difficultés. Le déséquilibre pondéral d'appui occasionné est récupéré en demandant au patient de rééquilibrer la pression au niveau de ses plantes du pied ou des ischions.

L'évolution se fait :

- devant le miroir ;
- sans le miroir ;
- yeux fermés.

Si la main du thérapeute rencontre une résistance, cela traduit la présence de rétractions musculaires non corrigées. L'intégration est inutile au-delà de cette frontière.

Ce balancement se répète, en général, trois fois au maximum. Il est suivi d'une nouvelle observation et d'un nouveau questionnement du patient sur le confort de sa position.

## Analyse des insuffisances des résultats

---

Qu'il s'agisse de problème de rééducation post-traumatique, neurologique ou respiratoire, de traitement de douleurs musculo-articulaires ou d'altération de la posture, les causes de l'échec d'une séance sont basiquement de trois types.

Dans l'ordre d'importance :

- la cause n'a pas été résolue ;
- le choix de posture de traitement n'est pas le bon ;
- la mise en globalité et/ou le travail actif ont été insuffisants.

La suite du traitement doit, bien entendu, être ajustée en fonction de cette analyse critique.

# Chapitre 13

## **Les autopostures de la Rééducation Posturale Globale** **Principes et applications** **du Stretching Global Actif SGA**

### **Définition**

---

Les autopostures de la RPG, comme leur nom l'indique, se pratiquent sans l'intervention manuelle du physiothérapeute. Elles ne sont donc pas thérapeutiques. Elles ont pour rôle la prévention, l'entretien et la préparation physique.

De façon à éviter toute confusion, elles ont donc été regroupées sous le vocable de Stretching Global Actif.

Cette expression a en outre pour but de mettre immédiatement en évidence les deux principales originalités de ces autopostures dérivées de la RPG : la globalité des étirements et la résistance que le pratiquant doit opposer à ceux-ci.

La validité d'une méthode de stretching se mesure évidemment à l'aune des allongements obtenus mais également, d'une façon plus large, à sa capacité de facilitation et d'harmonisation des activités contractiles agonistes-antagonistes.

Nous avons vu que la capacité de passer de l'inhibition provisoire, liée aux étirements, à la facilitation, suppose un travail actif puisant ses sources dans la neurophysiologie.

### ● **Points clés**

---

Dans le cadre plus restreint qui est le sien, le Stretching Global Actif est fondé sur tous les principes de la Rééducation Posturale Globale.

En fonction de quoi le SGA se distingue particulièrement sur les points suivants :

- la lenteur des progressions ;
- le temps de maintien de l'allongement ;
- la globalité des étirements et leur cohérence en fonction de l'organisation des chaînes de coordination neuromusculaire ;
- le contrôle des compensations ;
- les contractions de basse intensité des muscles étirés ;
- le soin apporté à l'étirement des muscles de la colonne vertébrale ;
- l'expiration profonde.

### **La prévention**

---

D'une façon générale, la prévention prend chaque jour, et à juste titre, une place plus importante dans notre société. Son importance vis-à-vis des accidents du travail est connue. La prévention des stress psychologiques est de plus en plus évoquée.

Mais elle devrait également concerner toutes les pathologies musculo-articulaires causées ou favorisées par les activités professionnelles.

Le coût de ces pathologies en matière de souffrance n'a jamais été acceptable ; leur poids économique est devenu ingérable.

Les améliorations apportées au mobilier scolaire, les aménagements des postes de travail, l'ergonomie en général, constituent des avancées remarquables mais qui ont, elles aussi, un prix qui ne les rend malheureusement pas accessibles à tous.

Quoi qu'il en soit, l'outil le plus précieux est le corps même du travailleur et il est impossible de le mettre à l'abri de tous les incidents. Il y aura toujours un stylo qui glissera sous une table, un tiroir situé en hauteur ou un siège inadapté.

La pénibilité au travail est souvent inévitable. Elle ne se mesure pas uniquement selon l'importance des efforts physiques consentis mais, également, en fonction du caractère répétitif des gestes et du temps passé dans les positions qu'impose l'activité : debout, penché en avant ou assis.

Dans certains cas, la bipédie n'est plus qu'un souvenir. D'*Homo erectus*, l'homme est devenu *Homo sedutus* de tant d'heures passées vissé sur un siège.

C'est par trop optimiste de penser que cela peut être sans incidence sur la physiologie musculaire. Les activités professionnelles doivent être considérées, sans doute, comme le principal élément accélérateur du processus vicieux qui mène de la rétraction musculaire aux altérations morphologiques puis aux douleurs articulaires. La colonne vertébrale est particulièrement visée.

Les activités physiques sont présentées comme l'alternative à cet engrenage.

Elles ne sont pas à remettre en question si ce n'est qu'elles ne s'opposent pas en tout point aux méfaits du sédentarisme.

La contraction musculaire concentrique est en effet l'essence de toute activité sportive, aussi recommandable qu'elle soit. Cela ne peut donc, en aucun cas, résoudre le problème de la rétraction musculaire, dont il faut rappeler qu'elle est comparable à un état de contraction permanente. Elle peut même l'aggraver, suivant le type d'activité physique, son intensité et sa fréquence.

L'allongement musculaire est indispensable dans tous les cas.

Il permet l'adaptabilité du corps aux conditions de travail, en évitant la fixation de raideurs ankylosan-

tes. Il gomme les inconvénients des activités sportives, leur permettant ainsi de conserver leurs vertus intrinsèques.

## L'entretien

---

Le maintien ou l'entretien qualifie plus particulièrement la prévention de rechutes pour des patients ayant déjà présenté des épisodes pathologiques.

Sachant qu'il ne sera pas possible d'exonérer le patient de futures agressions, surtout lorsque la pratique professionnelle ou sportive est génératrice de risques, la pérennité des résultats passe en partie par la pratique des autopostures. Plus un épisode a été douloureux, plus celui qui en a été victime est demandeur de ce travail d'entretien.

## La préparation physique

---

Elle est la condition *sine qua non* de la performance athlétique. Il lui faut privilégier, suivant les cas, la force, l'endurance, la vitesse ou l'explosivité. Pour cela elle doit répondre fondamentalement à deux exigences : le développement de la force active et l'amélioration de la souplesse.

Ces deux paramètres ne peuvent être abordés sous une forme antagoniste simpliste au risque d'insulter la complexité de la physiologie neuromusculaire.

La suprématie que le dogme du renforcement musculaire à tout prix a exercée, pendant des décennies, sur le monde de la rééducation et du sport méritait un réexamen. Sa responsabilité dans le raccourcissement musculaire devait être identifiée. Cela a fait l'objet des premiers chapitres de cet ouvrage.

Mais un excès ne doit pas se substituer à un autre et une discussion raisonnée peut avoir pour point de départ la mise en évidence basique des limites réciproques des deux concepts : la musculation et la répétition des activités concentriques n'allongent pas, elles enraidissent ; le stretching n'augmente pas la surface de section transversale du muscle (*cross section area*). Le bon sens n'est pas un vilain défaut.

Si des allongements musculaires bien conduits sont indispensables à la préparation physique, ils ne sont donc pas les seuls éléments à prendre en considération. Mais dans le cadre de leur responsabilité, ils doivent être de la plus grande efficacité, ce qui amène à remettre en question les exercices traditionnels.

C'est dans ces conditions différentes qu'ils se montrent les plus facilitateurs des activités dynamiques.

## Adaptation des principes

La nécessité d'une mise en tension progressivement globale a été précédemment justifiée. La façon de procéder pour l'obtenir a été explicitée.

Mais la pratique des autopostures impose des restrictions et des aménagements par rapport aux séances de RPG.

En l'absence de la main du thérapeute, les décoaptations et les fines détorsions articulaires ne sont plus assurées.

Les analgésies liées aux corrections manuelles ne sont plus possibles.

Les progrès en amplitude articulaire et en allongement musculaire dépendent exclusivement de l'action du pratiquant.

Ces trois points suffisent, à eux seuls, à marquer la différence avec la thérapie. Mais pour l'essentiel il est possible de conserver le type de postures employées dans les traitements.

## Les besoins spécifiques

Comme son nom l'indique, le Stretching Global Actif peut prendre en compte tous les raccourcissements musculaires, quelle qu'en soit la localisation.

À ses débuts, le SGA était destiné à la préparation physique athlétique<sup>16</sup>. Il s'est révélé tout aussi pré-

cieux dans le monde du travail. Cette évolution n'a réclamé aucune modification des principes d'application ni des autopostures. Mais les besoins d'un sédentaire ne sont pas ceux d'un sportif.

Il est donc évident que le rythme, l'intensité et la durée des séances dépendent des possibilités du pratiquant lui-même et de ses attentes.

Si, en l'absence de contre-indication médicale, rien n'empêche la pratique de ces autopostures qui ont d'ailleurs été déjà détaillées et illustrées<sup>17</sup>, il est préférable qu'elles soient sélectionnées et dirigées par un professionnel formé à la méthode.

Comme dans quelque type d'activité que ce soit, la pratique en groupe peut favoriser la motivation.

## La pratique du SGA

Dans tous les cas, la présence d'une personne formée à la méthode, capable de diriger la séance d'autopostures, est donc souhaitable.

Cela permet :

- de choisir les autopostures et de les alterner ;
- d'adapter la durée de la séance ;
- de contrôler son rythme ;
- d'ajuster les plages de repos ;
- d'inciter les pratiquants à auto-corriger les compensations ;
- d'éviter toute action intempestive ;
- de prendre en compte la sensibilité de chacun ;
- etc.

Le SGA peut se pratiquer sur un tapis de gymnastique de consistance semi-dure.

Les étirements doivent être maintenus le plus longtemps possible, en fonction des possibilités de chacun.

Les contractions isométriques de faible intensité en cours d'allongement doivent être réalisées lorsque le progrès n'est plus possible. Le relâchement qu'elles provoquent permet de continuer l'évolution.

16 Du même auteur, *De la Perfection musculaire à la Performance sportive*, Éd. Désiris, 1994.

17 Du même auteur, *Le Stretching Global Actif*, Éd. Désiris, Distribution Le Pousoë, 1996.

Les séances de groupe permettant de former des couples de travail, ces contractions sont obtenues avec ou sans l'aide d'un partenaire. Mais il doit être bien clair que l'assistant ne fait que maintenir, sans forcer, la position d'étirement obtenue par le pratiquant lui-même, lorsque survient le moment de la contraction isométrique.

Comme c'est le cas en RPG, celle-ci doit être maintenue pendant trois secondes, à la fin d'une expiration profonde.

Le temps d'une séance de SGA peut varier de 15 min. à 1 heure, en fonction des conditions et des besoins.

### ● **Points clés**

---

Les évolutions sont lentes.

Les compensations doivent être contrôlées.

Les contractions isométriques interviennent, à la fin d'une expiration profonde, lorsque l'évolution n'est plus possible.

Elles sont de basse intensité et doivent être maintenues trois secondes.

Aucun exercice ne doit être forcé.

## **Limites**

---

Par le fait même que les mises en tension progressivement globales se font en évitant les compensations, elles peuvent révéler d'anciens problèmes ou douleurs occultés grâce à des défenses musculaires fixées.

Il convient alors d'envisager des séances de Rééducation Posturale Globale, avec physiothérapeute RPGiste.

# Chapitre 14

## La préparation sportive

### Importance des étirements dans la préparation physique

---

Aucune activité sportive ne peut s'exonérer d'une bonne extensibilité musculaire. Certaines réclament des amplitudes articulaires particulièrement importantes (gymnastique, danse, patinage, etc.)

Le SGA a pour but d'obtenir, de retrouver ou de maintenir la longueur musculaire nécessaire à l'accomplissement des activités déployées.

Cette notion d'extensibilité (ou compliance) est à opposer à celle de raideur, qui peut se définir par l'importance de la force de tension que le muscle oppose à son allongement. Elle dépend de l'élasticité des tissus telle qu'elle a été définie dans le chapitre 9. Dans le monde sportif, le terme de souplesse lui est fréquemment préféré.

### Les différentes approches

---

On dénombre :

- le stretching passif;
- le stretching accompagné de la contraction volontaire maximale du muscle antagoniste pendant l'étirement de l'agoniste, ou précédé de celle également maximale du muscle agoniste (type PNF). Ces étirements sont généralement considérés plus efficaces grâce à leur action inhibitrice sur les motoneurones (Enoka et coll., 1980; Guissard et coll., 1988; Moore et Kukuka, 1991; Magnusson et coll., 1995);
- les alternances souples;
- les étirements dynamiques contre résistance (type Pilates);

- le Stretching Global Actif (SGA), qui se pratique avec contractions soutenues, de basse intensité, des muscles étirés.

### La relation force-élasticité – Le cycle étirement-raccourcissement

---

La force musculaire globalement développée est liée, pour partie, à l'élasticité musculaire.

L'histoire et l'actualité des travaux sur le cycle étirement-raccourcissement ou « *stretch shortening cycle* » ont été bien synthétisées par Gilles Cometti, au travers de différents articles.

On parle de *stretch shortening cycle* lorsqu'un muscle en tension est soumis à un étirement suivi immédiatement d'une contraction concentrique.

À la suite des travaux de Bosco (1985) et de l'école italienne sur des sauts réalisés dans différentes conditions et impliquant la flexion des membres inférieurs, l'expression Pliométrie a également été employée. Elle continue à l'être pour qualifier certains types d'entraînement.

Quelle que soit l'étymologie de ce mot, il convient de remarquer que ce cycle de pré-tension suivi de contraction concerne, bien évidemment, aussi les membres supérieurs et qu'à leur niveau les pré-étirements précédant la contraction se font en extension.

Il est donc préférable dans tous les cas de parler de cycle étirement-raccourcissement.

Zatsiorski, en 1966, avait déjà souligné l'efficacité des enchaînements dans les sauts en contrebas. La force développée y est d'une fois et demie à deux



fois supérieure à la force maximale en isométrie (Fig. 14.1).

Deux pistes capables d'expliquer cette différence se sont dégagées :

- la restitution de force passive élastique ;
- le réflexe myotatique.

Bosco, en 1985, a établi la relation force-vitesse au niveau du genou entre les squat-jumps (sauts départ genoux fléchis à 90 degrés) et les drop-jumps (sauts en contrebas). La force et la vitesse sont nettement supérieures dans le deuxième cas.

Il en a attribué la responsabilité pour 70 % à l'élasticité musculaire et pour 30 % au réflexe myotatique direct.

L'importance de ce dernier a été également mise en évidence par Smidtbleicher (1985).

Pour Fukunaga et coll. (1996), l'essentiel de la restitution de force passive vient des tendons. Komi (2003) relève que l'importance relative des actions élastiques des fibres musculaires ou des tendons dépend du muscle considéré (voir aussi Chapitre 1).

## ● Points clés

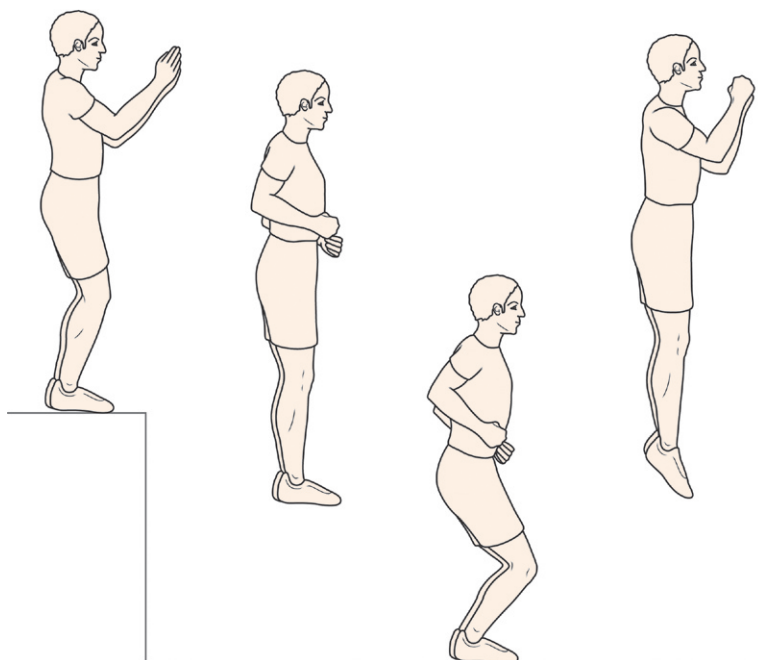
L'efficacité du cycle étirement-raccourcissement dépend de l'élasticité des tissus musculo-fibreux et du réflexe myotatique direct.

Smidtbleicher a également démontré l'influence de l'entraînement sur la contraction musculaire dans les sauts en contrebas. L'athlète entraîné opère une pré-activation musculaire avant impact, lui permettant de mieux synchroniser la contraction volontaire avec le réflexe myotatique.

Il distingue également des cycles d'étirement-raccourcissement à caractère plus lent, de 300 à 500 ms (saut en contre en volley-ball ou tir en basket) ou plus rapide, de 100 à 200 ms (course, saut en hauteur ou en longueur).

Kamen (2005) identifie trois facteurs nerveux contribuant à l'efficacité du cycle étirement-raccourcissement :

- le recrutement spatial des unités motrices ;
- leur recrutement temporel (augmentation de la fréquence de décharge) ;
- la synchronisation des unités motrices (Fig. 14.2).



**Fig. 14-1.** La force développée lors d'un saut en contrebas représente de 150 % à 200 % de la force maximale isométrique.

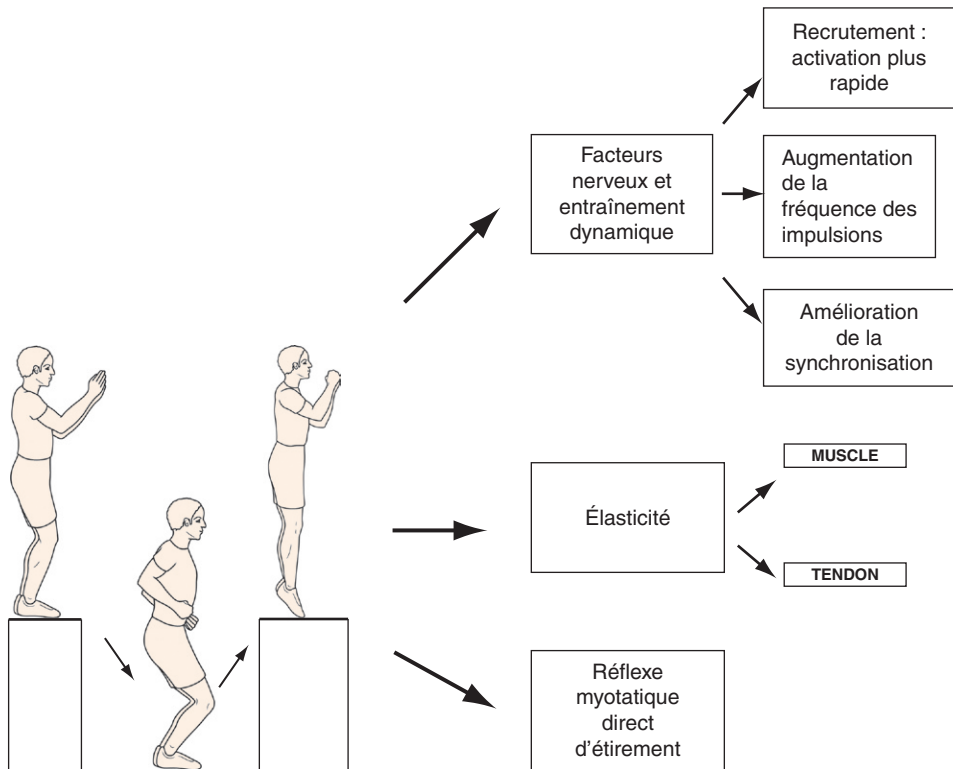


Fig. 14-2. Les mécanismes intervenant dans le cycle étirement-raccourcissement (d'après Gilles Cometti).

Si beaucoup de disciplines sportives bénéficient du cycle étirement-raccourcissement, certaines en sont exclues (un haltérophile doit se stabiliser avant de produire son effort). Ces activités de force dépendent plus de la surface de section transversale du muscle (*cross section area*).

### Cycle étirement-raccourcissement et raideur musculaire

Depuis les travaux de Wilson et coll. (1992 et 1994), l'intérêt d'une certaine raideur musculaire a été évoqué. Son rôle serait de réduire le temps de latence de mise en tension des structures élastiques dans les contractions concentriques et donc d'accélérer la vitesse de transmission des forces (voir Fig. 1.17).

C'est oublier que le tissu conjonctif est disposé non seulement en série mais également en parallèle, que la raideur fragilise les tendons et surtout qu'elle ne permet pas une bonne restitution de la force passive. Elle diminue en outre les amortissements, augmentant ainsi le risque d'accidents.

C'est nier le fait qu'un muscle est toujours soumis à une tension de base, liée aux ponts actine-myosine et aux fuseaux neuromusculaires. C'est remettre en cause la valeur des entraînements qui permettent à un athlète préparé d'opérer une pré-activation musculaire (mécanisme anticipé des mouvements mémorisés – *feedforward*). Cette pré-activation optimise la synchronisation du retour élastique et du réflexe myotatique, avec la contraction musculaire, lors des cycles étirement-raccourcissement, des efforts excentriques ou des impacts.

## ● Points clés

Il n'est pas raisonnable d'encourager la raideur musculaire, à moins de prétendre qu'une évolution pathologique correspondant à un vieillissement prématuré des tissus peut améliorer la performance.

Ce qui n'est pas souhaitable, et il s'agit là de quelque chose de bien différent, est la dispersion incontrôlée de mouvements au niveau de muscles et d'articulations ne participant pas directement à l'effort.

Nous avons vu que, plus les actions sont répétitives, plus le raccourcissement musculaire est conséquent. Les activités sportives n'échappent pas à cet inconvénient.

Par ailleurs, une expérience de McHugh et coll. (1999), menée sur des personnes présentant des taux de raideur musculaire allant du type compliant au normal ou à l'excessif, a montré que les personnes possédant la masse musculaire la plus importante étaient les plus raides.

## ● Points clés

Les étirements musculaires sont d'autant plus nécessaires lorsque les efforts sont fréquents, intenses, à prédominance concentrique, et qu'ils favorisent le développement du volume musculaire.

## Le stretching, partie intégrante du travail foncier

Les étirements doivent être incorporés dans la préparation de base à l'activité sportive au même titre que les exercices dynamiques et l'entraînement technique, si celui-ci est nécessaire. Leur pratique doit être programmée, comme l'est tout travail d'entraînement foncier.

Les besoins athlétiques ne sont pas les mêmes suivant la discipline. Les étirements doivent présenter une gamme de variété leur permettant de s'adapter à la singularité de l'activité et, chaque fois que c'est possible, à l'individualité du sportif.

Le Stretching Global Actif a déjà connu des évolutions spécifiques plus particulièrement ciblées<sup>18</sup>.

18 Norbert Grau, Le Stretching Global Actif-SGA au service du geste sportif, 2<sup>e</sup> édition, 2008.

## Les étirements avant la performance

Ils ne sont utiles que dans un cadre restreint : retrouver le niveau d'allongement musculaire et le degré d'amplitude articulaire préalablement obtenu par les étirements fonciers.

Avant compétition, des longues séances de stretching, dont l'ambition serait un gain de longueur par rapport à une situation de raccourcissement chronique, ne sont pas souhaitables.

De nombreux travaux abondent dans ce sens (Henning et Podzielný, 1994 ; Wiemann et Klee, 2000 ; Fowles et coll., 2000 ; Kokkonen et coll., 2001 ; Knudson et coll., 2001 ; Church et coll., 2001 ; Comwell et coll., 2002).

Les études ont porté sur des séances de stretching passif ou de facilitation neuromusculaire proprioceptive (PNF) et non sur le SGA, dont les principes sont différents. Mais la Rééducation Posturale Globale, qui est à l'origine de ce dernier, est une méthode proprioceptive d'inhibition dont l'effet est une baisse provisoire de l'activité motoneurale.

Ce seul argument incite à un emploi d'intensité modérée et de brève durée du Stretching Global Actif avant l'effort, allant dans le sens de la vérification des disponibilités en extensibilité musculaire et en amplitude articulaire pré-acquises, et non de gain.

## ● Points clés

Le SGA avant performance se limite à la réacquisition de longueurs et d'extensibilités préétablies.

## Les étirements après l'effort

Les travaux portant sur les capacités du stretching (passif ou précédé de contraction) vis-à-vis de la récupération sont également nombreux. Ils sont peu concluants lorsqu'il s'agit des courbatures (Herbert et Gabriel, 2002). En ce qui concerne la vascularisation, les effets du stretching passif semblent négatifs (Freiwald et coll. 1999).

Il en est de même pour Schober et coll. (1990), qui ne voient d'amélioration que lorsque les étire-

ments sont entrecoupés de phases dynamiques et de contractions contre résistance.

Il faut en revenir aux principes fondamentaux physiopathologiques et définir de quel type de récupération il peut s'agir.

L'activité physique provoque des microtraumatismes musculo-tendineux (Chapitre 9). Ils sont à l'origine des courbatures. Les mécanismes de défense entrent alors en jeu et freinent les contractions musculaires, en particulier celles qui sont excentriques. Le système musculaire se retrouve en état de « rigidification antalgique » (Chapitre 5).

La régénération des micro-ruptures, et donc la cessation des courbatures, peut réclamer jusqu'à 72 heures. La fixation des rétractions au niveau du collagène n'a besoin que de 48 heures (Chapitre 1). Une course contre la montre est engagée dont l'objectif est de sauvegarder les acquis. Il y a beaucoup à perdre dans le fait de ne pas pratiquer des étirements après la performance.

### ● Points clés

La récupération, pour ce qui est de la responsabilité du SGA, se résume à la possibilité de retrouver, le plus rapidement possible, la longueur et l'extensibilité musculaire antérieures à l'effort.

L'hypersensibilité des tissus fait que le début de séance peut être plus désagréable qu'à l'ordinaire. Une sensation de soulagement s'y substitue assez rapidement.

Le fluage et le réflexe myotatique inverse opèrent plus sur les muscles raides et tendus, à savoir, dans ce cas, ceux qui sont victimes de courbatures.

## Tolérance à l'étirement et progrès

---

Pour Magnusson (1998), le progrès significatif de l'amplitude articulaire dû au stretching est lié à la tolérance à l'étirement (*stretch tolerance*). Il note que, pendant un programme de stretching, de répétition en répétition, la tension maximale tolérée est plus élevée.

Shier (1999), pour sa part, attribue un effet antalgique aux étirements. Ces constatations démontrent encore l'influence des interactions neurologiques dans les allongements.

Cela dénote en outre l'importance d'un entraînement soutenu, destiné à améliorer et à maintenir l'extensibilité musculaire.

### ● Points clés

Le Stretching Global Actif s'inscrit dans le travail foncier.

Comme pour tout type d'entraînement, les possibilités de travail de fond sont plus restreintes lorsque les efforts doivent se répéter dans de brefs intervalles de temps.

---

# Le fil rouge – Conclusions

La principale raison d'être de la Rééducation Posturale Globale réside dans la prise en compte de l'importance de la fonction statique et du système nerveux automatique dont elle dépend pour l'essentiel.

Cette fonction est responsable de la station érigée, de la suspension de divers segments et de leur stabilisation dans tous les plans de l'espace.

Elle détermine la morphologie. Elle garantit l'intégrité articulaire pour ce qui concerne ses composantes mécaniques.

Elle conditionne les activités dynamiques dont elle détermine les points fixes et garantit la stabilité corporelle, de façon anticipée ou retardée.

La fonction statique mérite donc une considération égale à celle dont bénéficie la fonction dynamique.

Elle est servie par des muscles nombreux et puissants, par un système nerveux et des tissus adaptés aux exigences de résistance aux déplacements.

Leur coordination neuromotrice finalisée nécessite une organisation synergique qui peut prendre le nom de chaînes neuromusculaires. La puissance de celles-ci se reconnaît également au travers d'activités cinétiques d'importance particulière.

Les muscles à vocation plus spécifiquement statique sont en activité permanente, soit à minima, pour assurer la stabilisation, soit en contraction dynamique lors des mouvements et des déplacements.

En l'absence de pathologie neurologique flasque, il est donc possible de conclure à une vigilance hyperactive de leur part ne pouvant entraîner que des pathologies assimilables au surmenage, à savoir, augmentation de la tension, elle-même à l'origine de raccourcissements et de raideurs.

Les conséquences en sont lourdes, non seulement au niveau morphologique et articulaire mais également du point de vue de la fonction dynamique dont elles freinent l'amplitude des mouvements, diminuent la force et augmentent la dépense énergétique.

Ces rétractions inévitables présentent donc une constante : elles affectent des groupes musculaires dont la fonction statique est particulièrement notable, mais leur localisation ou leur importance revêt un caractère individuel.

Pour allonger des groupes musculaires rétractés et coordonnés sous forme de chaîne, il convient donc de procéder à des étirements correspondant à leur organisation anatomo-fonctionnelle et sans en accepter les compensations. Cela nécessite leur identification et une mise en traction progressivement globale, adaptée à leur cohérence.

Le traitement doit prendre en compte les dysmorphismes et les dysfonctionnements articulaires.

Les corrections doivent s'adresser aux trois composantes de la pathologie : musculaire, neurologique et fibreuse. Pour cela, il est nécessaire que des contractions résistantes isométriques de faible intensité accompagnent l'évolution de la traction passive, qui doit être maintenue dans le temps.

# Recherches

Diverses expérimentations ont accompagné l'évolution de la Rééducation Posturale Globale, surtout ces dernières années. Beaucoup ont servi de support à des thèses et n'ont pas donné lieu à publications autres que dans les annales des universités où elles ont été soutenues.

Celles qui sont brièvement regroupées ici ont été publiées au niveau international. La dernière en date, réalisée à L'Université Tor Vergata de

Rome, est particulièrement importante dans la mesure où elle ne concerne pas de simples résultats cliniques mais la mise en évidence des effets neurophysiologiques de la méthode, par Stimulation Magnétique Transcranienne (TMS).

Il convient de remercier tous ceux qui ont effectué des recherches sur la RPG et de leur demander d'excuser le fait qu'il n'était pas possible de les faire tous apparaître ici.

## Innovative Physical Therapy Relieves Back Pain

### Researchers Say Technique Works When All Else Fails

Charlene Laino, WebMD Health News

April 14, 2005 (Miami Beach, Fla.) – An innovative physical therapy technique may relieve back pain even when all other treatments fail.

The technique, called Souchart's global postural re-education – or GPR for short – employs a series of gentle movements to realign spinal column joints and strengthen and stretch muscles that have become tight and weak from underuse.

«GPR corrects the patient's posture and decompresses the spinal canal,» says Conrado Estol, MD, PhD, of the Neurologic Center for Treatment and Rehabilitation in Buenos Aires, Argentina. He presented his study at the American Academy of Neurology 57<sup>th</sup> Annual Meeting.

### Return to Daily Activities

«In our study, nine in 10 people with chronic back pain due to disc disease significantly improved and were able to return to their usual daily activities – usually within five months.»

GPR can also help the 95 % of adults who will suffer acute back pain injury at some point in their lives, he tells WebMD.

### Patient, Therapist Work Together

A person with chronic back pain is in too much discomfort to perform the exercise on his own. A physical therapist guides the process, stretching the muscles along the spinal column while the patient is in the specified positions.

There are two basic positions : standing up and lying down with the knees bent. While in each of these positions, the patient places his arms at his side and tries to open them wider and wider.

«The therapist helps you to find the level you're comfortable with, as you keep increasing the range of motion,» Estol says.

Estol says medications and surgery for severe and chronic back pain typically have limited or no benefit.

That's why he decided to try the new method on 102 patients with chronic back pain associated with severe degenerative disc disease of the spine. Patients with degenerative disc disease can experience back pain so debilitating that they can't bend, stretch or, sometimes, even get out of a chair without help.

### 5 Months of Treatment

The participants had severe pain for an average of seven months; 82 had lower back pain and 20 had neck pain. About half were women.

«The patients had tried almost all combinations of treatments you could think of, including regular physical therapy, bed rest, anti-inflammatory medications, acupuncture, and epidural injections,» Estol says. «Quite a few had already had surgery and others were scheduled for surgery when we treated them.»

Importantly, three-fourths couldn't walk more than 10 blocks without stopping, he says. Thirty-five percent had pain so severe they couldn't walk more than five blocks and had to stop working or playing sports.

The treatment included two GPR sessions during the first week, then one session a week for an average of five months. Participants also practiced breathing techniques and were given a home exercise program.

The findings showed that 92 of the 102 people reported pain relief and were able to return fully to their daily activities.

For 85 % of the patients, the improvement was noted after just three weeks of treatment. And after an average of almost two years, the pain has not recurred, Estol says.

### Cautious Optimism

Other researchers at the meeting were cautiously optimistic.

Albert Lo, MD, PhD, assistant professor of neurology at Yale University in New Haven, Conn., and a moderator of the session at which the findings were presented, says a success rate of 90 % in patients with chronic back pain «is very unusual and begs for further investigation.»

«If the findings are reproducible in [future studies], GPR could be a very exciting adjunctive therapy for patients with chronic neck and back pain,» he tells WebMD.

Sources : American Academy of Neurology 57<sup>th</sup> Annual Meeting, April 9–16, 2005, Miami Beach, Fla. Conrado Estol, MD, PhD, Neurologic Center for Treatment and Rehabilitation, Buenos Aires, Argentina. Albert Lo, MD, PhD, assistant professor of neurology, Yale University, New Haven, Conn.

## Two exercise interventions for the management of patients with ankylosing spondylitis : a randomized controlled trial

Fernández-de-Las-Peñas C, Alonso-Blanco C, Morales-Cabezas M, Miangolarra-Page JC.

Research and Teach Unit of Physical Therapy, Occupational Therapy, Physical Medicine and Rehabilitation, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, Spain.

### Objective

The purpose of this clinical trial was to evaluate the impact of a 4-month comprehensive protocol of strengthening and flexibility exercises developed by our research group versus conventional exercises for patients with Ankylosing Spondylitis (AS) on functional and mobility outcomes.

### Design

Randomized controlled trial. Forty-five patients diagnosed with AS according to the modified criteria of New York were allocated to control or

experimental groups using a random numbers table. The control group was treated with a conventional protocol of physical therapy in AS, whereas the experimental group was treated with the protocol suggested by our research group. The conventional intervention consisted of 20 exercises : motion and flexibility exercises of the cervical, thoracic, and lumbar spine ; stretching of the shortened muscles ; and chest expansion exercises. The experimental protocol is based on the postural affectionation of the AS and the treatment of the shortened muscle chains in these patients according to the Global Posture Reeducation (GPR) method. This intervention employs specific strengthening and flexibility exercises in which the shortened muscle chains are stretched and strengthened. The study lasted



4 months. During this period, patients received a weekly group session managed by an experienced physiotherapist. Each session lasted an hour, and there were 15 total sessions. Changes in activity, mobility, and functional capacity were evaluated by an assessor blinded to the intervention, using the following previously validated scores from the Bath group : BASMI (tragus to wall distance, modified Schober test, cervical rotation, lumbar side flexion, and intermalleolar distance), BASDAI (The Bath Ankylosing Spondylitis Disease Activity Index), and BASFI (The Bath Ankylosing Spondylitis Functional Index).

### Results

Both groups showed an improvement (prepost scores) in all the outcome measures, mobility measures of the BASMI index, as well as in BASFI and BASDAI indexes. In the control group, the improvement in tragus to wall distance ( $P=0.009$ ) and in lumbar side flexion ( $P=0.02$ ) was statistically significant. Although

the rest of the outcomes also improved, they did not reach a significant level ( $P>0.05$ ). In the experimental group, the improvement in all the clinical measures of the BASMI index ( $P<0.01$ ) and in the BASFI index ( $P=0.003$ ) was statistically significant. The intergroup comparison between the improvement (prepost scores) in both groups showed that the experimental group obtained a greater improvement than the control group in all the clinical measures of the BASMI index, except in tragus to wall distance, as well as in the BASFI index.

### Conclusions

The experimental protocol developed by our research group, based on the GPR method and specific strengthening and flexibility exercises of the muscle chains, offers promising results in the management of patients suffering from AS. Further trials on this topic are required.

Source : Am J Phys Med Rehabil. 2005 Jun; 84(6) : 407–19.

## Effect of a muscle stretching program using the Global Postural Reeducation method on respiratory muscle strength and thoracoabdominal mobility of sedentary young males

Marlene Aparecida Moreno, Aparecida Maria Catai, Rosana Macher Teodori, Bruno Luis Amoroso Borges, Marcelo de Castro Cesar, Ester da Silva

### Objective

To evaluate the effect that respiratory muscle stretching using the global postural reeducation (GPR) method has on respiratory muscle strength, thoracic expansion and abdominal mobility in sedentary young males.

### Methods

This was a randomized study involving 20 sedentary volunteers, aged  $22.7 \pm 2.5$  years, divided into two groups of 10 : a control group, composed of subjects not performing any exercises, and a group of subjects submitted to the GPR method. The protocol consisted of a program to stretch the respiratory muscles with participants in the «open-arm, open hip joint angle» position, which was regularly performed twice a week for 8 weeks, totaling 16 sessions.

The two groups were submitted to measurements of maximal inspiratory pressure, maximal expiratory pressure, thoracic expansion and abdominal mobility, prior to and after the intervention period.

### Results

The initial and final values for maximal respiratory pressures, thoracic expansion and abdominal mobility for the control group showed no significant differences ( $p>0.05$ ). However, for the GPR group, all values increased after the intervention ( $p<0.05$ ).

### Conclusions

Respiratory muscle stretching using the GPR method was efficient in promoting an increase in maximal respiratory pressures, thoracic

expansion and abdominal mobility, suggesting that it could be used as a physiotherapy resource to develop respiratory muscle strength, thoracic expansion and abdominal mobility.

**Keywords :** Posture ; Muscle Strength ; Respiratory Muscles ; Muscle Stretching Exercises.

Study conducted in the Laboratory for Cardiovascular Therapy Research and Functional Testing at the Faculdade de Ciências da Saúde – FACIS, School of Health Sciences – of the Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, Methodist University of Piracicaba – Piracicaba, Brazil.

Submitted : 28 November 2006. Accepted, after review : 14 March 2007.

J Bras Pneumol. 2007 ; 33(6) : 679–686

## Rééducation Posturale Globale in musculoskeletal diseases : scientific evidence and clinical practice

### Summary

Several studies on the treatment of musculoskeletal diseases with physiotherapy and clinical experiences on the basis of a method called Rééducation Posturale Globale (RPG), have highlighted the usefulness of this treatment. Although such treatment technique is commonly used in physical therapy practice, only few studies support its therapeutic effectiveness.

### Objective

To search the literature for evidence of RPG effectiveness, in order to identify the most appropriate therapeutic contexts for its use.

### Methods

A review of the literature through the following databases : PubMed, Embase, Cinahl, Pedro, and Medscape.

The keywords used for the search in the databases are : Rééducation Posturale Globale, Souchard, Posture, and Manual Therapy. The following clinical studies were selected : randomized controlled studies, non-randomized controlled studies,

C. Vanti, A. Generali, S. Ferrari, T. Nava, D. Tosarelli, P. Pillastrini observation studies, and case reports, in English, Spanish, Portuguese, and Italian.

### Results

Out of 18 studies found, 9 were analyzed : 2 randomized controlled studies, 2 non-randomized controlled studies, 3 non-controlled studies, and 2 case reports.

### Conclusions

The RPG method has been shown to be an effective treatment technique for musculoskeletal diseases, in particular for ankylosing spondylitis, acute and chronic low back pain, and lumbar discherniation. Although the scarcity of rigorous experimental trials on a large scale does not allow the drawing of undisputable conclusions, the results gathered up to now are an encouragement to carry on research in the field of conservative treatment.

Reumatismo, 2007 ; 59(3) : 192–201

## Global Postural Reeducation : an alternative approach for stress urinary incontinence ?

Celina Fozzatti, Viviane Herrmann, Thais Palma, Cassio L.Z. Riccetto and Paulo C.R. Palma

Department of Urology, Division of Female Urology, State University of Campinas, Campinas, São Paulo, Brazil

### Objective

The aim of this study was to evaluate the impact of Global Postural Re-education (GPR) on stress urinary incontinence symptoms and to compare it to Pelvic Floor Muscle Training (PFMT).

### Study design

Fifty-two women with stress urinary incontinence were distributed into two groups : Group 1 (G1) was submitted to weekly sessions of GPR for three months and Group 2 (G2) performed Pelvic Floor Muscle Training four times a week for three months. Patients were evaluated through the King's Health Questionnaire, a three-day voiding diary including daily pad use and a Functional Evaluation of the Pelvic Floor (FEPP), before treatment (T0), at the end of treatment (T1) and six months after treatment (T2).

### Results

The number of leaking episodes dropped significantly in both groups at the end of treatment

and at six months follow-up, with a significantly greater decrease in G1. Daily pad use dropped significantly in both groups. At the end of treatment, 72 % of the patients in G1 and 41 % of the patients in G2 needed no pads and at six-month follow-up, 84 % and 50 %, respectively. FEPP improved significantly in both groups, with no significant difference between the groups ( $P = 0.628$ ). The King's Health Questionnaire demonstrated significant improvement in both groups and in all domains. The GPR group presented higher adherence to treatment, with no dropouts.

### Conclusions

GPR could represent an alternative method to treat stress urinary incontinence in women, should the results be long lasting.

**Keywords** : Global Postural Re-education; Pelvic Floor Muscle Training; Stress urinary incontinence

AUA Annual Meeting Program Abstracts, 2008 AUA Annual Meeting

Received 20 November 2009; revised 21 May 2010; accepted 22 June 2010.

Available online 18 July 2010.

The Journal of Urology – Volume 179, Issue 4, Supplement 1, April 2008, Page 487

## Effectiveness of a «Global Postural Reeducation» program for persistent Low Back Pain : a non-randomized controlled trial

Francesca Bonetti, Stefania Curti, Stefano Mattioli, Raffaele Mugnai, Carla Vanti, Francesco S Violante, Paolo Pillastrini

Corresponding Author : Professor Paolo Pillastrini, Unità Operativa di Medicina del Lavoro, Policlinico S. Orsola-Malpighi, Bologna, Italy

### Background

The aim of this non-randomized controlled trial was to evaluate the effectiveness of a Global Postural Reeducation (GPR) program as compared to a Stabilization Exercise (SE) program in subjects with persistent low back pain (LBP) at short- and mid-term follow-up (ie. 3 and 6 months).

### Methods

According to inclusion and exclusion criteria, 100 patients with a primary complaint of persistent LBP were enrolled in the study : 50 were allocated to the GPR group and 50 to the SE group. Primary outcome measures were Roland and Morris Disability Questionnaire (RMDQ) and Oswestry Disability Index (ODI). Secondary

outcome measures were lumbar Visual Analogue Scale (VAS) and Fingertip-to-floor test (FFT). Data were collected at baseline and at 3/6 months by health care professionals unaware of the study. An intention to treat approach was used to analyze participants according to the group to which they were originally assigned.

### Results

Of the 100 patients initially included in the study, 78 patients completed the study : 42 in the GPR group and 36 in the SE group. At baseline, the two groups did not differ significantly with respect to gender, age, BMI and outcome measures. Comparing the differences between groups at short- and mid-term follow-up, the GPR group revealed a significant reduction (from baseline) in all outcome measures with respect to the SE group.

The ordered logistic regression model showed an increased likelihood of definitive improvement (reduction from baseline of at least 30 % in RMDQ and VAS scores) for the GPR group compared to the SE group (OR 3.9, 95 % CI 2.7 to 5.7).

### Conclusions

Our findings suggest that a GPR intervention in subjects with persistent LBP induces a greater improvement on pain and disability as compared to a SE program. These results must be confirmed by further studies with higher methodological standards, including randomization, larger sample size, longer follow-up and subgrouping of the LBP subjects.

Biomed Central Musculoskeletal Disorders, 2010–11; 285.

## Effect of global posture reeducation (GPR) program on respiratory muscle strength

P. Buonpensiero, A. Di Pasqua, O. Sepe, P. Ferri, V. Raia. *CF Center, Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italy*

The survival improvement in CF patients predispose to the onset of posture problems. New research showed interactions of breathing and posture. Trunk muscles have important role in respiration and in posture control. If respiratory demand increases the postural activity of these muscles may decrease. Painful conditions cause ineffective neuromotor activation. In CF patients, airway obstruction and hyperinflation may dearrange the normal time length index of the inspiratory muscles with shortening of the same muscles less ability to produce pressures and further musculoskeletal deformities. GPR is based on the treats shortened muscles with flexibility exercises selective lengthening postures and the myotactic inhibition reflex (M.I.R.).

### Objective

To assess the effects of one month GPR exercise program on maximal inspiratory and expiratory pressure.

### Methods

18 CF patients (9 males, age  $14.8 \pm 5$  yrs), PsA+, were enrolled to perform five GPR sessions, for one month (one session a week, session time 30 min). All patients during this study

had their physio session regularly (PEP mask twice a day). All the evaluations (pulmonary function test, MIP, MEP and posture evaluation) were taken before the GPR session and 15 min after the GPR session.

### Results

Respiratory muscle pressures showed significant variations MIP ( $60.4 \pm 2.975$  vs  $101.2 \pm 4.383$  cm H<sub>2</sub>O  $p < 0.001$ ), MEP ( $62.2 \pm 2.222$  vs  $97.1 \pm 5.269$  cm H<sub>2</sub>O  $p < 0.001$ ). Although pulmonary function tests showed no significant variations, it was possible to show a light improvement of FVC and FEV1%. Morphological evaluation showed improvement of basic posture pattern.

### Conclusion

The preliminary data of this study shows us that it is possible to interact on the posture problems in CF patients also affecting on the respiratory muscle strength.

Journal of Cystic Fibrosis, Volume 6, Supplement I, June 2007, 10. Physiotherapy 64.

## Reorganization of cortical motor circuits following postural physiotherapeutic treatment

Massimiliano Oliveri, MD PhD ; Carlo Caltagirone, MD ; Rita Loriga ; Maria Novella Pompa ; Viviana Versace, MD ;  
Philippe Souchard, Massimiliano Oliveri, MD, PhD, Dipartimento di Psicologia, Università di Palermo,  
Viale delle Scienze, Edificio 15, 90133 Palermo, Tel : 09123897736

### Abstract

Background and aims. Postural reactions are associated with changes in the excitability of the motor system. In the present study we investigated the presence of neurophysiological changes of motor cortical areas targeting muscles of the superior and inferior limbs following treatment with a physiotherapy technique aimed to treat postural dysfunctions by stretching postural muscles, reeducation posturale globale (RPG).

### Methods

Twenty-two healthy subjects were evaluated with paired-transcranial magnetic stimulation (TMS) of the motor cortex and recording of motor evoked potentials (MEPs) from periphe-

ral muscles of superior and inferior limb before and after RPG manoeuvres.

### Results

The main results showed that RPG increased intracortical inhibition and or reduced intracortical facilitation of motor areas targeting muscles affected by treatment.

### Conclusions

These findings provide a neurophysiological basis to the clinical benefits associated to physiotherapy and suggest potential applications of treatments based on postural changes on motor cortical disorders.

---

Archives of Physical Medicine and rehabilitation, 2011, in press.

# Références bibliographiques

- Allum, J.H.J., Budingen, H.J., 1979. Coupled stretch reflexes in ankle muscles : an evaluation of the contributions of active muscle mechanisms to human posture. In : Granit, R., Pompeiano, O. (Eds.), *Progress in brain research*. Elsevier/North-Holland Press, New York, pp. 185–196.
- Aniss, A.M., Diener, H.C., Hore, J., Burke, D., Gandevia, S.C. Reflex activation of muscle spindles in human pretibial muscles during standing. *J. Neurophysiol.* 671–679.
- Avela, J., Kryolainen, H., Komi, P.V., Rama, D., 1999. Reduced stretch reflex sensitivity persist several days after long-lasting stretch-shortening cycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 1292–1300.
- Baldissera, F., Hultborn, H., Illert, M., 1981. Integration of spinal neuronal system. In : Brooks, V.B. (Ed.), *Handbook of Physiology, The Nervous System*. American Physiological Society, Bethesda MD, pp. 509–595.
- Barash, I.A., Peters, D., Friden, J., Lutz, G.J., Lieber, R.L., 2002. Desmin cytoskeletal modifications after a bout of eccentric exercise in the rat. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 958–963.
- Baron, J.B., 1950. Relations entre les muscles moteurs oculaires, les nageoires et l'équilibre des poissons. Extraits des comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences 1087–1089.
- Baron, J.B., Cernacek, J., Niederlandova, Z., Ushio, N., 1976. Réflexe optomoteur et activité tonique posturale orthostatique. *Kyoto Pract. Otol.* 1246–1249.
- Basmajian, J., De Luca, C.J., 1985. *Muscles alive*. William and Wilkins (Eds), Baltimore.
- Baumann, W. Institute for Biomechanics, Deutsche Sporthochschule, Köln.
- Belen'kiĭ, V.E., Gurfinkel', V.S., Pal'tsev, E.I., 1967. Control elements of voluntary movements. *Biofizika* 135–141.
- Bernstein, N., 1935. The problem of interrelation of coordination and localization. *Arch. Biol. Sci.* 38, reproduced in Whiting, H.T.A. (Ed.), 1984. *Human Motor Actions*. Amsterdam, pp. 77–119.
- Billeter, R., Hoppeler, H., 1994. Muscular basis of strength. In : Komi, P.V. (Ed.), *Kraft und Schnelkraft im Sport*. Colonia, pp. 39–63.
- Billeter, R., Hoppeler, H., 1994. Basis of muscle contraction. Schweiz. Z. Med. Traumatol. Germany, 6–20.
- Bizzi, E., Dev, P., Morasso, P., Polit, A., 1978. The effect of load disturbances during centrally initiated movements. *J. Neurophysiol.* 542–556.
- Blackburn, J.T., Padua, D.A., Weinhold, P.S., Guskiewicz, K.M., 2006. Comparison of triceps surae structural stiffness and material modulus across sex. *Clin. Biomech.* (Bristol, Avon) 159–167.
- Bloedel, J.R., Bracha, V., 1997. Duality of cerebellar motor and cognitive functions. *Int. Rev. Neurobiol.* 613–634.
- Bosco, C., L'effetto del pre-stiramento sul comportamento del muscolo scheletrico e considerazioni fisiologiche sulla forza esplosiva. In : *Atleticastudi* (traduction Insep) pp. 7–117.
- Bosco, C., 1997. La forza muscolare : Aspetti fisiologici ed applicazione pratiche. Società Stampa Sportiva.
- Bouisset, S., Maton, B., 1996. *Muscles, posture et mouvement*. Hermann, Paris.
- Brown, S.H., McGill, S.M., 2005. Muscle force-stiffness characteristics influence joint stability. *Clin. Biomech.* 917–922.
- Buchthal, F., Rosenfalk, P., 1957. Elastic properties of striated muscle. In : Rewington, J.W. (Ed.), *Tissue elasticity*. Waverly Press, Londres, pp. 73–97.
- Buller, A.J., Eccles, J.C., Eccles, R.M., 1960. Differentiation of fast and slow muscles in the cat hind limb. *J. Physiol.* 339–416.
- Buller, A.J., Eccles, J.C., Eccles, R.M., 1960. Interactions between motoneurons and muscles in respect of the characteristic speeds of their responses. *J. Physiol.* 417–439.
- Burgeson, R.E., Nimni, M.E., 1992. Collagen types, Molecular structure and tissue distribution. *Clin. Orthop.* 250–272.
- Burgess, P.R., Clark, F.J., 1969. Characteristics of knee-joint receptors in the cat. *J. Physiol. (London)* 317–325.
- Burgess, P.R., Horch, K.W., Tuckett, R.P., 1987. Mechanoreceptors. In : Adelman, G. (Ed.), *Encyclopedia of Neuroscience*. Birkhauser Boston, pp. 620–621.
- Burke, R.E., Edgerton, V.R., 1975. Motor Unit Properties and Selective Involvement in Movement. In : Wilmore, J.H., Keogh, J.F. (Eds.), *Exercise and Sports Science Reviews*. Academic, New York, pp. 31–81.

- Butel, J., Borgi, R., Oberlin, P., 1980. The association of surgical treatment with ambulatory discharge in Legg-Calvé-Perthes disease, 15-year experience concerning 112 cases. *Acta Orthop. Belg.* 423-427.
- Butler, D.L., Grood, E.S., Noyes, F.R., Zernicke, R.F., 1978. Biomechanics of ligaments and tendons. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 125-181.
- Campbell, K.S., Lakie, M., 1998. A cross-bridge mechanism can explain the thixotropic short-range elastic component of relaxed frog skeletal muscle. *J. Physiol.* 941-962.
- Cazorla, O., Wu, Y., Irving, T.C., Granzier, H., 2001. Titin-based modulation of calcium sensitivity of active tension in mouse skinned cardiac myocytes. *Circ. Res.* 1028-1035.
- Cholewicki, J., McGill, S.M., 1996. Mechanical stability of the in vivo lumbar spine : implications for injury and chronic and low back pain. *Clin. Biomech.* 1-15.
- Chinchalkar, S.J., Szekeres, M., 2004. Rehabilitation of elbow trauma. *Hand Clin.* 363-374.
- Church, J.B., Wiggins, M.S., Moode, F.M., Crist, R., 2001. Effect of warm-up and flexibility treatments on vertical jump performance. *J. Strength Cond. Res.* 332-336.
- Clarkson, P.M., Newham, D.J., 1995. Associations between muscle soreness, damage and fatigue. *Adv. Exp. Med. Biol.* 457-469.
- Coirault, C., Samuel, J.L., Chemla, D., et al., 1998. Increased compliance in diaphragm muscle of the cardiomyopathic Syrian hamster. *J. Appl. Physiol.* 1762-1769.
- Coirault, C., Chemla, D., Lecarpentier, Y., 1999. Relaxation of diaphragm muscle. *J. Appl. Physiol.* 1243-1252.
- Cometti, G., 1987. La pliométrie. Université de Bourgogne (Ed.).
- Cometti, G., 1988. Les limites du stretching pour la performance sportive, 2<sup>e</sup> partie : les effets physiologiques des étirements. Consultable sur le site : <http://www.u-bourgogne.fr>.
- Cordo, P., Nashner, L., 1982. Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. *J. Neurophysiol.* 287-302.
- Cordo, P.J., Flores-Vieira, C., Verschueren, S.M.P., Inglis, J.T., Gurfinkel, V., 2002. Position sensitivity of human muscle spindles : single afferent and population representations. *J. Neurophysiol.* 1186-1195.
- Cornwell, A., Nelson, A.G., Sidaway, B., 2002. Acute effect of stretching on the neuromechanical properties of the triceps surae muscle complex. *Eur. J. Appl. Physiol.* 428-434.
- Cotta, H., 1978. Morpho-pathogenetic considerations on prearthrosis and prearthrotic deformity. *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.* 422-428.
- Crago, P.E., Houk, J.C., Hasan, Z., 1976. Regulatory actions of human stretch reflex. *J. Neurophysiol.* 925-935.
- Darnell, Lodish, Baltimore, 1990. *Molecular Cell Biology*. Scientific American Books, New York.
- Davidoff, R.A., 1992. Skeletal muscle tone and the misunderstood stretch reflex. *Neurology* 951.
- Delp, S.L., Hess, W.E., Hungerford, D.S., Jones, L.C., 1999. Variation of rotation moment arms with hip flexion. *J. Biomech.* 493-501.
- DeVita, P., Hortobagyi, T., Barrier, I., 1998. Gait biomechanics are not normal after anterior cruciate ligament reconstruction and accelerated rehabilitation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1481-1488.
- DeVita, P., Lassiter, T., Hortobagyi, T., Torry, M., 1998. Functional knee brace effects during walking in subjects with anterior cruciate ligament reconstruction. *Am. J. Sports Med.* 778-784.
- Dewhurst, D.J., 1967. Neuromuscular control system. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 167-171.
- Diener, H.C., Bootz, F., Dichgans, J., Bruzek, W., 1983. Variability of postural reflex in humans. *Exp. Brain Res.* 423-428.
- Diener, H.C., Dichgans, J., Bootz, E., Bacher, M., 1984. Early stabilization of human posture after a sudden disturbance : influence of rate and amplitude of displacement. *Exp. Brain Res.* 126-134.
- Diener, H.C., Dichgans, J., Guschlbauer, B., Bacher, M., 1986. Role of visual and static vestibular influences on dynamic posture control. *Hum. Neurobiol.* 105-113.
- Dietz, V., Schimdtbleicher, D., Noth, J., 1979. Neuronal mechanisms of human locomotion. *J. Neurophysiol.* 1212-1222.
- Dietz, V., Quintern, J., Sillen, M., 1987. Stumbling reactions in man : significance of proprioceptive and programmed mechanism. *J. Physiol.* 149-163.
- Donaldson, C.C.S., Nelson, D.V., Schulz, R., 1998. Disinhibition in the gamma motoneuron circuitry : a neglected mechanism for understanding myofascial pain syndromes? *Appl psycho physiol biofeedback.* 43-57.
- Dostal, W.F., Soderberg, G.L., Andrews, J.G., 1986. Actions of hip muscles. *Phys. Ther.* 351-361.
- Duchenne de Boulogne, 1867. *Physiologie des mouvements*. pp. 630 ; 594-596 ; 599-600.
- Duncan, A., McDonagh, M.J.N., 2000. Stretch reflex distinguished from pre-programmed muscle activations following landing impacts in man. *J. Physiol.* 456-468.
- Dufour, M., Pillu, M., 2005. *Biomécanique fonctionnelle : membres, tête, tronc. Rappels anatomiques, stabilité, mobilités, contraintes*. Éditions Masson.
- Dyhre-Boulsen, P., Krogsgaard, M.R., 2000. Muscular reflexes elicited by electrical stimulation of the anterior cruciate ligament in humans. *J. Appl. Physiol.* 2191-2195.
- Eccles, J.C., Eccles, R.M., Lundberg, A., 1957. Synaptic actions on motoneurons caused by impulses by Golgi tendons organ afferents. *J. Physiol.* 227-252.



- Edgerton, V.R., Bodine-Fowler, S., Roy, R., Ishihara, A., Hodgson, J.A., 1996. Neuromuscular Adaptation in Exercise : Regulation and Integration of Multiple Systems (Rowell, L.B., Shepherd, J.T. Eds.). Oxford University Press, New York, pp. 54–88 128–172.
- Eisenberg, B.R., Salmons, S., 1981. The reorganisation of subcellular structure in muscle undergoing fast-to-slow type transformation : a stereological study. *Cell Tissue Res.* 449–471.
- Elson, L.M., 1990. The jolt syndrome, Muscle dysfunction following low-velocity impact. *Pain Management* 317–326.
- Enoka, R.M., 1997. Neural strategies in the control of muscle force. *Muscle Nerve Suppl.* 66–69.
- Enoka, R.M., Hutton, R.S., Eldred, E., 1980. Changes in excitability of tendon tap and Hoffmann reflexes following voluntary contractions. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 664–672.
- Evarts, E.V., 1973. Motor cortex reflexes associated with learned movement. *Science* 501–503.
- Evarts, E.V., 1973. Motor cortex reflexes associated with learned movement. *Science N.Y.* 1039–1042.
- Fallon, J.B., Bent, L.R., McNulty, P.A., Macefield, V.G., 2005. Evidence for Strong Synaptic Coupling Between Single Tactile Afferents From the Sole of the Foot and Motoneurons Supplying Leg Muscles. *J. Neurophysiol.* 3795–3804.
- Fick, R., 1911. *Handbuch der Anatomie des Menschen. Erste Abteilung : Anatomie und Mechanik der Gelenke unter Berücksichtigung der bewegenden Muskeln.*
- Fischer-Rasmussen, T., Krogsgaard, M., Jensen, D.B., Dyhre-Poulsen, P., 2001. Inhibition of dynamic thigh muscle contraction by electrical stimulation of the posterior cruciate ligament in humans. pp. 1482–1488.
- Fowles, J.R., Sale, D.G., MacDougall, J.D., 2000. Reduced strength after passive stretch of the human plantar-flexors. *J. Appl. Physiol.* 1179–1188.
- Freiwald, J., Engelhardt, M., 1997. *Beweglichkeit und Dehnung in Sport und Therapie. Lesenswerte Literatur* 16–18.
- Freiwald, J., Engelhardt, M., Konrad, P., Jäger, M., Gnewuch, A., 1999. *Dehnen. Manuelle Medizin.* Springer-Verlag, [lieu]. pp. 3–10 .
- Friden, J., Lieber, R.L., 2001. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fiber components. *Acta Physiol. Scand.* 321–326.
- Fukunaga, T., Ito, M., Ichinose, Y., Kuno, S., Kawakami, Y., Fukushima, S., 1996. Tendinous movement of a human muscle during voluntary contractions determined by real-time ultrasonography. *J. Appl. Physiol.* 1430–1433.
- Gandevia, S.C., 1996. Kinesthesia : Roles for afferent signals. In : Rowell, L.B., Shepherd, J.T. (Eds.), *Handbook of Physiology.* Oxford University Press, New York, pp. 128–172.
- Gagey, P.M., 1999. *Posturologie, Régulation et dérèglements de la station debout.* Masson.
- Gardner, E.P., Kandel, E.R., 2000. Principles of neural science. In : Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessell, T.M. (Eds.) McGraw-Hill, New York, pp. 451–471.
- Goddard, S., 2005. *Reflejos, aprendizaje y comportamiento.* Editorial Vida Kinesiología.
- Goldberg, L., Elliot, D.L., 1984. Prescribing exercise. *West J. Med.* 383–386.
- Goldspink, G., Tabary, C., Tabary, J.C., Tardieu, C., Tardieu, G., 1974. Effect of denervation on the adaptation of sarcomere number and muscle extensibility to the functional length of the muscle. *J. Physiol.* 733–742.
- Gollnick, P.D., Armstrong, R.B., Saubert, C.W., Pichl, K., Saltin, B., 1972. Enzyme activity and fibers composition in skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 312–318.
- Gollnick, P.D., Pichl, K., Saltin, B., 1974. Selective glyco-gen depletion pattern in human muscle fibers after exercise of varying intensity and at a varying pedaling rates. *J. Physiol.* 45–57.
- Gordon, A.M., Huxley, A.F., Julian, F.J., 1966. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibers. *J. Physiol. (London)* 170–192.
- Grabner, M., Koh, T., Ghazawi, A.E., 1992. The coupling of bilateral paraspinal excitation in subjects with low back pain. *Spine* 1219–1223.
- Gramsbergen, A., 2005. Postural control in man : the phylogenetic perspective. *Neural Plast.* 77–88; discussion 263–72.
- Greenhaff, P.L., Timmons, J.A., 1998. Interaction between aerobic and anaerobic metabolism during intense muscle contraction. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 1–30.
- Grey, M.J., Landoucheur, M., Andersen, J.B., Nielsen, J.B., Sinkjaer, T., 2001. Group II muscle afferents probably contribute to the medium latency soleus stretch reflex during walking in humans. *J. Physiol.* 925–933.
- Grigg, P., 2001. In : Properties of sensory neurons innervating synovial joints, Cells, Tissues and organs. pp. 218–225.
- Guissard, N., 2000. Rôle de l'étirement lors de la préparation du muscle à l'effort. In : La planification de la préparation physique. Editions UFRSTAPS, Dijon.
- Guissard, N., 2000. Méthodes d'étirement musculaire : bases scientifiques et aspects pratiques. In : La planification de la préparation physique. Editions UFRSTAPS, Dijon.
- Guissard, N., Duchateau, J., Hainaut, K., 1988. Muscle stretching and motoneuron excitability. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 47–52.
- Guissard, N., Duchateau, J., Hainaut, K., 2001. Mechanisms of decreased motoneurone excitation during passive muscle stretching. *Exp. Brain Res.* 163–169.
- Guyton, A.C., 1981. *Textbook of medical physiology.* Saunders, Philadelphia PA.
- Gurfinkel, V.S., Lipshits, M.I., Popov, K.Y., 1974. Is the stretch reflex the main mechanism in the system of regulation of the vertical posture of man? *Biophysics* 761–766.

- Gurfinkel, V.S., Lipshits, M.I., Mori, S., Popov, K.E., 1976. The state of stretch reflex during quiet standing in man. *Prog. Brain Res.* 473–486.
- Gurfinkel, V., Cacciatore, T.W., Cordo, P., Horak, F., Nutt, J., Skoss, R., 2006. Postural muscle tone in the body axis of healthy humans. *J. Neurophysiol.* 2678–2687.
- Hadders-Algra, M., 2005. Development of postural control during the first 18 months of life. *Neural Plast.* 99–108.
- Hammer, A., 2003. Shift work : living against biological rhythm. *Pflege Z.* 132.
- Handel, M., Hortmann, T., Dickhuth, H.H., Gülch, R.W., 1997. Effects of contract-relax stretching training on muscle performance in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 400–408.
- Hanssens, C., 1991. Modélisation du psoas au niveau de la hanche, Mémoire de Licence en Kinésithérapie Ostéopathique. Université Libre de Bruxelles.
- Hasan, Z., 2005. The human motor control system's response to mechanical perturbation : should it, can it, and does it ensure stability? *J. Mot. Behav.* 484–493.
- Hass, G., Diener, H.C., Rapp, H., Dichgans, J., 1989. Development of feedback and feedforward control of upright stance. *Dev. Med. Child Neurol.* 481–488.
- Hay, L., Redon, C., 2001. Development of postural adaptation to arm raising. *Exp. Brain Res.* 224–232.
- Henning, E., Podzielný, S., 1994. Die Auswirkung von dehn- und Aufwärmübungen auf die Vertikalsprungleistung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 253–260.
- Henricson, A.S., Fredriksson, K., Persson, I., et al., 1984. The effect of heat and stretching on the range of hip motion. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 11 & 115.
- Herbert, R.D., Gabriel, M., 2002. Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury : systematic review. *BMJ* 468.
- Hersberg, G., Gregoire, O., Comtet, J.J., 1985. *Anatomic et Physiologie du tendon normal.* Ency. Med. Chir. Elsevier, Paris.
- Hides, J.A., Stokes, M.J., Saide, M., Jull, G.A., Cooper, D.H., 1994. Evidence of lumbar multifidus muscle wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain. *Spine* 165–172.
- Hides, J.A., Richardson, C., Jull, G.A., 1996. Multifidus recovery is not automatic following resolution of acute first episode low back pain. *Spine* 2763–2769.
- Hodges, P.W., Richardson, C., 1996. Inefficient muscular stabilization of lumbar spine associated with low back pain, A motor control evaluation of transverses abdominis. *Spine* 2640–2650.
- Hoffer, J.A., Andreassen, S., 1981. Regulation of soleus muscle stiffness in premammillary cats : intrinsic and reflex components. *J. Neurophysiol.* 267–285.
- Hoffman, A.H., Grigg, P., 1989. Measurement of joint capsule tissue loading in the cat knee using calibrated mechanoreceptors. *J. Biomech. Elsevier, Kidlington,* 787–791.
- Hogervorst, T., Brand, R.A., 1998. Mechanoreceptors in joint function. *J. Bone Joint Surg. Am.* 1365–1378.
- Holder-Powell, H., Di Matteo, G., Rutherford, O.M., 2001. Do knee injuries have long-term consequences for isometric and dynamic muscle strength? *Eur. J. Appl. Physiol.* 310–316.
- Hooke, R., 1678. Loi de comportement élastique linéaire des solides.
- Horak, F.B., 2006. Postural orientation and equilibrium : what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing* 7–11.
- Horch, K.W., Cktuckett, R.P., Burgess, P.R., 1977. A key to the classification of cutaneous mechanoreceptors. *J. Invest. Dermatol.* 75–82.
- Horowitz, R., Podolsky, R.J., 1987. The positional stability of thick filaments in activated skeletal muscle depends on sarcomere length : evidence for the role of titin filaments. *J. Cell Biol.* 2217–2223.
- Huet de la Tour, E., Tardieu, C., Tabary, J.C., Tabary, C., 1979. Decrease of muscle extensibility and reduction of sarcomere number in soleus muscle following a local injection of tetanus toxin. *J. Neurol. Sci.* 123–131.
- Hufsmith, A., Mauritz, K., 1985. Chronic Transformation of Muscle in Spasticity : a Peripheral Contribution to Increased Tone. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 676–685.
- Huijijng, P.A., 1994. Mechanische Muskelmodelle. In : Komi, P.V. (Ed.), *Kraft und Schnelkraft im Sport.* Colonia, pp. 135–154.
- Huijijng, P.A., 1999. Muscle as a collagen fiber reinforced composite : a review of force transmission in muscle and whole limb. *J. Biomech.* 329–345.
- Hulborn, 2006. Spinal Reflexes, mechanisms and concepts : From Eccles to Lundberg and Beyond. *Progress in Neurobiology* 125–232.
- Hutton, R.S., 1994. Neuromuskuläre Grundlagen des Stretching. In : Komi, P.V. (Ed.), *Kraft und Schnelkraft im Sport.* Colonia, pp. 41–50.
- Huxley, A.F., Niedergerke, R., 1954. Structural changes in muscle during contraction; interference microscopy of living muscle fibers. *Nature* 971–973.
- Huxley, A.F., Niedergerke, R., 1954. Measurement of muscle striations in stretch and contraction. *J. Physiol.* 46–7P.
- Huxley, A.F., Simmons, R.M., 1971. Proposed mechanism of force generation in striated muscle. *Nature* 533–538.
- Huxley, H., Hanson, J., 1954. Changes in the cross-striations of muscle during contraction and stretch and their structural interpretation. *Nature* 973–976.
- Huxley, H.E., 1969. The mechanism of muscular contraction. *Science* 1356–1366.
- Iggo, A., Andres, K.H., 1989. Morphology of cutaneous receptors. *Annu. Rev. Neurosci.* 1–31, 198.
- Jacobs, J.V., Horak, F.B., 2007. Cortical control of postural responses. *J. Neural Transm.* 1339–1348.

- Johansson, H., Sojka, P., 1991. Pathophysiological mechanisms involved in genesis and spread of muscular tension in occupational muscle pain and in chronic musculoskeletal pain syndromes : A hypothesis. *Med. Hypotheses* 196–203.
- Johansson, H., Sjolander, P., Sojka, P., 1991. Receptors in the knee joint ligaments and their role in the biomechanics of the joint. *Crit. Rev. Biomed. Eng.* 341–368.
- Johansson, H., Sjolander, P., Sojka, P., 1991. A sensory role for the cruciate ligaments. *Clin. Orthop.* 161–178.
- Johansson, H., Sjolander, P., Sojka, P., 1991. Receptors in the knee joint ligaments and their role in the biomechanics of the joint. *Crit. Rev. Biomed. Eng.* 341–368.
- Johns, W., 1984. The physiological basis of physical education and athletics. In: Fox, Mathews (Eds.), Saunders.
- Johnson, B.L., 1972. Eccentric vs concentric muscle training for strength development. *Med. Sci. Sports* 111–115.
- Johnson, M.A., Sideri, G., Weightman, D., Appleton, D., 1973. A comparison of fibre size, fibre type constitution and spatial fibre type distribution in normal human muscle and in muscle from cases of spinal muscular atrophy and from other neuromuscular disorders. *J. Neurol. Sci.* 345–361.
- Jones, K.E., Wessberg, J., Vallbo, A.B., 2001. Directional tuning of human forearm muscle afferents during voluntary wrist movements. *J. Physiol.* 635–647.
- Jull, G., Sterling, M., Falla, D., Treleaven, J., O'Leary, S., 2008. Disturbances in postural stability, head and eye movement control in cervical disorders. In : Whiplash, headache and neck pain. Churchill Livingstone Elsevier.
- Kahle, W., Leonhardt, H., Platzer, W., 1979. Anatomie, Appareil locomoteur. Flammarion-Médecine-Sciences, [lieu/pages].
- Kakuda, N., Nagaoka, M., 1998. Dynamic response of human muscle spindle afferents to stretch during voluntary contraction. *J. Physiol.* 621–628.
- Kamen, G., 2005. Aging, resistance training and motor unit discharge behavior. *Can. J. Appl. Physiol.* 341–351.
- Kapandji, 1970. Physiologie Musculaire. Maloine, Paris.
- Kastelic, J., Galeski, A., Baer, E., 1978. The multicompartment structure of tendon. *Connect. Tissue Res.* 11–23.
- Katz, R., Pénicaud, A., Rossi, A., 1991. Reciprocal Ia inhibition between elbow flexors and extensors in the human. *J. Physiol.* 269–286.
- Kilgore, J.B., Mobley, B.A., 1991. Additional force during stretch of single frog muscle fibers following tetanus. *Exp. Physiol.* 579–588.
- Knott, M., Voss, D.E., 1968. Proprioceptive Neuromuscular Facilitation, Patterns and Techniques. Hoeber Medical Division. Harper & Row, New York.
- Knutson, G.A., 2000. The role of the  $\gamma$ -motor system in increasing muscle tone and muscle pain syndromes : A review of the Johansson/Sojka Hypothesis. *J. Manipulative Physiol. Ther.* 564–572.
- Kokkonen, J., Nelson, A.G., Tarawhiti, T., Buckingham, P., Glickman-Weiss, E., 2000. Stretching combined with weight training improves strength more than weight training alone. *Med. Sci. Sports Exerc.* 649.
- Kokkonen, J., Nelson, A.G., Arnall, D.A., 2001. Acute stretching inhibits strength endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 53.
- Komi, P.V., Gollhofer, A., 1997. Stretch reflexes can have an important role in force enhancement during SSC exercise. *J. Appl. Biomech.* 451–460.
- Komi, P.V., 2003. Stretch-shortening Cycle. In : Komi, P.V. (Ed.), Strength and Power in Sport. Blackwell Science Limited, Oxford, pp. 184–202.
- Kovanen, V., Suominen, H., Heikkinen, E., 1984. Collagen of slow twitch and fast twitch muscle fibres in different types of rat skeletal muscle. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 235–242.
- Kovanen, V., Suominen, H., Heikkinen, E., 1984. Mechanical properties of fast and slow skeletal muscle with special reference to collagen and endurance training. *J. Biomech.* 725–735.
- Krishnamoorthy, V., Latash, M.L., 2005. Reversals of anticipatory postural adjustments during voluntary sway in humans. *J. Physiol.* 675–684.
- Labeit, S., Kolmerer, B., Linke, W.A., 1997. The giant protein titin : emerging roles in physiology and pathology. *Circ. Res.* 290–294.
- Lakie, M., Robson, L.G., 1988. Thixotropic changes in human muscle stiffness and the effects of fatigue. *Q. J. Exp. Physiol.* 487–500.
- Laporte, Y., Lloyd, D.P.C., 1952. Nature and significance of the reflex connections established by large afferent fibres of muscular origin. *Am. J. Physiol.* 609–621.
- Latash, M.L., Jaric, S., 1998. Instruction-dependent muscle activation patterns within a two-joint synergy : Separating mechanics from neurophysiology. *J. Mot. Behav.* 194–198.
- Lecomte-Beckers, J., 2009. Physique des matériaux : partie polymères. Université de Liège, Belgique.
- Lee, W.A., Buchanan, T.S., Rogers, M.W., 1987. Effects of arm acceleration and behavioral conditions on the organization of postural adjustments during arm flexion. *Exp. Brain Res.* 257–270.
- Lee, W.A., Boughton, A., Rymer, W.Z., 1987. Absence of Stretch Reflex Gain Enhancement in Voluntarily Activated Spastic Muscle. *Exp. Neurol.* 317–335.
- Lehmann, J.F., Masock, A.J., Warren, C.G., Koblanski, J.N., 1970. Effect of therapeutic temperatures on tendon extensibility. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 481–487.
- Lewis, G.N., MacKinnon, C.D., Perreault, E.J.L., 2006. The effect of task instruction on the excitability of spinal and supraspinal reflex pathways projecting to the biceps muscle. *Exp. Brain Res.* 413–425.

- Liddell, E.G.T., Sherrington, C.S., 1924. Reflexes in response to stretch (Myotatic reflexes). *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 96, 212–242.
- Lieber, R.L., Thornell, L.E., Friden, J., 1996. Muscle cytoskeletal disruption occurs within the first 15 min of cyclic eccentric contraction. *J. Appl. Physiol.* 278–284.
- Lieber, R.L., Shah, S., Friden, J., 2002. Cytoskeletal disruption after eccentric contraction-induced muscle injury. *Clin. Orthop.* 90–99.
- Lloyd, D.P.C., 1946. Facilitation and inhibition of spinal motoneurons. *J. Neurophysiol.* 421–438.
- Lomo, T., Westgaard, R.H., Dahl, H.A., 1974. Contractile properties of muscle : control by pattern of muscle activity in the rat. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 99–103.
- Lund, J.P., Donga, R., Widmer, C.G., Stohler, C.S., 1991. The pain-adaptation model : a discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 683–694.
- Maertens De Noordhout, A., Delvaux, V., Delwaide, P.J., [date]. Il tono muscolare e i suoi disturbi. EMC - Elsevier Masson, Paris, 17-007-A-20.
- Maertens de Noordhout, A., Rothwell, J.C., Day, B.L., Dressler, D., Nakashima, K., Thompson, P.D., et al., 1992. Effect of digital nerve stimuli on responses to electrical or magnetic stimulation of the human brain. *J. Physiol.* 535–548.
- Magid, A., Law, D.J., 1985. Myofibrils bear most of the resting tension in frog skeletal muscle. *Science* 1280–1282.
- Magnusson, S.P., 1998. Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 65–77.
- Magnusson, S.P., Simonsen, E.B., Aagaard, P., Gleim, G.W., McHugh, M.P., Kjaer, M., 1995. Viscoelastic response to repeated static stretching in the human hamstring muscle. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 342–347.
- Magnusson, S.P., Simonsen, E.B., Aagaard, P., Kjaer, M., 1996. Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *Am. J. Sports Med.* 622–628.
- Magnusson, S.P., Aagaard, P., Simonsen, E.B., Bojsen-Moller, F., 1998. A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. *Int. J. Sports Med.* 310–316.
- Mansour, J.M., Pereira, J.M., 1987. Quantitative functional anatomy of the lower limb with application to human gait. *J. Biomech.* 51–58.
- Mao, C.C., Ashby, P., Wang, M., McCrea, D., 1984. Synaptic Connections from large muscle afferents to the motoneurons of various leg muscles in man. *Exp. Brain Res.* 341–350.
- Marsden, C.D., Merton, P.A., Morton, H.B., 1979. Anticipatory postural responses in the human subject. *J. Physiol.* 47P–48P.
- Marsden, C.D., Rothwell, J.C., Day, B.L., 1983. Long latency automatic responses to muscle stretch in man : origin and function. In : Desmedt, J.E. (Ed.), *Motor Control mechanisms in Health and Disease*. Raven Press, New York, pp. 509–539.
- Masi, A.T., Hannon, J.C., 2008. Human resting muscle tone : narrative introduction and modern concepts. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 320–332.
- Massion, J., Alexandrov, A., Frolov, A., 2004. Why and how are posture and movement coordinated? *Progr. Brain Res.* 13–27.
- Massonnet, C., Cescotto, S., 2001. *Mécanique des matériaux*. De Boeck, Paris-Bruxelles.
- Mattews, P.B.C., 1991. The human stress reflex and the motor cortex. *Trends Neurosci.* 87–91.
- Mazzocchio, R., Rossi, A., Rothwell, J.C., 1994. Depression of Renshaw recurrent inhibition by activation of corticospinal fibres in human upper and lower limb. *J. Physiol.* 487–498.
- McHugh, M.P., Connelly, D.A.J., Esron, R.G., Kremenec, I.J., Nicholas, S.J., Gleim, G.W., 1999. The role of passive muscle stiffness in symptoms of exercise-induced muscle damage. *Am. J. Sports Med.* 594–599.
- McKloskey, D.I., 1978. Kinesthetic sensibility. *Physiol. Rev.* 763–820.
- McNulty, P.A., Macefield, V.G., 2001. Modulation of ongoing EMG by different classes of low-threshold mechanoreceptors in the human hand. *J. Physiol.* 1021–1032.
- Melville Johns, G., Watt, D.G.D., 1971. Muscular control of landing from unexpected falls in man. *J. Physiol.* 729–737.
- Meunier, S., Pierrot-Descilligny, E., Simonetta, M., 1993. Pattern of monosynaptic heteronymous Ia connections in the human lower limb. *Exp. Brain Res.* 534–544.
- Micheli, L.J., 1986. Lower extremity overuse injuries. *Acta Med. Scand. Suppl.* 171–177.
- Micheli, L.J., 1986. Pediatric and adolescent sports injuries : recent trends. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 359–374.
- Moore, M.A., Kukulka, C.G., 1991. Depression of Hoffmann reflexes following voluntary contraction and implications for proprioceptive neuromuscular facilitation therapy. *Phys. Ther.* 321–329; discussion 329–33.
- Morgan, D.L., Whitehead, N.P., Wise, A.K., Gregory, J.E., Proske, U., 2000. Tension changes in the cat soleus muscle following slow stretch or shortening of the contracting muscle. *J. Physiol.* 503–513.
- Moss, C.L., 1991. Comparison of histochemical and contractile properties of human gastrocnemius muscle. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 322–327.
- Nashner, L.M., 1976. Adapting reflexes controlling the human posture. *Exp. Brain Res.* 59–72.
- Nashner, L.M., 1979. Organization and programming of motor activity during posture control. *Prog. Brain Res.* 177–184.

- Nashner, L.M., 2001. Computerized dynamic posturography. In : Goebel, J.A. (Ed.), *Practical management of the dizzy patient*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp. 143–170.
- Newsom Davis, J., Sears, T.A., 1970. The proprioceptive reflex control of the intercostals muscles during their voluntary activation. *J. Physiol.* 711–738.
- Newton, P.O., Woo, S.L., MacKenna, D.A., Akeson, W.H., 1995. Immobilization of the knee joint alters the mechanical and ultrastructural properties of the rabbit anterior cruciate ligament. *J. Orthop. Res.* 191–200.
- Nielsen, L.E. *Mechanical Properties of Polymers*. Reinhold Publishing Corporation. Library of Congress.
- Noonan, T.J., Best, T.M., Seaber, A.V., Garrett Jr., W.E., 1993. Thermal effects on skeletal muscle tensile behavior. *Am. J. Sports Med.* 517–522.
- Nouwen, A., Akkerveken, P., Versloot, J., 1987. Patterns of muscular activity during movement in patients with chronic low back pain. *Spine* 777–782.
- Noyes, F.R., 1977. Functional properties of knee ligaments and alterations induced by immobilization : a correlative biomechanical and histological study in primates. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 210–242.
- Oie, K.S., 2002. Multisensory fusion : simultaneous reweighting of vision and touch for the control of human posture. *Cogn. Brain Res.* 164–176.
- Patel, T.J., Lieber, R.L., 1997. Force transmission in skeletal muscle : from actomyosin to external tendons. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 321–363.
- Patton, H.D., Fuchs, A., Hille, B., et al., 1989. *Textbook of Physiology*. Saunders, Philadelphia.
- Pearson, K., Gordon, J., 2000. Locomotion. In : Kandel, E., Schwartz, J.H., Jessell, T.M. (Eds.), *Principles of neural science*. McGraw Hill, New York, pp. 737–755.
- Pearson, K., Gordon, J., 2000. Spinal Reflexes. In : Kandel, E., Schwartz, J.H., Jessell, T.M. (Eds.), *Principles of neural science*. Elsevier, New York, pp. 713–736.
- Perez, M.A., Field-Fote, E.C., Floeter, M.K., 2003. Patterned sensory stimulation induce plasticity in reciprocal Ia inhibition in human. *J. Neurosci.* 2014–2018.
- Peterka, R.J., 2002. Sensorimotor integration in human postural control. *J. Neurophys.* 1097–1118.
- Petersen, T.H., Rosenberg, K., Petersen, N.C., Nielsen, J.B., 2009. Cortical involvement in anticipatory postural reactions in man. *Exp. Brain Res.* 161–171.
- Pierrot-Deseilligny, E., Morin, C., Bergego, C., Tankov, N., 1981. Patterns of group I fiber projections from ankle flexor and extensor muscles in man. *Exp. Brain Res.* 337–350.
- Pierrot-Deseilligny, E., Burke, D., 2005. *The Circuitry of the Human spinal cord*. Cambridge University press, Cambridge.
- Pierrynowski, M.R., Morrison, J.B., 1985. *A Physiological Model for the Evaluation of Muscular Forces in Human Locomotion : Theoretical Aspects*. Math. Biosci. 69–101.
- Pope, M.H., Johnson, R.J., Brown, D.W., Tighe, C., 1979. The role of the musculature in injuries to the medial collateral ligament. *J. Bone Joint Surg. Am.* 398–402.
- Pressel, T., Lengsfeld, M., 1998. Functions of hip joint muscles. *Med. Eng. Phys.* 50–56.
- Prochazka, A., 1996. Proprioceptive feedback and movement regulation. In : Rowell, L.B., Shepherd, J.T. (Eds.), *Handbook of Physiology, Exercise : Regulation and Integration of Multiple Systems*. Oxford University Press, New York, pp. 89–127.
- Proske, U., Morgan, D.L., 1999. Do cross-bridges contribute to the tension during stretch of passive muscle? *J. Muscle Res. Cell. Motil.* 433–442.
- Pynt, J., Mackey, M.G., Higgs, J., 2008. Kyphosed seated postures : extending concepts of postural health beyond the office. *J. Occup. Rehabil.* 35–45.
- Quant, S., Adkin, A.L., Staines, W.R., Maki, B.E., McIlroy, W.E., 2004. The effect of a concurrent cognitive task on cortical potentials evoked by unpredictable balance perturbations. *BMC Neurosci.* 18.
- Renshaw, B., 1941. Influence of discharge of motoneurons upon excitation of neighboring motoneurons. *J. Neurophysiol.* 167–183.
- Richard, D., Orsal, D., 2001. *Neurophysiologie, Organisation et fonctionnement du système nerveux*. Dunod, Paris.
- Roll, J.P., Roll, R., 1987. La proprioception extra-oculaire comme élément de référence posturale et de lecture spatiale des données rétinienne. *Agressologie* 905–912.
- Roll, J.P., Vedel, J.P., Ribot, E., 1989. Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man : a microneurographic study. *Exp. Brain Res.* 213–222.
- Roll, J.P., Vedel, J.P., Roll, R., 1989. Eye, head and skeletal muscle spindle feedback in the elaboration of body references. *Prog. Brain Res.* 113–123.
- Roncesvalles, M.N., Woollacott, M.H., Brown, N., Jensen, J.L., 2004. Click-evoked vestibular response : is control of the hip possible in the newly walking child? *J. Mot. Behav.* 147–159.
- Rossi-Durand, C., 2006. Proprioception and myoclonus. *Neurophysiol. Clin.* 299–308.
- Rothwell, J.C., Colebatch, J.G., Bronstein, A., Ludman, H., 1994. Click-evoked vestibular activation in the Tullio phenomenon. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 1538–1540.
- Roy, S., Deluca, C., Casavant, D., 1989. Lumbar muscle fatigue and chronic low back pain. *Spine* 992–1001.
- Safran, M.R., Garrett Jr., W.E., Seaber, A.V., Glisson, R.R., Ribbeck, B.M., 1988. The role of warm-up in muscular injury prevention. *Am. J. Sports Med.* 123–129.
- Sapega, A.A., Nicholas, J.A., 1981. *The Clinical Use of Musculo skeletal Profiling in Orthopaedic Sports Medicine*. Phys. Sportsmed. 80–88.



- Sapega, A.A., Quedenfeld, T.C., Moyer, R.A., Butler, R.A., 1981. Biophysical factors in range-of-motion exercise. *Phys. Sportsmed.* 57–65.
- Sasaki, N., Enyo, A., 1995. Viscoelastic properties of bone as a function of water content. Division of Biological Sciences, Graduate School of Science Hokkaido University, Sapporo, Japan. *J. Biomech.* 809–815.
- Schieppati, M., Nardone, A., 1999. Group II spindle afferent fibers in humans : Their possible role in the reflex control of the stance. In : Binder, M.D. (Ed.), *Progress in Brain Research*. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 461–472.
- Schleip, R., Naylor, I.L., Ursu, D., Melzer, W., Zorn, A., Wilke, H.J., et al., 2006. Passive muscle stiffness may be influenced by active contractility of intramuscular connective tissue. *Med. Hypotheses* 66–71.
- Schmidtbleicher, D., 1985. L'entraînement de force ; 1<sup>re</sup> partie : classification des méthodes. *Sciences du Sport*.
- Schmidtbleicher, D., 1985. L'entraînement de force ; 2<sup>e</sup> partie : l'analyse structurelle de la force motrice et de son application à l'entraînement. *Sciences du Sport*.
- Schmidt, R.A., Lee, T.D., 1999. Motor control and learning : a behavioural emphasis. *Human Kinetics Publishers, Champaign*.
- Schmidt, R.A., Teasdale, N., 1991. Deceleration requirements and the control of pointing movements. *J. Mot. Behav.* 131–138.
- Schmitz, C., Martin, N., Assaiante, C., 2002. Building anticipatory postural adjustment during childhood : a kinematic and electromyographic analysis of unloading in children from 4 to 8 years of age. *Exp. Brain Res.* 354–364.
- Schober, H., Kraif, W., Wittekop, G., Schmidt, H., 1990. Beitrag zum Einfluß verschiedener Dehnungsformen auf das muskuläre Entspannungsverhalten des M. quadriceps femoris. *Medizin und Sport* 88–91.
- Shadwick, R.E., 1990. Elastic energy storage in tendons : mechanical differences related to function and age. Department of Biology, University of Calgary, Alberta, Canada. *J. Appl. Physiol.* 1033–1040.
- Sherrington, C.S., 1897. On reciprocal innervation of antagonist muscles. *Proceeding of the Royal Society* 408–417.
- Sherrington, C.S., 1906. The integrative action of the nervous system. *University Press, Cambridge*.
- Sherrington, C.S., 1909. On plastic tonus and proprioceptive reflexes. *Quart. J. Exp. Physiol.* 109–156.
- Sherrington, C.S., 1915. Postural activity of muscle and nerve. *Brain* 191–234.
- Shirley, D., Hodges, P.W., Eriksson, A.E., Gandevia, S.C., 2003. Spinal stiffness changes throughout the respiratory cycle. *J. Appl. Physiol.* 1467–1475.
- Simoneau, G.G., Ulbrecht, J.S., Derr, J.A., Cavanagh, P.R., 1995. Role of somatosensory input in the control of human posture. *Gait Posture* 115–122.
- Sinkjaer, T., 1997. Muscle reflexes and central components in the control of the ankle joint in healthy and spastic man. *Acta Neurol. Scand.* 1–28.
- Sjölander, P., Johansson, H., Djupsjöbacka, M., 2002. Spinal and supraspinal effects of activity in ligament afferents. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 167–176.
- Smith, J.W., 1954. Muscular control of the arches of the foot in standing : an electromyographic assessment. *J. Anat.* 152–163.
- Snell, 2003. *Neuroanatomía Clínica*. Editorial Panamericana.
- Solomonow, M., Zhou, B.H., Harris, M., Lu, Y., Baratta, R.V., 1998. The ligamento-muscular stabilizing system of the spine. *Spine* 2552–2562.
- Stein, R.B., Thomson, A.K., 2006. Muscles reflexes in motion : how, what & why? *Exerc. Sport Sci. Rev.* 145–153.
- Stewart, R.J., Semerjian, J., Schmidt, C.F., 1998. Highly processive motility is not a general feature of the kinesins. *Eur. Biophys. J.* 53–60.
- Stokes, M., Young, A., 1984. The contribution of reflex inhibition to arthrogenous muscle weakness. *Clin. Sci.* 7–14.
- Strasser, H., 1917. *Lehrbuch der Muskel und Gelenkmechanik*, Bd III : Teil untere Extremität Berlin.
- Stuart, D.G., Enoka, R.M., 1983. Motoneurons, motor units and the size principle. In : Willis Jr., W.D. (Ed.), *The clinical neurosciences*. Churchill Livingstone, New York, pp. 471–517.
- Szeto, G.P., Straker, L.M., O'Sullivan, P.B., 2009. Neck-shoulder muscle activity in general and task-specific resting postures of symptomatic computer users with chronic neck pain. *Man. Ther.* 338–345.
- Taylor, A., 2002. Give proprioceptors a chance. *Adv. Exp. Med. Biol.* 508, 327–334.
- Taylor, B.F., Waring, C.A., Brashear, T.A., 1995. The effects of therapeutic application of heat or cold followed by static stretch on hamstring muscle length. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 283–286.
- Thein, R., Eichenblat, M., 1999. Concealed knee cartilage lesions : is arthroscopic probing therapeutic? *Am. J. Sports Med.* 495–499.
- Tillmann, B., Töndury, G., 1987. *Anatomic des Menschen*. Thieme, Stuttgart.
- Trappe, T.A., Carrithers, J.A., White, F., Lambert, C.P., Evans, W.J., Dennis, R.A., 2002. Titin and nebulin content in human skeletal muscle following eccentric resistance exercise. *Muscle Nerve* 289–292.
- Vallbo, A.B., 1974. Human muscle spindle discharge during isometric voluntary contractions, Amplitude relations between spindle frequency and torque. *Acta Physiol. Scand.* 319–336.
- Viidik, A., 1968. Elasticity and tensile strength of the anterior cruciate ligament in rabbits as influenced by training. *Acta Physiol. Scand.* 372–380.
- Viidik, A., 1968. An apparatus for the measurement of small tensions. *Experientia* 861–862.

- Viidik, A., 1968. A rheological model for uncalcified parallel-fibred collagenous tissue. *J. Biomech.* 3–11.
- Viidik, A., 1973. Functional properties of collagenous tissues. *Int. Rev. Connect. Tissue Res.* 127–215.
- Viidik Andrus (Editor), Vuust Jens (Editor) Statens Lgevidenskabelige Forskningsrad (Denmark) (Author), Aarhus Universitet Forskningsfondet (Corporate Author), Denmark Universitet Lgevidenskabelige Fakultet Aarhus (Corporate Author), 1980. *Biology of Collagen*.
- Viidik, A., Danielsen, C.C., Oxlund, H., 1982. On fundamental and phenomenological models, structure and mechanical properties of collagen, elastic and glycosaminoglycan complexes. Fourth International Congress of Biorheology Symposium on Mechanical Properties of Living Tissues. *Biorheology* 437.
- Voigt, M., Dhyre-Poulsen, P., Simonsen, E.B., 1998. Modulation of short latency stretch reflexes during human hopping. *Acta Physiol. Scand.* 181–194.
- Walsh, S., Frank, C., Shrive, N., Hart, D., 1993. Knee immobilization inhibits biomechanical maturation of the rabbit medial collateral ligament. *Clin. Orthop.* 253–261.
- Walsh, L.D., Smith, J.L., Gandevia, S.C., Taylor, J.L., 2009. The combined effect of muscle contraction history and motor commands on human position sense. *Exp. Brain Res.* 603–610.
- Wang, K., McClure, J., Tu, A., 1979. Titin : major myofibrillar components of striated muscle. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 3698–3702.
- Warren, C.G., Lehaman, J.F., Koblanski, J.N., 1976. Heat and stretch procedures : an evaluation using rat tail tendon. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 122–126.
- Weber, B., Gagey, P.M., 1999. *Posturologie, Régulation et dérèglements de la station debout*. Masson Collection, Bois-Larris.
- Whitehead, N.P., Gregory, J.E., Morgan, D.L., Proske, U., 2001. Passive mechanical properties of the medial gastrocnemius muscle of the cat. *J. Physiol.* 893–903.
- Wiemann, K., Klee, A., 2000. Die Bedeutung von Dehnen und Stretching in der Aufwärmphase vor Höchstleistungen. *Leistungssport* 5–9.
- Wiktorsson-Moeller, M., Oberg, B., Ekstrand, J., et al., 1983. Effect of warming up, massage, and stretching on range of motion and muscle strength in the lower extremity. *Am. J. Sports Med.* 249–252.
- Wilkie, D.R., 1966. Muscle. *Annu. Rev. Physiol.* 17–38.
- Wilkie, D.R., 1968. Symposium on Muscle. In : *Symposia Biologica Hungarica*. Ernst, E., & Straub, F.B., Budapest.
- Williams, P.E., Goldspink, G., 1971. Longitudinal growth of striated muscle fibers. *J. Cell Sci.* 751–767.
- Williams & Warwick, 1985. *Gray Anatomia*. Editorial Salvat, España.
- Williams, P.E., Catanese, T., Lucey, E.G., Goldspink, G., 1988. The importance of stretch and contractile activity in the prevention of connective tissue accumulation in muscle. *England J. Anat.* 109–114.
- Wilson, G.J., Elliot, B.C., Wood, B.A., 1992. Stretch shorten cycle performance enhancement through flexibility training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 116–123.
- Wilson, G.J., Murphy, A.J., Pryor, J.F., 1994. Musculo-tendinous stiffness : its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. *J. Appl. Physiol.* 2714–2719.
- Windhorst, U., 1996. On the role of recurrent inhibitory feedback in motor control. *Prog. Neurobiol.* 517–587.
- Windhorst, U., 2007. Muscle proprioceptive feedback and spinal networks. *Brain Res. Bull.* 155–202.
- Winegrad, S., Robinson, T.F., 1978. Force generation among cells in the relaxing heart. *Eur. J. Cardiol.* 63–70.
- Woo, S.L., Gomez, M.A., Amiel, D., Ritter, M.A., Gelberman, R.H., Akeson, W.H., 1981. The effect of exercise on the biochemical and biochemical properties of swine digital flexor tendons. *J. Biomech. Eng.* 51–56.
- Woo, M., Tanabe, Y., Ishii, H., Nonaka, I., Yokoyama, M., Esaki, K., 1987. Muscle fiber growth and necrosis in dystrophic muscles : a comparative study between dy and mdx mice. *J. Neurol. Sci.* 111–122.
- Wright, J.C., Jones, R.O., 1983. Revisional left ankle arthrodesis for pseudoarthrosis. *J. Foot Surg.* 57–59.
- Wydra, G., 1997. Stretching, ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung. *Sportwissenschaft* 409–427.
- Wydra, G., Bös, K., Karisch, G., 1991. Zur Effectivität verschiedener Dehtechniken. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 386–400.
- Yang, H., Alnaqeb, M., Simpson, H., Goldspink, G., 1997. Changes in muscle fiber type, muscle mass and IGF-I gene expression in rabbit skeletal muscle subjected to stretch. *J. Anat.* 613–622.
- Young, A., Stokes, M., Iles, J.F., 1987. Effects of joint pathology on muscle. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 21–27.
- Zalpour, C., 2002. *Physiology Anatomy*. Urban and Fischer, Munich.
- Zatsiorski, V.M., 1966. *Les qualités physiques du sportif*. Insep.
- Zattara, M., Bouisset, S., 1988. Posturo-kinetic organisation during the early phase of voluntary upper limb movement. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 956–965.



# Index

## A

Actine-myosine, 5  
Actions répétitives, 160  
Amplitudes segmentaires, 123  
Analytique, 97  
Angle de pennation, 19  
Aponévroses d'enveloppe, 8  
Architecture fasciculaire, 18

## C

Caractéristique fonctionnelle  
d'un muscle, 72  
Cellule de Renshaw, 30  
Centralisation des moyens, 48  
Centre phrénique, 49  
Centres vestibulaires, 41  
Cervelet, 42  
Chaîne maîtresse antérieure, 55  
Chaîne maîtresse postérieure, 55  
Chaînes de coordination neuromusculaire, 57  
Coefficient d'élasticité, 101  
Cohérences fonctionnelles, 57  
Collagène, 6  
Commande motrice, 25  
Compensations, 127  
Composante de tassement, 68  
Compression articulaire, 70  
Contraction isotonique concentrique, 16  
Contraction isotonique excentrique, 17  
Contraction permanente, 78  
Contrainte, 103  
Corpuscules de Pacini, 33  
Corpuscules de Ruffini, 33  
Coupes diaphragmatiques, 49  
Critères de normalité, 77  
Cyphose de la position assise, 134

## D

Décubitus, 109  
Déformation définitive, 102  
Déséquilibres opposés, 71  
Dogme du renforcement musculaire, 154

## E

Échappement à la douleur, 62  
Effet cumulatif, 131  
Élastine, 8  
Endomysium, 5  
Épimysium, 5  
Évolution de l'espèce, 46  
Excentricité, 126  
Expirations paradoxales, 131  
Extensibilité musculaire, 157

## F

Facteurs pathogènes inhérents  
à l'activité musculaire, 67  
Fascias, 8  
Feed-back, 39  
Feed-forward, 39  
Fibres à chaîne, 28  
Fibres à sac, 27  
Fibres lentes, 3  
Fibres rapides, 4  
Fonctions hégémoniques, 49  
Formation réticulaire, 41  
Fuseaux neuromusculaires, 27

## G

Ganglions basaux, 41  
Global, 97  
Globalité restreinte, 100  
Groupes musculaires hégémoniques, 82

## H

Hémiplégique spastique, 56  
Holistique, 99  
Hypercyphose dorsale, 79  
Hypertonie, 26  
Hypotonie, 26

## I

Informations visuelles, 38  
Inhibition réciproque, 29  
Insistance particulière, 133  
Inversions d'action musculaire, 84

**L**

Lésion articulaire, 74  
 Liaisons croisées, 7  
 Liaisons transversales, 105  
 Libération du mouvement, 130  
 Libération spatiale du geste, 48

**M**

Messages nociceptifs, 59  
 Messages proprioceptifs, 39  
 Mise en tension progressive, 112  
 Modifications, 147  
 Moment de la force, 20  
 Motoneurones alpha, 34  
 Motoneurones gamma, 28, 31  
 Mouvements physiologiques, 123  
 Muscles penniformes, 19  
 Muscles spinaux, 54

**O**

Objectifs fonctionnels, 60, 148  
 Ontogénie, 45  
 Organes tendineux de Golgi, 32  
 Organisation des déséquilibres, 91

**P**

*Panacea*, 98  
 Pénibilité, 154  
 Perfection morphologique, économie  
   et confort, 71  
 Périmysium, 5  
 Perte de l'élasticité, 67  
 Phylogenèse, 45  
 Plastoélastiques, 102  
 Point d'équilibre du thorax, 75  
 Ponts, 13  
 Positions de traitement, 109  
 Postures en charge, 110  
 Pré-tension, 16  
 Principes de la physiopathologie rétractile mus-  
   culaire, 93  
 Problèmes micro-lésionnels  
   et macro-morphologiques, 125

Progressivité, 124  
 Propagation des compensations, 61

**R**

Rappel élastique, 16  
 Réflexe myotatique direct, 27  
 Réflexe tendineux, 32  
 Regroupement, 47  
 Regroupement statique, 71  
 Régulation du tonus, 25  
 Rétraction musculaire, 67

**S**

Sauvegarder les acquis, 161  
 Sentir, faire et obtenir, 129  
 Simple adaptation, 62  
 Stabilité fonctionnelle, 37  
 Stabilité structurelle, 37  
*Stretch shortening cycle*, 157  
 Surfaces d'appui, 38  
 Surface de section transversale du muscle, 20  
 Suspension et regroupement, 91  
 Système d'extension postérieur, 90  
 Système médiastinal, 50  
 Système somato-sensoriel, 38

**T**

Temps de traction, 129  
 Tendon, 9  
 Terminaisons libres, 33  
 Tissus conjonctifs, 16  
 Titine, 12  
 Traction passive, 128

**U**

Unité motrice, 34

**V**

Validité, 153  
 Viscoélastiques, 102  
 Vitesse d'étirement, 103