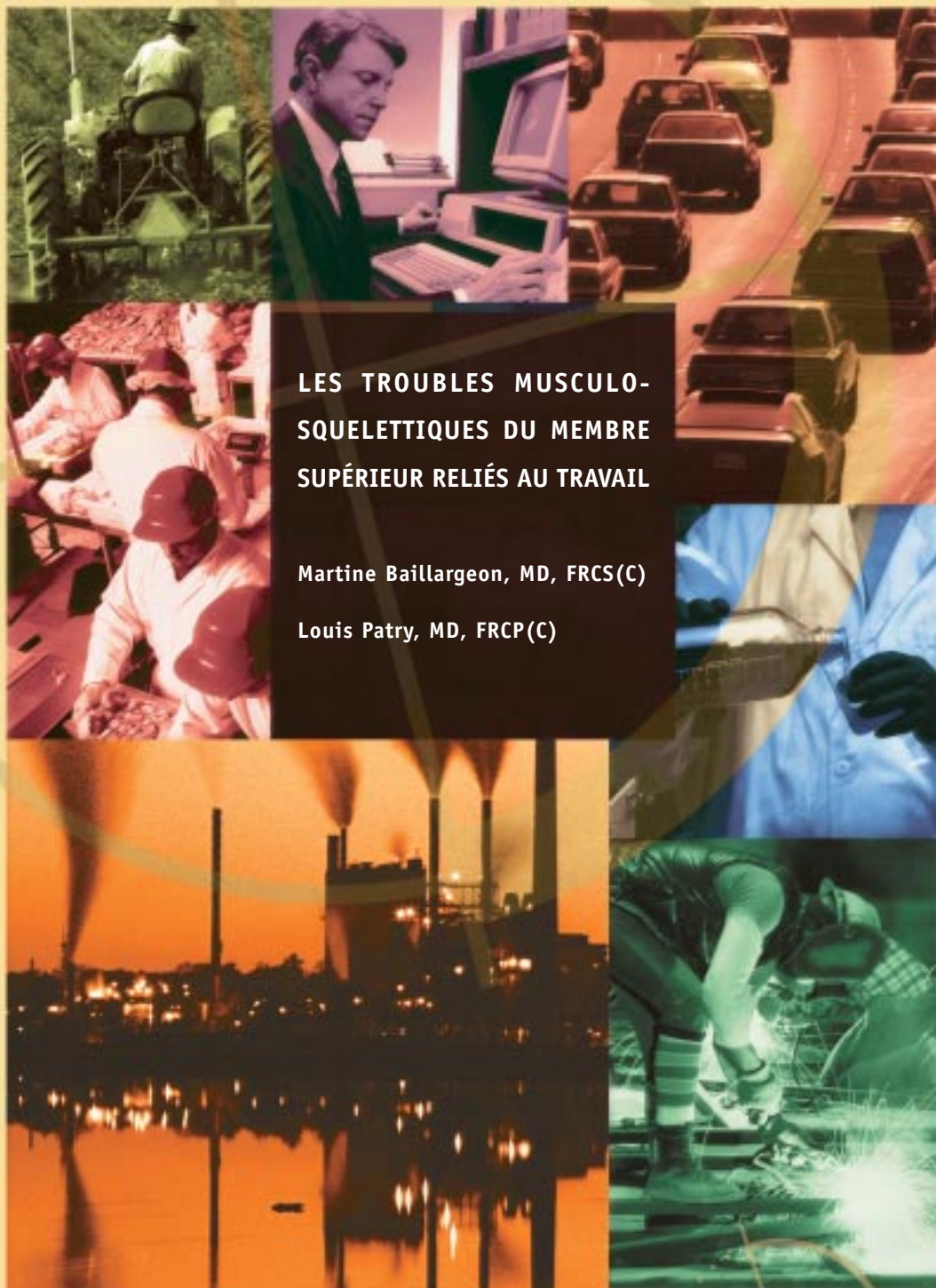




RÉGIE RÉGIONALE
DE LA SANTÉ ET DES
SERVICES SOCIAUX
DE MONTRÉAL-CENTRE

Direction de santé publique



LES TROUBLES MUSCULO- SQUELETTIQUES DU MEMBRE SUPÉRIEUR RELIÉS AU TRAVAIL

Martine Baillargeon, MD, FRCS(C)

Louis Patry, MD, FRCP(C)

Clinique interuniversitaire
de santé au travail et de
santé environnementale

SEPTEMBRE 2003

Les troubles musculo-squelettiques du membre supérieur reliés au travail :

**définitions, anatomie fonctionnelle, mécanismes
physiopathologiques et facteurs de risque.**

**Martine Baillargeon, MD, FRCS(C), spécialiste en chirurgie plastique et ergonome
Louis Patry, MD, FRCP(C), spécialiste en médecine du travail et ergonome**

**Clinique interuniversitaire de santé au travail et de santé environnementale
Direction de santé publique de Montréal-Centre**

Septembre 2003

Une réalisation de l'unité Santé au travail et Santé environnementale
Direction de santé publique de Montréal-Centre, mandataire

© Direction de santé publique
Régie régionale de la santé et des services sociaux de Montréal-Centre (2002)
Tous droits réservés

Dépôt légal : 3^e trimestre 2003
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

ISBN : 2-89494-390-3



Membres du groupe de travail

Auteurs :

Martine Baillargeon, M.D., FRCS (C), Médecin-conseil, Clinique Interuniversitaire de santé au travail et environnementale, Direction de santé publique de Montréal-Centre

Louis Patry, M.D., FRCP (C), Médecin-conseil, Clinique Interuniversitaire de santé au travail et environnementale, Direction de santé publique de Montréal-Centre

Conseillère en communications :

Anne Marie Comparot

Infographe :

Julie Milette

Illustrateur :

Stéphane Bourelle

Avant-propos

Ce module d'enseignement sur les troubles musculo-squelettiques du membre supérieur, réalisé par deux médecins de l'équipe soutien aux pratiques cliniques préventives de la Clinique interuniversitaire de santé au travail et de santé environnementale, s'inscrit dans une des orientations de la Direction de la santé publique de Montréal axée vers le soutien aux médecins et la prévention en pratique médicale dans le domaine de la santé au travail et environnementale.

Malgré l'évolution de la technologie, les troubles musculo-squelettiques représentent toujours une problématique importante en santé au travail. Même si dans bien des cas, le travail est moins exigeant au plan physique, on constate que les facteurs liés à l'organisation et aux nouvelles méthodes de travail ont de plus en plus d'impact sur le système musculo-squelettique.

Ce module, visant à répondre aux besoins d'amélioration des connaissances et de soutien exprimés par les médecins et les intervenants en santé au travail, met principalement l'accent sur la compréhension des différents mécanismes biomécaniques et physiopathologiques. Nous croyons qu'il sera ainsi plus facile d'apprécier les manifestations cliniques découlant d'une exposition professionnelle à des facteurs de risque.

Avec la publication de ce module, la Direction de la santé publique de Montréal et la Clinique interuniversitaire de santé au travail et de santé environnementale posent une action de plus dans leurs efforts de soutien à la formation. Ainsi, les intervenants pourront avoir accès aux connaissances les plus récentes, favorisant l'analyse des facteurs de risque présents dans le milieu de travail et la mise en place d'actions préventives.



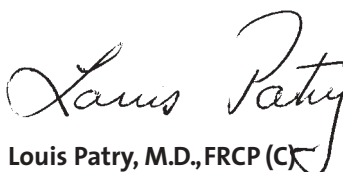
Richard Lessard, M.D.

Directeur de la Direction de santé publique
de Montréal-Centre



Louis Drouin, M.D., M.P.H.

Responsable d'unité
Santé au travail et santé environnementale



Louis Patry, M.D., FRCP (C)

Responsable de la clinique interuniversitaire
de santé au travail et santé environnementale

Table des matières

AVANT-PROPOS	7
TABLE DES MATIÈRES	9
INTRODUCTION	15
1 DÉFINITIONS ET CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES LÉSIONS MUSCULO-SQUELETTIQUES	17
2 NOTIONS D'ANATOMIE ET DE PHYSIOLOGIE.....	19
2.1 LES ARTICULATIONS	19
2.1.1 Le cartilage articulaire	20
2.1.2 L'appareil capsulo-ligamentaire.....	20
2.2 LES OS	20
2.3 LES MUSCLES SQUELETTIQUES	20
2.3.1 Composition du muscle	21
2.3.2 Contraction musculaire.....	22
2.3.3 Phases de la contraction	22
2.3.4 Types de contraction	23
2.3.5 Apport énergétique	23
2.3.6 Types de fibres	24
2.3.7 Travail statique et dynamique	24
2.3.8 Synergisme et antagonisme	26
2.3.9 Réponse musculaire à l'application d'une force : l'effort	26
2.3.10 Efficacité de la force de contraction	27
2.3.11 Le système de leviers	28
2.3.12 Fatigue musculaire	31

2.4	LES TENDONS	32
2.4.1	Propriétés du tendon et forces dynamiques.....	33
2.4.2	Enthèse	35
2.5	LES BOURSES ET LES GAINES TENDINEUSES	35
2.6	LES SYSTÈMES OPÉRATIONNELS	35
2.6.1	Le système vasculaire.....	35
2.6.2	Le système nerveux périphérique.....	36
3	FACTEURS DE RISQUE DU MILIEU DE TRAVAIL ASSOCIÉS AUX TMS DU MEMBRE SUPÉRIEUR.....	39
3.1	FACTEURS DE MODULATION DES FACTEURS DE RISQUE	40
3.2	FACTEURS BIOMÉCANIQUES	40
3.2.1	La répétitivité	40
3.2.2	La force.....	41
3.2.3	La posture et les mouvements	43
3.2.4	Périodes de récupération	44
3.3	FACTEURS PHYSIQUES	47
3.3.1	Pressions locales	47
3.3.2	Vibrations, impacts	47
3.4	FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX	47
3.4.1	Le froid	47
3.5	FACTEURS ORGANISATIONNELS.....	47
3.6	FACTEURS PSYCHOSOCIAUX	49

Table des matières

3.7	FACTEURS INTRINSÈQUES ET RISQUE DE TMS	49
3.7.1	L'âge	50
3.7.2	Le sexe	50
3.7.3	Mesures anthropométriques	51
3.7.4	Maladies métaboliques, troubles inflammatoires généralisés et maladies neuromusculaires	51
3.7.5	Divers	51
4	MÉCANISMES PHYSIOPATHOLOGIQUES DE LA BLESSURE	53
5	APPRÉCIATION DU LIEN ÉTIOLOGIQUE ENTRE LES FACTEURS DE RISQUE ET LES ATTEINTES À LA SANTÉ	55
5.1	LA LITTÉRATURE ÉPIDÉMIOLOGIQUE.....	55
5.2	DÉMARCHE D'ÉVALUATION CLINIQUE.....	56
5.2.1	Évaluation du travailleur	56
5.2.2	Évaluation de l'activité de travail	56
5.3	DÉMARCHE D'APPRÉCIATION DU LIEN ÉTIOLOGIQUE	58
5.4	INDEMNISATION	59
	CONCLUSION	61
	QUESTIONS DE RÉVISION	63
	BIBLIOGRAPHIE	65

La notion de troubles musculo-squelettiques reliés au travail n'est pas nouvelle. Déjà, en 1713, Bernardo Ramazzini décrivait : « ...certain violent and unnatural postures of the body, by reason of which the natural structure of the vital machine is so impaired that serious diseases gradually develop therefrom ». Par contre, c'est surtout au cours des 20 dernières années que les études épidémiologiques ont exploré l'association entre l'environnement de travail et les lésions musculo-squelettiques du membre supérieur (Gordon, S.L. et al., 1995).

L'objectif de ce document est de vous faire part des connaissances actuelles concernant les lésions musculo-squelettiques du membre supérieur. Quoique les études prospectives soient peu nombreuses, l'analyse de la documentation montre une constance entre la plausibilité biologique, les observations histologiques, les modèles biomécaniques et les études épidémiologiques (Stellman, J.M., 1998; Bernard, B.P., 1997; Harris, J.S., 1997; Erdil, M. et al, 1997; Kuorinka, I. et al, 1995; Gordon, S.L. et al., 1995).

Les données actuelles ne nous fournissent pas de certitude absolue en ce qui a trait au lien entre les facteurs de risque présents dans les milieux de travail et des effets sur la santé, ni même de données quantitatives suffisantes nous permettant d'établir une relation entre la dose et l'effet. L'American College of Occupational and Environmental Medicine recommande que l'analyse de divers éléments soit utilisée, davantage que l'opinion personnelle, pour apprécier la relation entre les données issues de la recherche et des études populationnelles, les trouvailles cliniques ainsi que les données d'exposition (Harris, J.S., 1997).

Un large consensus n'exclue pas la controverse. Certains auteurs remettent en question l'hypothèse selon laquelle les expositions en milieu de travail contribuent au développement des lésions musculo-squelettiques (Erdil, M. et al, 1997). L'origine multifactorielle des TMS est l'une des raisons pouvant expliquer toutes ces controverses. Les divergences d'opinion concernent principalement l'importance relative des facteurs professionnels et des facteurs individuels dans le développement de ces lésions (Bernard, B.P., 1997; Erdil, M. et al, 1997).

De plus, les interprétations légales quant au lien de causalité peuvent être différentes de l'interprétation médicale de la relation puisque les buts et les conséquences de ces décisions sont différents. L'application d'une loi visant la compensation d'un individu pour une maladie reliée au travail demande un niveau de preuve différent de la preuve scientifique et une analyse individuelle de chaque cas. Par contre, les actions médicales découlant de l'identification d'une relation entre certaines atteintes à la santé et des facteurs de risque du milieu de travail visent davantage les aspects préventifs, de prise en charge de l'individu ou encore de réintégration des individus atteints dans leur milieu (Harris, J.S., 1997).

De façon à mieux comprendre les divers aspects des lésions musculo-squelettiques reliées au travail, nous aborderons tour à tour les caractéristiques générales de ces lésions, certaines notions d'anatomie, de physiologie tissulaire et de biomécanique, les facteurs de risque présents dans le milieu de travail et nous décrirons une approche permettant d'apprécier leur relation avec les effets sur la santé du point de vue médical.

1. Définitions et caractéristiques générales des lésions musculo-squelettiques

Divers termes sont utilisés, tant en français qu'en anglais, pour identifier certaines lésions musculo-squelettiques reliées au travail. Quoique le terme "LATR" soit encore couramment utilisé au Québec pour décrire des "troubles et des maladies du système musculo-squelettique qui comportent, parmi leurs causes, un élément lié au travail" (Kuorinka, I. et al., 1995), cette appellation reste limitative. En effet, elle met l'accent sur un seul facteur de risque, soit la répétitivité. Or, la répétitivité est loin d'être le seul facteur de risque qui contribue au développement de ces atteintes. *Les termes lésion musculo-squelettique (LMS) et trouble musculo-squelettique (TMS)* reliés au travail sont actuellement ceux qui sont le plus fréquemment utilisés. Le terme TMS introduit la notion d'atteinte avant même qu'une lésion puisse être identifiée par les méthodes usuelles de diagnostic. Dans le cadre de ce document, le terme trouble musculo-squelettique (TMS) sera celui généralement utilisé.

Par définition, les TMS reliés au travail comportent, parmi leurs causes, un élément lié au travail. Ils correspondent au concept avancé par l'Organisation mondiale de la santé qui a défini, en 1985, les maladies reliées au travail:

Elles "peuvent être causées en partie par des conditions de travail défavorables; elles peuvent être aggravées, accélérées ou exacerbées par l'exposition à des facteurs présents dans le milieu de travail; et elles peuvent diminuer la capacité de travail. Il importe de retenir que les caractéristiques individuelles, de même que d'autres facteurs d'ordre environnemental ou socioculturel constituent également des facteurs de risque dans l'apparition de ces maladies." (Kuorinka, I. et al., 1995).

Habituellement, les TMS reliés au travail réfèrent aux atteintes causées par une sollicitation excessive des tissus musculo-squelettiques, c'est-à-dire des *atteintes survenant lorsque la demande d'un travail dépasse la capacité d'adaptation des tissus*. Dans les études se rapportant à la physiologie, à la physiopathologie et à la biomécanique, il est bien connu que les tissus musculaire et tendineux, entre autres, réagissent lorsqu'ils sont soumis à des sollicitations. De cette exposition découlent plusieurs modifications métaboliques et structurelles. En théorie, des tensions internes (astreintes) qui sont générées à un niveau insuffisant pour produire un dommage tissulaire aigu, mais à une fréquence trop rapide pour permettre aux tissus de récupérer complètement et de revenir à leur état initial de repos, provoquent une accumulation de ces modifications métaboliques et structurelles. Ces modifications peuvent induire des lésions tissulaires qui s'expriment éventuellement par des symptômes cliniques (Erdil, M. et al, 1997).

Les TMS reliés au travail représentent des troubles des structures péri-articulaires dans lesquels plusieurs tissus aux propriétés différentes peuvent être atteints. Il s'agit donc d'un terme "parapluie" qui regroupe plusieurs conditions, certaines ayant un diagnostic précis et d'autres présentant un tableau moins spécifique. Une liste non-exhaustive de ces atteintes est présentée au tableau de la page suivante.

Troubles et lésions musculo-squelettiques pouvant être associés au travail*

Atteintes tendineuses

(tendinite, ténosynovite, tendinite d'insertion, péri-tendinite, etc.)

Tendinites de l'épaule (coiffe des rotateurs, longue portion du biceps)

Tendinites poignet et main (fléchisseurs ou extenseurs)

Épicondylite et épitrochléite

Ténosynovite de De Quervain

Ténosynovite sténosante (doigt à ressaut, « trigger finger »)

Atteintes musculaires

État de tension musculaire cervicale (tension neck syndrome)

Syndrome myofascial

Atteintes nerveuses

Compression du nerf médian : Syndrome du canal carpien (poignet)

Syndrome du rond pronateur (avant-bras)

Compression du nerf cubital : Loge de Guyon (poignet)

Gouttière cubitale (coude)

Compression du nerf radial : Syndrome du canal radial (coude)

Syndrome du défilé thoracique

Radiculopathie cervicale

Névrite digitale

Syndrome vibratoire (atteinte sensitive)

Atteintes des articulations et bourses séreuses

Ostéoarthrose (degenerative joint disease)

Bursites

Atteintes vasculaires

Syndrome vibratoire (syndrome de Raynaud, “vibration white finger”)

Syndrome hypothénarien du marteau

* liste non-exhaustive pour le membre supérieur et le cou adapté de Kuorinka, I. et Forcier, L. (dir) et al: « Les lésions attribuables au travail répétitif »

2. Notions d'anatomie et de physiologie

Les mouvements du corps mettent principalement en jeu les *os*, reliés entre eux par les *articulations* et mobilisés par les *muscles*. Nous aborderons quelques aspects de l'anatomie du membre supérieur, regroupant les organes qui ont une structure tissulaire similaire et qui contribuent à la même fonction, soit les notions relatives aux articulations elles-mêmes, au système extra-articulaire (structures osseuses, musculaires et tendineuses) et aux systèmes opérationnels (nerveux et vasculaire périphériques).

2.1 Les articulations

L'articulation est la structure à la base du mouvement chez l'homme. Elle sert d'union entre les os du squelette. Il existe plusieurs types d'articulations qui permettent plus ou moins de mobilité.

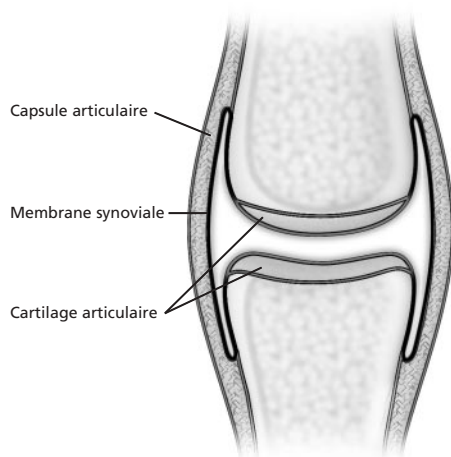


fig.1

La plupart des articulations du membre supérieur sont de *type synovial* (fig.1). Elles se caractérisent par la présence d'un espace entre les surfaces articulaires, ce qui permet davantage de mouvement que dans les autres types d'articulation. On retrouve du liquide synovial dans la cavité des articulations de ce type, produit par la membrane synoviale. Il

assure la lubrification de l'articulation, améliorant le glissement lors des mouvements. Cette substance est très visqueuse et habituellement présente en très petite quantité dans l'articulation.

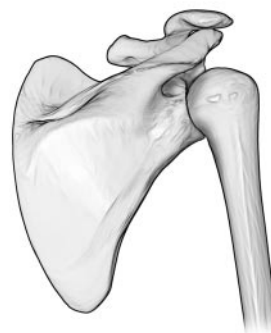


fig.2a

L'emboîtement réciproque des surfaces articulaires, qu'on appelle *congruence*, est plus ou moins important selon les articulations. Plus la *congruence* est faible, plus l'articulation a d'axes de mouvements, et donc plus de possibilités fonctionnelles. Par ailleurs, sa stabilité reposera alors davantage sur l'appareil capsulo-ligamentaire et le système extra-articulaire (muscles et tendons) que sur la forme articulaire. Par exemple, l'articulation de l'épaule (fig.2a) est très mobile et permet d'orienter le membre supérieur par rapport aux trois plans de l'espace mais elle est également plus à risque de luxation qu'une autre articulation, comme par exemple celle de la hanche (fig.2b).



fig.2b

2.1.1 Le cartilage articulaire

La surface osseuse de ces articulations est recouverte de cartilage, qui est un tissu blanc nacré et brillant. Son rôle est de protéger l'os situé au-dessous. Il est conçu pour être soumis à deux types de contraintes, celles de pression (par exemple lors de la mise en charge) et celles de friction (qui survient lors des mouvements). Ces propriétés sont dues à sa composition relativement élastique et à sa surface très lisse.

Le cartilage n'est pas vascularisé ni innervé. Sa nutrition provient du liquide synovial et le mouvement aurait un rôle à jouer pour assurer cette fonction. Comme il est un tissu hautement spécialisé, il se régénère mal.

2.1.2 L'appareil capsulo-ligamentaire

La *capsule articulaire* (fig.3) est constituée de tissu fibreux étalé, formant comme un manchon, qui maintient les surfaces articulaires ensemble et sert de soutien à la membrane synoviale. Elle s'attache sur chaque os, au voisinage des surfaces articulaires.

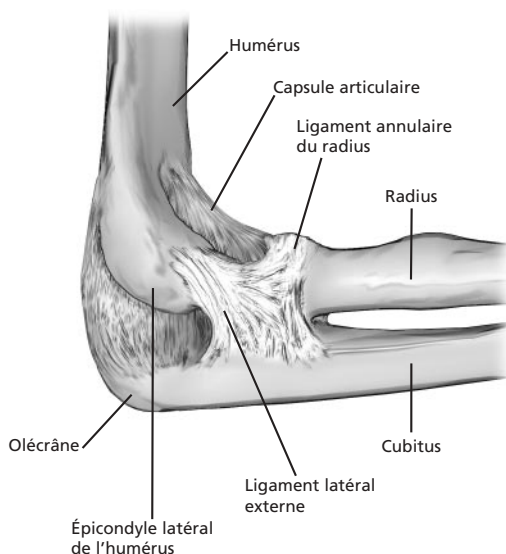


fig.3

Les *ligaments* (fig.3) sont des bandes compactes de tissu fibreux qui unissent deux os voisins. Ils sont essentiels à la stabilisation du mouvement et au maintien de l'articulation. Ils sont conçus pour résister aux forces parfois importantes générées par les unités musculotendineuses. Par contre, les ligaments peuvent être soumis à une tension excessive qui provoquera leur étirement si les forces appliquées dépassent leur capacité biomécanique d'adaptation. Dans ces conditions, ils ne peuvent plus assurer leur fonction aussi efficacement (Marieb, E.N. et al, 1998).

L'importance de cet appareil capsulo-ligamentaire varie selon la fonction de l'articulation. Ainsi, une articulation nécessitant une grande stabilité, comme la hanche, aura un appareil capsulo-ligamentaire bien solide alors que l'articulation de l'épaule, hautement mobile, est moins renforcée. Elle sera donc plus vulnérable, entre autres, aux luxations.

2.2 Les os

Les os forment la charpente du corps et servent de support rigide aux autres structures. Au niveau des membres, les os servent de bras de levier sur lesquels les muscles s'insèrent, par l'intermédiaire des tendons. Ils permettent ainsi de mobiliser deux segments de membres, par l'intermédiaire de l'articulation. Le périoste est la couche externe de l'os. Il est riche en vaisseaux nourriciers et constitue le point d'ancrage des tendons et des ligaments.

2.3 Les muscles squelettiques

Les muscles striés ou squelettiques sont l'élément moteur du corps humain. C'est grâce à eux que l'on peut faire un clin d'oeil, se tenir sur la pointe des pieds ou manier un outil. Un

muscle s'attache habituellement sur des os, en au moins deux endroits. Les attaches les plus fréquentes sont les *attaches indirectes*, c'est-à-dire que le muscle se joint à un *tendon* cylindrique ou à une aponévrose plate et large avant de s'ancrer, en général, à la gaine de tissu conjonctif d'un élément du squelette (os ou cartilage). Ces attaches peuvent également être *directes*, c'est-à-dire que la couche externe du muscle est soudée au périoste d'un os ou au périchondre d'un cartilage sans l'intermédiaire d'un tendon.

Par leur capacité de contraction et d'étirement, les muscles permettent le déplacement d'un segment osseux, produisant le *mouve-*

ment par l'intermédiaire de l'articulation. De plus, ils *maintiennent la posture et stabilisent les articulations*. Enfin, la contraction des muscles est essentielle à la production de chaleur nécessaire au maintien de la température corporelle.

2.3.1 Composition du muscle

Les muscles sont composés de milliers de *myofibrilles* (fig.4), qui sont de petits filaments. Ceux-ci contiennent l'unité fonctionnelle du muscle, appelé sarcomère. Ce dernier correspond à la portion du faisceau de myofibrilles contenue entre deux bandes Z. C'est la contraction du sarcomère qui est à l'origine de la contraction musculaire.

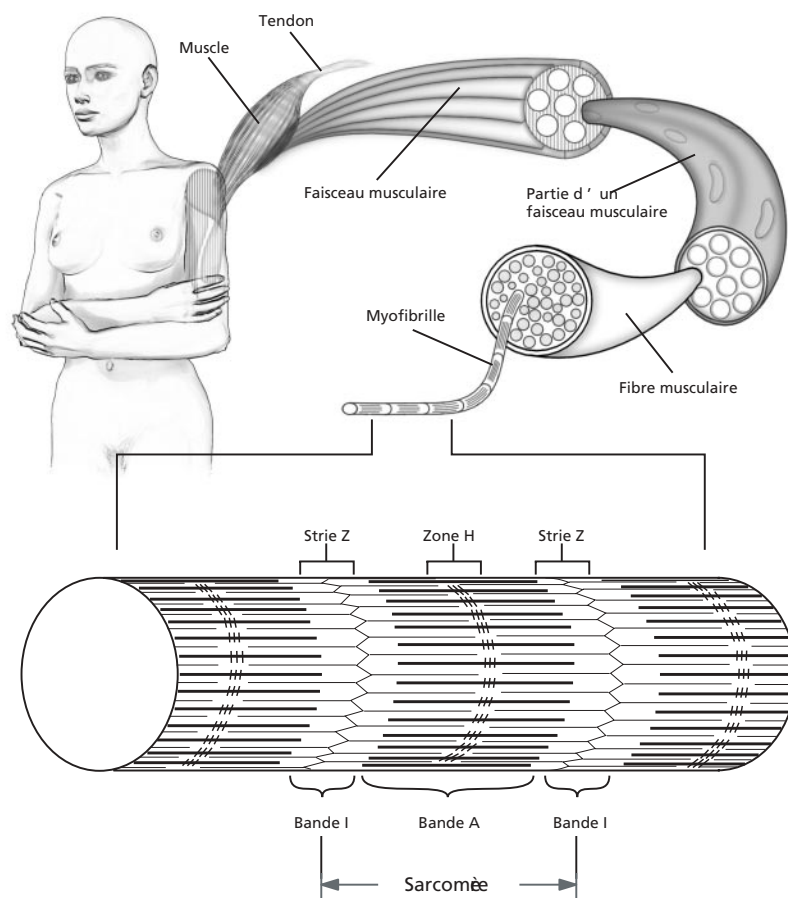


fig.4

Chaque sarcomère contient des protéines, dont l'actine et la myosine. La *contraction du sarcomère* (fig.5) se produit par le glissement des filaments minces d'actine sur les filaments plus épais de myosine. Ce glissement provoque le rapprochement de deux bandes Z et un raccourcissement du sarcomère.

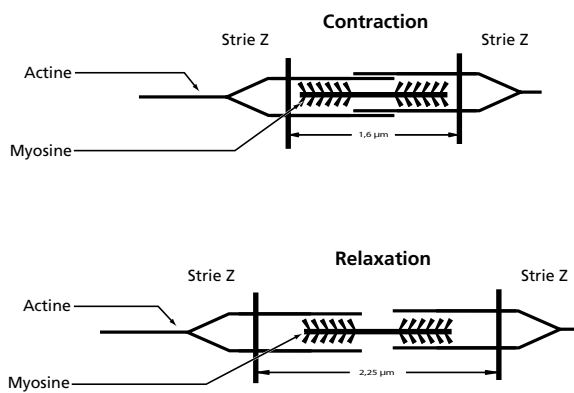


fig.5

2.3.2 Contraction musculaire

La *contraction musculaire* se produit après qu'un influx nerveux se soit propagé le long du nerf moteur qui innerve le muscle. L'ensemble formé par un neurone moteur (un nerf peut en compter plusieurs) et tous les faisceaux musculaires qu'il dessert est appelé *unité motrice*. Les faisceaux d'une unité motrice ne sont pas regroupés mais sont répartis dans l'ensemble du muscle.

Lorsqu'un neurone moteur déclenche un potentiel d'action (son influx nerveux), la concentration intracellulaire d'ions calcium augmente et tous les faisceaux musculaires qu'il innerve répondent par une contraction. C'est la loi du « *tout-ou-rien* ». Le nombre de faisceaux musculaires par unité motrice est vari-

able. Les unités motrices des muscles qui exigent une très grande précision (par exemple ceux qui déterminent les mouvements des doigts) sont petites alors que celles des gros muscles (comme ceux des cuisses), dont les mouvements sont moins précis, sont beaucoup plus grosses. La contraction est uniforme et continue parce que certaines unités motrices sont actives alors que d'autres sont au repos (phénomène de rotation) (Kroemer, K.H.E. et al, 1997; Marieb, E.N. et al, 1993).

Lorsque le muscle se contracte, il rapproche ses points d'insertion. Il se trouve ainsi à épaissir en diamètre et à raccourcir en longueur. Le muscle a également des propriétés d'élasticité passive. On peut ainsi étirer un muscle en éloignant ses points d'insertion l'un de l'autre. Quand le muscle cesse d'être étiré, il retrouve sa longueur initiale.

2.3.3 Phases de la contraction

On peut reconnaître trois phases distinctes à la contraction musculaire: la *période de latence*, la *période de contraction* proprement dite et la *période de relâchement* au cours de laquelle la tension dans le muscle diminue puis revient progressivement à sa valeur d'origine (fig.6). Certains muscles se contractent rapidement et sur une courte période (muscles extrinsèques de l'oeil) alors que d'autres muscles se contractent plus lentement mais avec une contraction qui se prolonge plus longtemps (jumeaux et soléaire, muscles de la jambe) (fig.7). Ces différences entre les divers muscles reflètent leurs caractéristiques métaboliques qui sont fonction des actions différentes qu'ils doivent exercer. La figure 7 représente les résultats d'une étude faite en laboratoire alors que le muscle répond à un seul stimulus linéaire de

courte durée. Dans la réalité, les contractions musculaires sont relativement longues et continues (Marieb, E.N. et al, 1993).

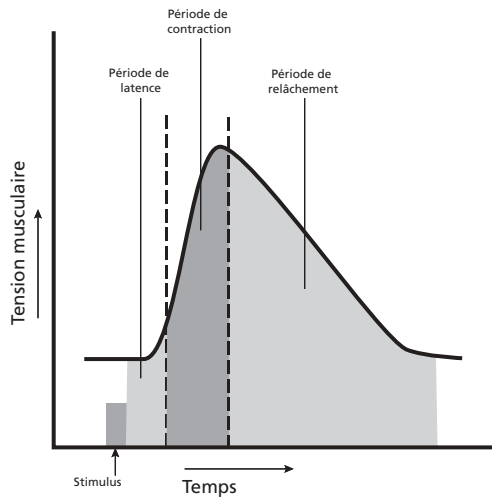


fig.6

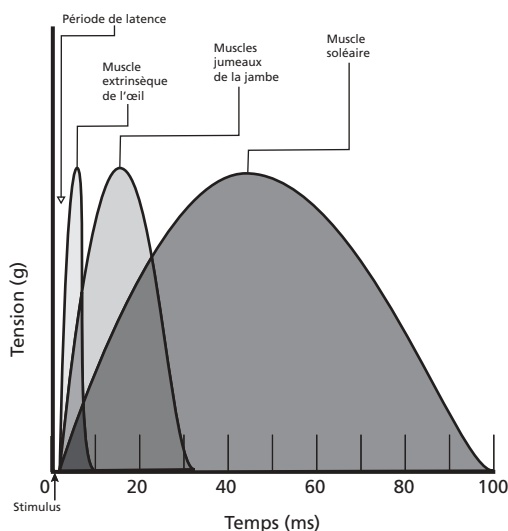


fig.7

2.3.4 Types de contraction

Les contractions musculaires sont de plusieurs types. Le terme contraction désigne l'application d'une force par un muscle dont les têtes de myosine sont actives. Lorsque le muscle se raccourcit lors d'une contraction et déplace une charge ou produit un mouvement, il s'agit d'une contraction de type *concentrique*. La tension du muscle demeure constante durant la plus grande partie de la contraction et le raccourcissement ne survient que lorsque la tension interne dépasse la charge externe. Une contraction *excentrique* se produit lorsque la charge externe est plus importante que la tension interne que le muscle peut développer (ex : essayer de retenir un objet lourd qui tombe) ou lorsque la contraction musculaire doit résister au mouvement pour le ralentir. Une contraction *isométrique* survient lorsque le muscle exerce une tension sans se raccourcir, par exemple lorsqu'il tente de déplacer une charge supérieure à la force (tension) qu'il peut exercer ou lorsqu'il stabilise une structure ou maintient une posture. Ces types de contraction musculaire produisent les mêmes phénomènes électrochimiques et mécaniques mais les contractions de type excentrique seraient celles qui généreraient le plus de tension interne (astreinte), rendant les muscles plus vulnérables à la fatigue musculaire (Marieb, E.N. et al, 1993).

2.3.5 Apport énergétique

Le travail musculaire implique la transformation d'énergie chimique (ATP-ADP) en énergie mécanique. *La contraction des fibres musculaires représente une énorme dépense d'énergie*, mais les quantités d'ATP emmagasinées dans les muscles ne sont pas très importantes: l'ATP est consommé en 6 secondes environ. L'ATP doit donc être régénéré de façon continue afin

que la contraction puisse se poursuivre. Cette régénération se fait selon trois voies: par interaction de l'ADP avec la créatine phosphate présente dans le muscle et dont les réserves sont également rapidement épuisées, par réaction cellulaire aérobie, nécessitant de l'oxygène, ou voie anaérobie, sans apport d'oxygène. Ces processus métaboliques nécessitent l'apport de glycogène ou de glucose, d'acides gras et d'oxygène (voie aérobie), qui doivent être *amenés continuellement au muscle par la circulation sanguine*. Celle-ci permet également *l'évacuation des déchets métaboliques*.

La voie aérobie fournit environ 20 fois plus d'ATP par molécule de glucose que la voie anaérobie. Cependant, la voie complètement anaérobie produit de l'ATP environ deux fois et demi plus vite que la voie aérobie. Si on se réfère aux connaissances issues de l'étude de la physiologie de l'exercice, les efforts de courte durée (haltérophilie, plongeon) utilisent les réserves d'énergie présentes dans les muscles. Si l'effort est de plus longue durée (tennis, football, nage de 100m), l'énergie vient de la voie anaérobie, qui produit de l'acide lactique. Si l'épreuve est plus longue, (marathon, course à pied), et que l'endurance et non la puissance est essentielle, les voies aérobies seront utilisées pour l'apport d'énergie, nécessitant ainsi un apport d'oxygène constant. L'apport de sang peut donc être vu comme un facteur limitant l'efficacité musculaire. *La quantité de sang nécessaire lors d'un effort physique modéré peut être de 20 fois supérieure à la quantité nécessaire au muscle au repos* (Kroemer, K.H.E. et al, 1997; Marieb, E.N., 1993).

2.3.6 Types de fibres

Les muscles sont constitués de trois types de fibres distinctes selon leur diamètre, la quantité

de myoglobine qu'elles contiennent, l'efficacité de l'ATPase de leur myosine et la voie principale de synthèse de l'ATP (aérobie ou anaérobie). Ainsi, les fibres de *type I* sont des fibres minces à contraction lente qui utilisent les voies aérobies pour la production de l'ATP. Elles ont un grand besoin en oxygène et sont très résistantes à la fatigue (grande endurance). Les fibres de *type II* sont de grosses fibres à contraction rapide qui utilisent les voies anaérobies pour la synthèse de l'ATP. Elles se fatiguent rapidement mais peuvent fournir des mouvements rapides et vigoureux pendant de courtes périodes. Le troisième type de fibres sont des fibres *intermédiaires* qui ressemblent davantage aux fibres de type I.

Les muscles spécialisés peuvent être composés principalement d'une sorte de fibres mais la plupart des muscles comportent un mélange des différents types, ce qui leur confèrent une certaine vitesse de contraction et une certaine résistance à la fatigue. Par contre, certaines personnes possèdent relativement plus de fibres d'un type donné, différences dues à des facteurs génétiques (Marieb, E.N. et al, 1993).

2.3.7 Travail statique et dynamique

On retrouve deux types d'efforts musculaires (fig.8). Tout d'abord, les muscles peuvent se contracter pour produire des *mouvements*. Ce travail *dynamique* est caractérisé par l'alternance cyclique de contraction et de relâchement musculaire. Ce type de travail favorise l'irrigation du muscle car celui-ci agit comme une pompe sur le système vasculaire. Les éléments nutritifs sont amenés au muscle sur une base régulière et les « déchets » métaboliques sont évacués. Le travail musculaire peut ainsi continuer sur une longue période, lorsque le rythme est acceptable.

Les muscles peuvent également agir pour *maintenir une posture ou stabiliser une articulation*. Ce travail est statique car il n'y a pas de mouvement mais la posture est tout de même maintenue par une contraction musculaire. Le travail statique est caractérisé par un état de contraction prolongée du muscle. Lorsque les conditions sont similaires, un effort statique demandera un apport sanguin plus important qu'un effort dynamique et les périodes de repos nécessaires seront plus longues.

Durant le travail statique, les vaisseaux sanguins sont comprimés par la pression interne dans le tissu musculaire (fig.8). Ainsi, la circulation dans le muscle est diminuée en proportion de la force exercée. Le muscle ne reçoit plus la quantité de glucose ou d'oxygène dont il a besoin pour effectuer son travail ce qui amène un métabolisme anaérobie et la formation d'acide lactique. Le ralentissement de la circulation diminue également l'excrétion des produits de dégradation métabolique, comme l'acide lactique.

Lorsque les réserves énergétiques du muscle ne suffisent plus à la demande, et qu'il y a accumulation d'acide lactique et d'autres métabolites, il y aura apparition de *symptômes de fatigue musculaire*. Le laps de temps avant que n'apparaissent les symptômes de fatigue musculaire est variable et dépend à la fois de la charge appliquée aux muscles et du type de fibres musculaires que ces muscles contiennent.

Lorsque *l'activité cesse*, le tissu musculaire reçoit davantage d'oxygène et doit éliminer les métabolites accumulés. Avant de revenir à son état initial, il faut un certain temps (dette d'oxygène). Si le tissu musculaire est utilisé de façon répétée avec un délai de récupération insuffisant, il y aura diminution de la performance musculaire et des changements dégénératifs chroniques pourront se développer. Si les muscles sont « entraînés », ils peuvent gagner en force et en taille, ou devenir plus efficaces et plus résistants à la fatigue (Kroemer, K.H.E. et al, 1997; Marieb, E.N., 1993).

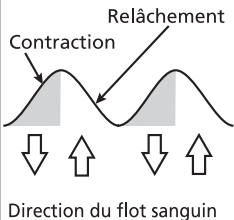
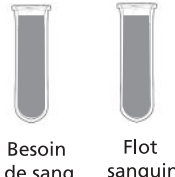
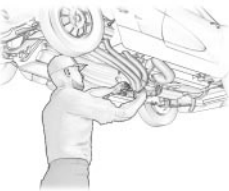
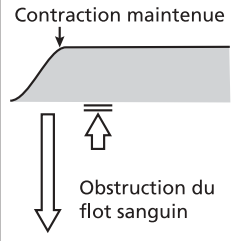
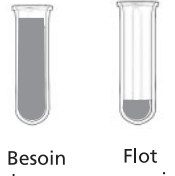
Type de travail musculaire	Exemple	Flot sanguin	Besoins
Dynamique		 Contraction Relâchement Direction du flot sanguin	 Besoin de sang Flot sanguin
Statique		 Contraction maintenue Obstruction du flot sanguin	 Besoin de sang Flot sanguin

fig.8

2.3.8 Synergisme et antagonisme

Les muscles travaillent rarement de façon isolée. La plupart des mouvements nécessitent l'activité coordonnée de plusieurs muscles. Ces derniers travaillent *ensemble ou en opposition* pour accomplir une grande variété de mouvements. La contraction musculaire concentrique provoque le raccourcissement d'un muscle. Lorsque ce muscle raccourcit, un autre muscle ou groupe de muscles doit se relâcher et s'étirer. Par exemple, lorsque le biceps se contracte pour faire plier le coude, le triceps qui est un extenseur du coude doit se relâcher (fig.9).

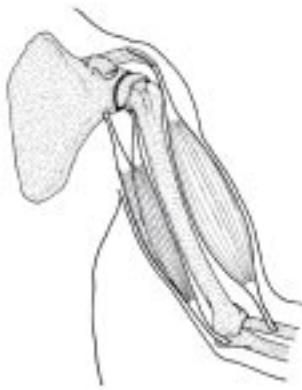


fig.9 Illustration tirée de « Les LATR » de l'ASP Métal Électrique. 1996

On peut diviser les muscles en quatre groupes fonctionnels: les *agonistes*, les *antagonistes*, les *synergiques* et les muscles *fixateurs*. Le muscle qui est le principal responsable d'un mouvement est le muscle agoniste, comme le serait le biceps dans l'exemple précédent. Les muscles qui s'opposent au mouvement sont appelés antagonistes, comme le serait le triceps dans l'exemple précédent. Ils sont situés de part et d'autre de l'articulation sur laquelle ils agissent.

En général, lorsqu'un muscle *agoniste* est en activité, son *antagoniste* est relâché ou lui oppose une certaine résistance servant à

diriger ou à ralentir l'action, comme par exemple pour *contrôler la vitesse* de l'action de ramener vers soi dans la flexion du coude ou pour maintenir l'articulation en position. Les rôles de ces muscles peuvent être inversés comme lors de l'extension du coude.

Les muscles *synergiques* peuvent entrer en action pour en aider d'autres en favorisant le mouvement pour qu'il soit plus efficace ou en réduisant les mouvements inutiles. Ceci se produit particulièrement lorsque les muscles ou leurs tendons croisent plusieurs articulations, comme pour les fléchisseurs des doigts. C'est à cause des *actions concertées* de plusieurs muscles qu'il est possible de fermer le poing sans toujours fléchir le poignet.

Les muscles *fixateurs* peuvent également fixer un os ou l'origine d'un muscle pour permettre des mouvements efficaces. Par exemple, l'omoplate, structure qui n'est retenue au squelette que par des muscles, doit être stabilisée par ces derniers pour que les mouvements voulus se produisent au niveau de l'épaule (Kroemer, K.H.E. et al, 1997; Marieb, E.N., 1993).

2.3.9 Réponse musculaire à l'application d'une force : l'effort

La force musculaire est le travail fourni par un muscle (effet de la contraction musculaire) pour vaincre la résistance offerte par une charge. Ces charges externes ne sont pas seulement dues aux objets qu'on soulève mais également, entre autres, à la résistance offerte par la gravité, au poids du membre lui-même ou à la résistance de l'air. L'effort musculaire est l'impact que produit l'application de cette force sur le muscle lui-même.

La *force musculaire maximale* que peut déployer un individu varie selon le *sexe* (à entraînement égal, la force chez l'homme est d'environ 30% supérieure à celle de la femme), l'*âge* (la force est maximale entre 20 et 30 ans), la *latéralité* (la force du membre dominant est de 10% supérieure), les *caractéristiques* constitutionnelles de chaque individu, le *niveau d'entraînement* ou le degré de *fatigue* musculaire.

La force qu'un muscle peut produire dépend, entre autres, du nombre de fibres recrutées durant la contraction, de la taille du muscle et de son degré d'étirement. Le nombre de fibres musculaires qui se contractent activement déterminent la puissance musculaire développée par un muscle, c'est-à-dire la force développée lors d'un mouvement. Plus le muscle est épais et large, plus la tension qu'il pourra générer sera importante; l'exercice physique régulier, en produisant une hypertrophie des cellules musculaires, augmentera la taille et donc la capacité de force d'un muscle. Enfin, c'est lorsque le muscle est légèrement étiré qu'il pourra exercer une force maximale (Kroemer, K.H.E. et al, 1997; Marieb, E.N., 1993).

2.3.10 Efficacité de la force de contraction

Le résultat d'une contraction musculaire dépend de plusieurs facteurs. En effet, *une force est efficace quand elle est appliquée dans la direction du mouvement désiré*. En d'autres mots, une partie de la force se perd lorsque sa ligne d'action ne coïncide pas avec la direction du mouvement de l'objet. Dans l'exemple illustré à la *figure 10*, une partie des forces résultant de la contraction des faisceaux antérieur (A) et postérieur (P) du deltoïde ne sera pas efficace lors de l'abduction du bras.

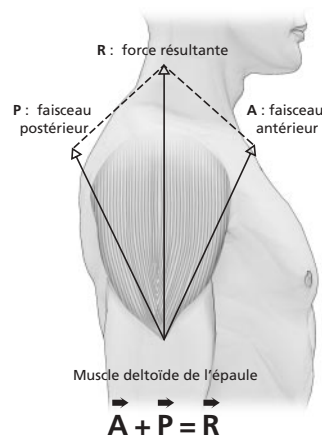


fig.10

Or, la ligne d'action des muscles est fixée par leurs attaches anatomiques sur les os et par la disposition de leurs fibres musculaires. La *figure 11* indique quelques types de relation entre l'agencement des faisceaux musculaires et la structure du muscle. Par conséquent, les muscles doivent souvent tirer selon une ligne d'action différente de celle du mouvement, ce qui réduit leur efficacité. Ainsi, un muscle penniforme, qui s'attache au tendon avec un angle, n'utilise qu'une partie de sa force pour exercer une traction sur le tendon.

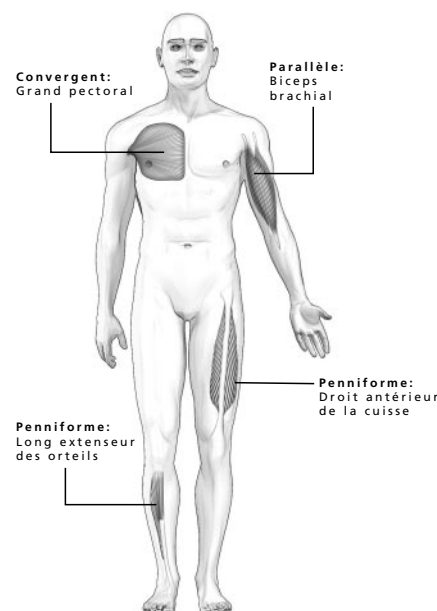


fig.11

La force disponible pour le mouvement (force de rotation-R) varie également selon la position relative des divers segments osseux (fig.12). Ainsi, lorsque le tendon du biceps (B) agit sur le radius alors que le coude est à angle droit, presque toute la force produite par le muscle déplace l'avant-bras vers le bras. Par contre, si l'angle du coude est plus ouvert, l'angle entre le tendon du biceps et le radius sera différent. Une partie de la force déployée par la contraction musculaire servira alors à comprimer légèrement l'avant-bras sur le coude (force de coaptation-C). La force disponible pour le mouvement sera moins grande (Simoneau, S. et al, 1996; Williams, M. et al, 1986).

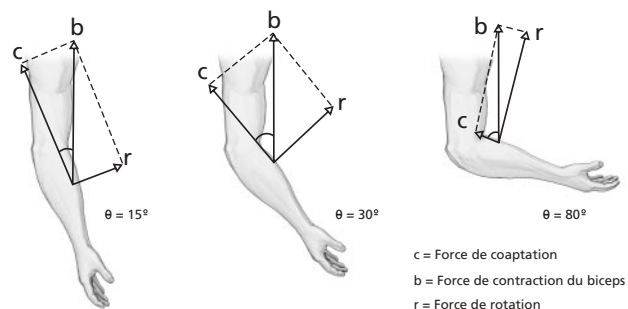


fig.12

2.3.11 Le système de leviers

Le fonctionnement de la plupart des muscles fait intervenir un système de leviers. Les leviers sont des systèmes mécaniques permettant de multiplier une force dans le but de contrer une résistance. Ils sont aussi utilisés pour effectuer rapidement des mouvements de grande amplitude (Allard, P. et al, 2000).

La compréhension de ce système de bras de levier est un élément essentiel pour comprendre la force musculaire nécessaire lors de mouvements. Dans le corps humain, les articulations sont les points d'appui et les os du squelette agissent comme leviers. La force appliquée provient de la contraction musculaire, appliquée sur l'os au point d'insertion du muscle. Lorsque le muscle se contracte, il déplace la charge que représente les os et les tissus mous. Si nous transposons les situations de levier décrites subséquemment au système musculaire, nous pouvons constater que des situations légèrement différentes du point d'insertion d'un muscle par rapport au point d'appui qui est l'articulation, peuvent se

traduire par des écarts importants dans la force que doit fournir un muscle pour déplacer une charge donnée ou vaincre une résistance.

Les leviers peuvent fonctionner avec un avantage mécanique. La charge se situe alors près du point d'appui et la force est appliquée loin de celui-ci. Cet arrangement permet de soulever des charges lourdes en fournissant un minimum de force musculaire. Un exemple de ce type de levier est le cric qu'on utilise pour lever une voiture lors d'un changement de pneu. Une force de 10 kg peut soulever une charge équivalente à 1000 kg (fig.13a).

Les leviers peuvent également fonctionner avec un désavantage mécanique. La charge se situe alors loin du point d'appui et la force est appliquée près de celui-ci. Cet arrangement permet à une charge d'être déplacée rapidement sur une grande distance mais nécessite le déploiement d'une force plus importante. Dans cet exemple, la même force de 10 kg ne soulève plus qu'une charge de 5 kg (fig.13b).

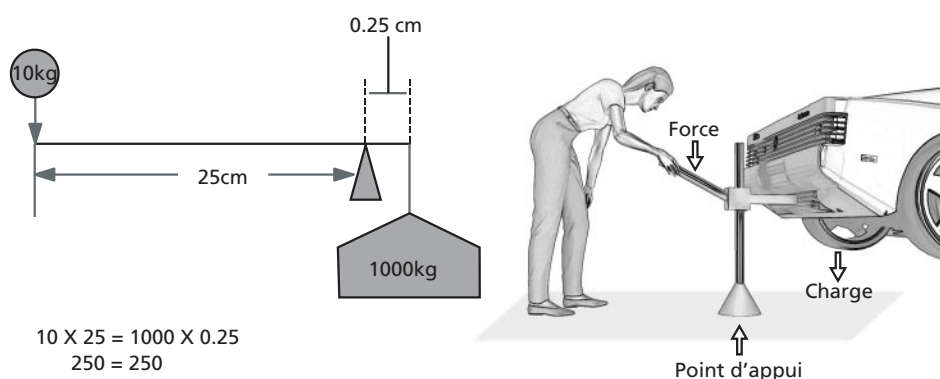


fig.13a

Force X longueur du bras de la force = charge X longueur du bras de la charge

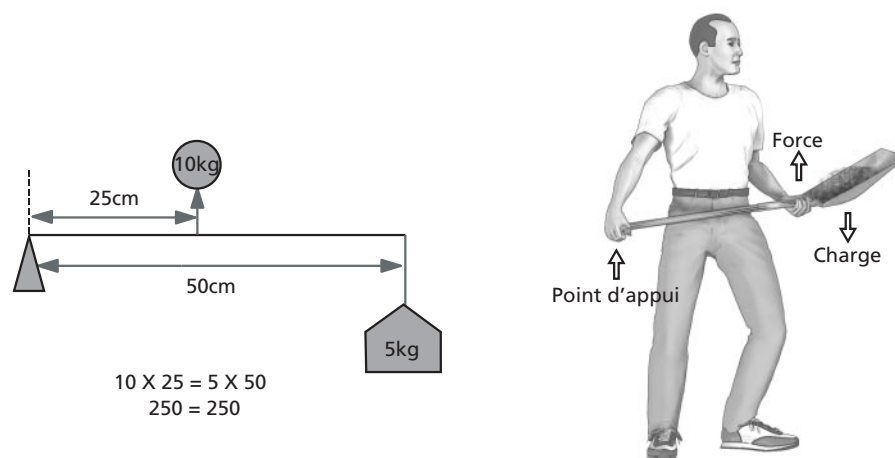


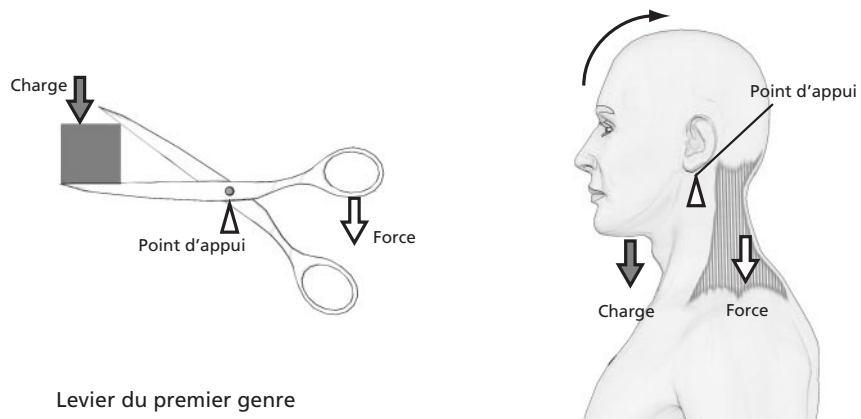
fig.13b

La majorité des leviers du corps humain sont du type à désavantage mécanique, qui permettent une plus grande amplitude articulaire, au détriment du transport de charges.

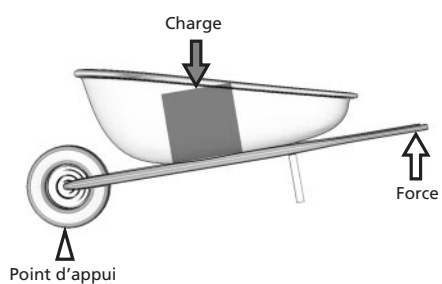
En transposant ces représentation au niveau du corps humain, selon la disposition des trois éléments du levier (charge, force, et point d'appui), on peut décrire trois types de leviers (fig.14). La plupart des muscles squelettiques agissent dans des systèmes de levier du troisième genre. Ce genre de levier fonctionne avec un désavantage mécanique, c'est-à-dire que la force est sacrifiée au profit de la vitesse.

Un levier du deuxième genre, rare dans le corps humain, fonctionne avec un avantage mécanique; il est donc plus lent, plus stable et se retrouve aux endroits où la force est primordiale. En ce qui concerne les leviers du premier genre, certains fonctionnent avec un avantage mécanique (muscles cervicaux postérieurs) et d'autres avec un désavantage mécanique (triceps). Ainsi, là où la force est primordiale, la vitesse est moins grande et vice-versa.

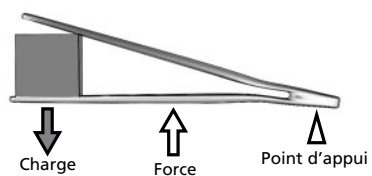
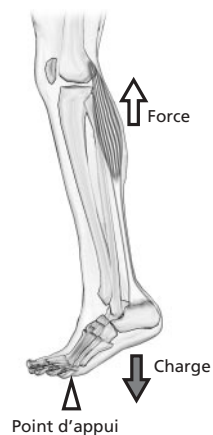
Les articulations sont donc des points d'appui autour desquels s'insèrent des muscles dont la contraction produit le mouvement. Comme le



Levier du premier genre



Levier du deuxième genre



Levier du troisième genre

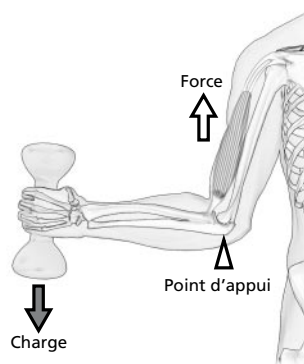


fig.14

point d'insertion du tendon se situe en général à une certaine distance du point d'appui, la contraction musculaire engendrera un mouvement de rotation, qu'on nomme également *moment ou torque*. En d'autres termes, une force qui engendre un mouvement de rotation crée un moment. Le moment est égal au produit de la force musculaire par la longueur du bras de levier (Pitman, M.I. et al, 1989).

Une modification dans la longueur des bras de levier influencera la force musculaire nécessaire pour maintenir une position ou pour produire un mouvement. Par exemple, si le bras de levier entre le point d'appui (centre de l'articulation) et le centre de gravité du membre est plus long, la force musculaire nécessaire pour maintenir un équilibre (posture statique) ou pour produire un mouvement sera plus importante (Allard, P. et al, 2000 ; Pitman, M.I. et al, 1989).

2.3.12 Fatigue musculaire

La fatigue musculaire survient lorsqu'un *muscle perd sa capacité à se contracter* et à exercer une force. Elle est principalement due au manque relatif d'ATP, c'est-à-dire au fait que le muscle ne peut pas produire assez d'ATP pour alimenter la contraction. Une trop grande accumulation d'acide lactique et un déséquilibre ionique contribuent également à la fatigue musculaire. Même en l'absence de fatigue musculaire, des changements importants des propriétés chimiques du muscle surviennent suite à un travail musculaire intense. Ainsi, pour qu'un *muscle revienne à l'état de repos*, il doit reconstituer, entre autres, ses réserves d'oxygène, de glycogène, d'ATP et de créatine phosphate et transformer l'acide lactique accumulé (Marieb, E.N. et al, 1993).

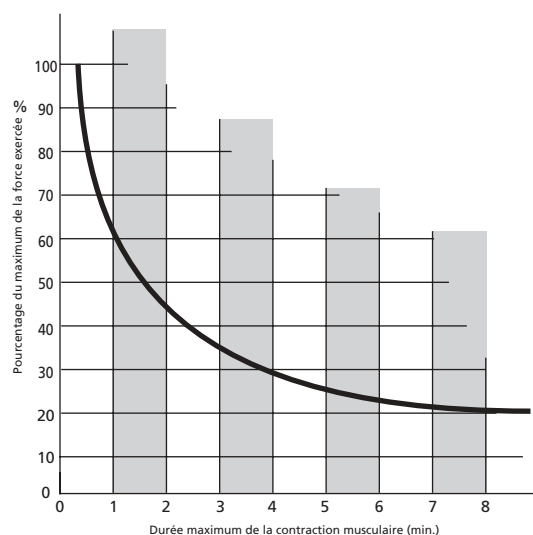


fig.15

Intuitivement, il semble évident qu'une action nécessitant moins de force musculaire pourra être effectuée plus longtemps qu'une action nécessitant une force importante. Certains travaux de recherche ont déjà montré qu'un effort de contraction statique correspondant à 50% de la force de contraction volontaire maximale (CMV) ne peut durer plus d'une minute (fig15). Si la force déployée correspond à environ 20% de la force maximale, la contraction musculaire peut continuer beaucoup plus longtemps (Kroemer, K.H.E., Grandjean, E., 1997).

D'autres études scientifiques plus récentes avancent que l'endurance commencerait à diminuer et que la fatigue musculaire surviendrait à environ 10% et même à 5% de la CMV et qu'un muscle est considéré au repos lorsqu'il utilise moins de 0.5% de sa CMV (Gordon, S.L. et al., 1995).

De plus, on avance souvent que puisque le niveau de force nécessaire à l'accomplissement de la majorité des tâches à fréquence rapide est bas, le stress engendré sur les tissus

l'est également et qu'il ne peut y avoir de dommage tissulaire. Toutefois il est nécessaire de se rappeler que, pour effectuer une action, le muscle « recrute » un certain nombre de ses unités motrices, selon la loi du « tout-ou-rien ». Les stress induit sur ces fibres musculaires peut être assez élevé puisque la force n'est distribuée que sur une partie des fibres (Gordon, S.L. et al., 1995).

2.4 Les tendons

En soi, le raccourcissement du muscle ne suffit pas à déplacer les parties du corps. Pour qu'un travail soit accompli, la tension produite par l'activité des fibres musculaires est transmise par l'intermédiaire de tendons. Le rôle du tendon est donc de fixer le muscle à l'os ou au fascia afin d'assurer une stabilisation de l'articulation ou de produire un mouvement.

Le tendon (fig.16) est composé de tissu conjonctif dense. Il est constitué en majeure partie de fibres de collagène parallèles, d'un peu de fibres élastiques et de cellules nommées fibroblastes. Les fibres de collagène sont légèrement ondulées, ce qui donne à ce tissu la propriété de s'étirer légèrement. Le tendon est donc un tissu flexible qui possède une grande résistance à l'étirement.

Chaque tendon possède sa *vascularisation* propre, qui provient principalement des tissus péri-tendineux. La vascularisation devient cependant limitée lorsque le tendon s'approche de sa jonction osseuse. De même, les tendons contenus à l'intérieur des gaines sont moins bien vascularisés et leur support nutritif leur est assuré surtout par diffusion à partir du liquide synovial.

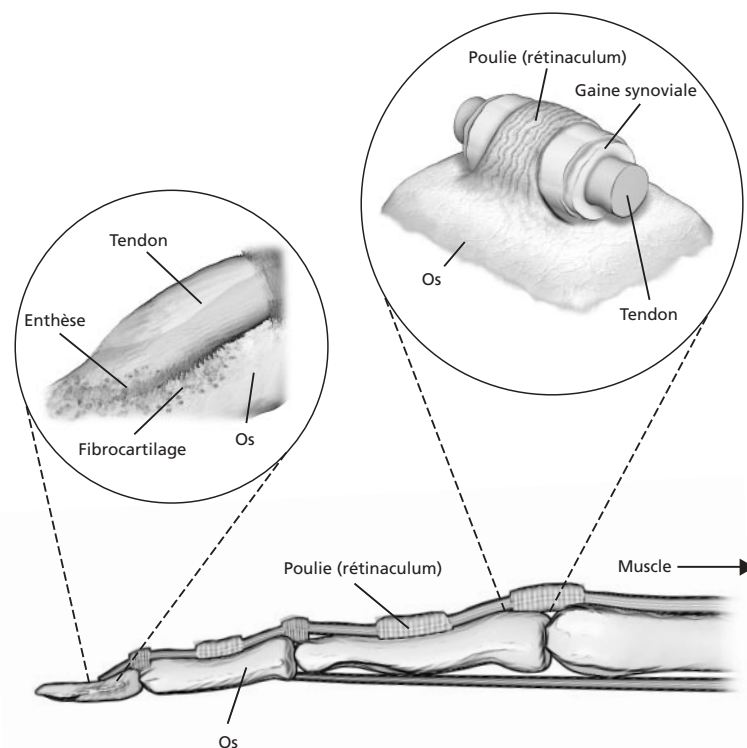


fig.16

Les tendons possèdent habituellement un arrangement en relation avec leur fonction. Ainsi, si le rôle d'un tendon (et de son muscle) est principalement stabilisateur, il sera plutôt plat comme c'est le cas du tendon du sus-épineux au niveau de l'épaule. Par contre, les tendons dont la fonction principale est le mouvement seront plus ronds. Lorsque leur trajet est long, comme dans le cas des tendons situés au niveau du poignet et de la main, ils seront habituellement entourés d'une gaine synoviale qui réduit la friction du tendon et protège ce dernier de certaines structures osseuses qui pourraient l'endommager lorsque le tendon glisse, suite à la contraction du muscle. De plus, dans ces cas, le tendon est maintenu contre l'os par des poulies (bandes de fibro-cartilage) qui empêchent le tendon de former une corde d'arc lors de la flexion des articulations.

2.4.1 Propriétés du tendon et forces dynamiques

Le tendon possède des *propriétés viscoélastiques* qui lui permettent de réagir aux charges qui lui sont transmises par la contraction musculaire. Un tendon mis en charge s'étire immédiatement (réaction élastique). Si la charge continue d'être appliquée, le tendon continue à s'allonger ou à se déformer lentement (réaction visqueuse). Le retour à l'état initial prend un certain temps (Gordon, S.L. et al., 1995; Kuorinka, I. et al, 1995).

On peut comparer certaines propriétés du tendon à celles d'un *élastique*. L'élastique réagit à la force tensile (charge, stress) qui lui est appliquée en s'étirant, générant une astreinte (strain) à l'intérieur de la structure. Si la force est constante, on observe une élongation additionnelle de la structure (phénomène de «creep»). Lorsque la force cesse d'être appliquée, la structure retrouve progressivement ses caractéristiques originales (Gordon, S.L. et al., 1995).

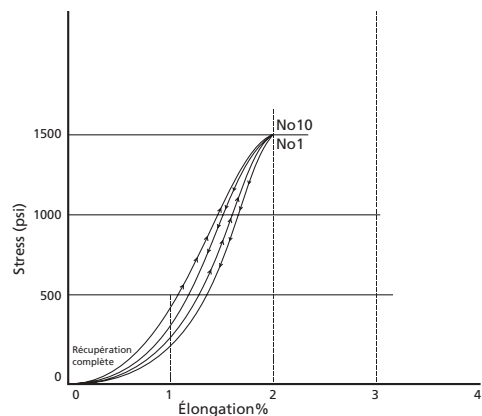


fig.17a

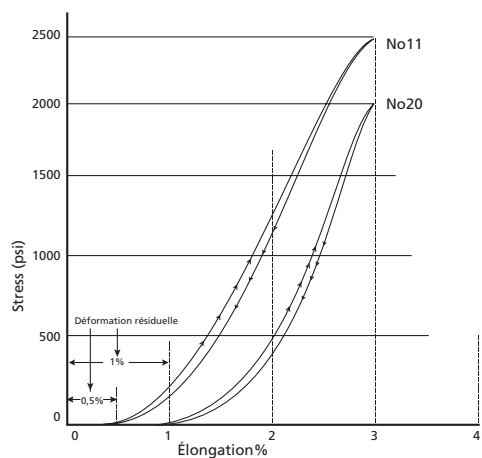


fig.17b

Si la force est appliquée de façon trop rapprochée, plus rapidement que le temps requis pour la *récupération*, le tendon ne peut revenir à son état initial, il persistera une astreinte résiduelle (élongation).

De la même façon, plus la charge appliquée (stress) est importante, plus l'ampleur de l'élongation résiduelle sera importante. Dans les figures adjacentes, l'ampleur de l'élongation (strain) est exprimé en % de la valeur de repos. Lorsque le stress appliqué produit une élongation de l'ordre de 2% (fig.17a), le tendon retrouve son état initial rapidement. Par contre, si l'élongation produite est de l'ordre de 3% (fig.17b), la limite élastique, le tendon ne

revient pas à son état initial rapidement, même lors de la première mise en charge. Cette déformation peut par la suite augmenter, si la répétition des cycles ne permet pas au tendon de récupérer complètement. Enfin, l'application d'une seule charge produisant une élongation de 4%, au delà de la limite élastique, produit une déformation résiduelle importante. Si la déformation dépasse une certaine proportion, une réaction inflammatoire peut survenir. Les temps de récupération nécessaires pour que le tendon retrouve ses caractéristiques originales n'ont pas encore été déterminées et varient selon l'ampleur de la force tensile appliquée ainsi que sa durée (Gordon, S.L. et al., 1995; Moore, J.S., 1992).

Le tendon peut également être soumis à des *forces compressives* (F_c) qui agissent perpendiculairement à l'axe longitudinal du tendon (fig.18). Ces forces surviennent lorsque les

tendons sous tension (tensile load, F_T) changent de direction et font un angle au niveau d'une articulation. Si le tendon se met en mouvement dans cette position, des *forces de friction* et de cisaillement (shear force) sont également produites.

On peut comparer cet effet à celui que subirait une corde tendue passée autour d'une poulie immobile. Même si aucun mouvement ne se produit, des forces de compression sont générées à l'interface entre la poulie et la corde. Si la corde se met en mouvement, il se produira également à cet endroit des forces de friction et de cisaillement.

Pour le tendon, l'impact est particulièrement important au niveau des gaines synoviales qui peuvent s'épaissir progressivement en réponse à l'application de ces forces (Gordon, S.L. et al., 1995; Moore, J.S., 1992).

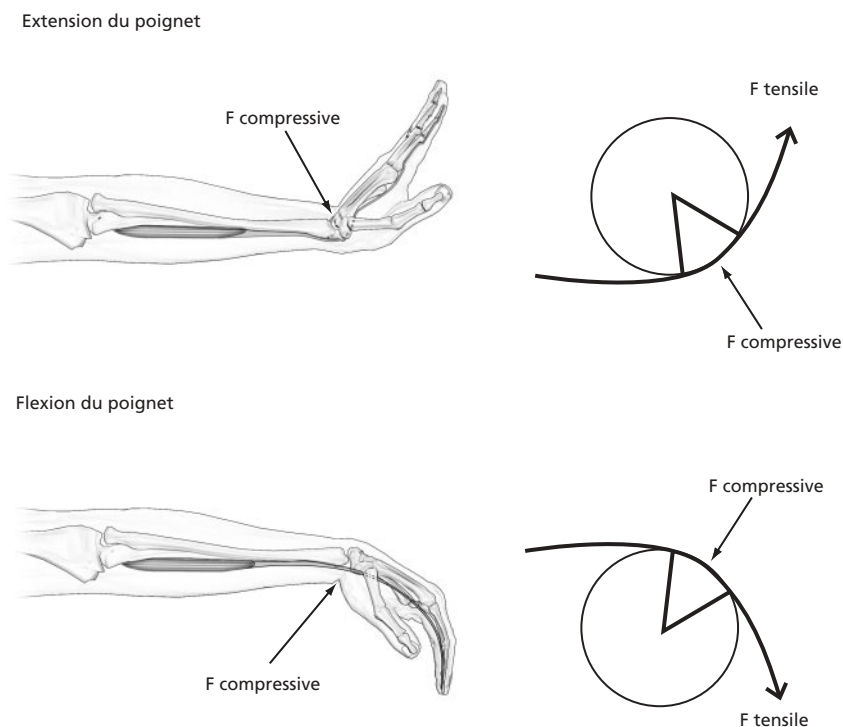


fig.18

Si la force appliquée dépasse le niveau de tension interne que peut supporter le tendon, une déformation permanente peut survenir et les fibrilles individuelles peuvent se rompre. Habituellement, dans des conditions normales, la tension interne du tendon se situe en dessous de cette limite (limite élastique). Un tendon ne se rompt presque jamais en son milieu. Lorsqu'il y a rupture, elle se produit habituellement à l'attache périostée ou à la jonction musculo-tendineuse (Gordon, S.L. et al., 1995; Moore, J. S., 1992).

2.4.2 Enthèse

L'enthèse est le *site d'insertion* d'un tendon, d'un ligament ou de la capsule articulaire sur l'os (*fig.16*). Le tendon, habituellement, s'étale au niveau de l'enthèse et sa structure se modifie légèrement. Dans un premier temps, le tissu conjonctif dense du tendon comprendra progressivement davantage de tissu fibro-cartilagineux, composé de fibres de collagène et de cellules cartilagineuses, les chondrocytes. Puis, ce tissu devient calcifié avant de se joindre à l'os par des communications fibreuses qu'on nomme couramment les fibres de Sharpey.

Ces changements tissulaires contribuent à un changement graduel dans les propriétés mécaniques entre le tendon et l'os. Lorsque la mobilité articulaire est plus grande, la quantité de fibrocartilage présente dans l'enthèse sera plus importante afin de permettre les divers mouvements et une bourse peut être présente pour diminuer la friction. Peu d'études ont été faites sur ces structures. Une altération à ce site se nomme enthésopathie. La plus connue est celle située à l'origine des muscles extenseurs du poignet et des doigts (tennis elbow ou épicondylite) (Gordon, S.L. et al., 1995).

2.5 Les bourses et les gaines tendineuses

Les bourses et les gaines de tendons ne font pas véritablement partie des articulations synoviales, mais elles leur sont souvent associées. Elles *empêchent la friction* entre différentes structures adjacentes (os, tendon, muscle, peau) au cours des mouvements. Ces sont des sacs fibreux aplatis (bourse) ou allongés (gaine tendineuse) contenant une mince pellicule de liquide synovial.

Le mécanisme de lubrification d'un tendon à l'intérieur de sa gaine synoviale est différent de celui de l'articulation (*fig.16*). À l'intérieur de la gaine synoviale, il existe une mince couche de liquide synovial qui vise à minimiser la friction entre le tendon lui-même et la gaine lors du glissement tendineux. La friction créée par les mouvements répétés et rapides des tendons dans leur gaine peut produire une réaction inflammatoire avec oedème, hypercellularité, angiogénèse et infiltrats inflammatoires. Une surutilisation moins intense peut amener un épaississement non-inflammatoire de la couche externe des tendons (paratendon) (Gordon, S.L. et al., 1995).

2.6 Les systèmes opérationnels

Les systèmes opérationnels comprennent le système nerveux et le système vasculaire périphériques.

2.6.1 Le système vasculaire

Les vaisseaux sanguins forment un réseau de distribution du sang qui commence et se termine au cœur. Ces vaisseaux ne sont ni rigides, ni statiques. Ce sont des structures dynamiques qui se contractent, se relâchent et même qui prolifèrent suivant les besoins de l'organisme.

Les vaisseaux sanguins se divisent en trois grandes catégories. Les *artères* transportent le sang et les matières nutritives, dont l'oxygène, jusqu'aux organes. Les *capillaires* sont en contact étroit avec les cellules et leurs parois fines permettent les échanges entre le sang et le liquide interstitiel dans lequel baignent les cellules. La pression interne moyenne à ce niveau est d'environ 30 mm Hg. Les *veines* amènent le sang des lits capillaires jusqu'au cœur et aux poumons, transportant les déchets métaboliques en vue de leur élimination (Marieb, E.N. et al, 1993).

2.6.2 Le système nerveux périphérique

Le système nerveux périphérique est composé de nerfs qui regroupent des fibres sensitives et motrices (fig.19). Les *fibres sensitives* transportent les informations sensorielles, soit les sensations de toucher, de douleur ou de position, de la périphérie jusqu'au système nerveux central (cerveau et moelle épinière). Les *fibres*

motrices transmettent les commandes en provenance du système nerveux central jusqu'aux organes cibles, tels les muscles, qui entrent alors en action.

Les nerfs périphériques sont constitués d'*axones*, qui sont des prolongements de cellules nerveuses spécialisées, les neurones (fig.20). Ces derniers sont situées au niveau de la moelle épinière, contiennent le noyau cellulaire et émettent les influx nerveux. Les neurones sont généralement ramifiés ou étoilés et leur prolongement cytoplasmique, l'axone, leur permet de conduire les influx électriques sur des distances parfois considérables. L'axone sert également au transport de diverses substances, soit vers la périphérie, soit vers le neurone.

Le nerf peut être lésé de diverses façons, dont par *compression*. Selon certaines études effectuées chez des sujets en bonne santé, l'application d'une pression mécanique de

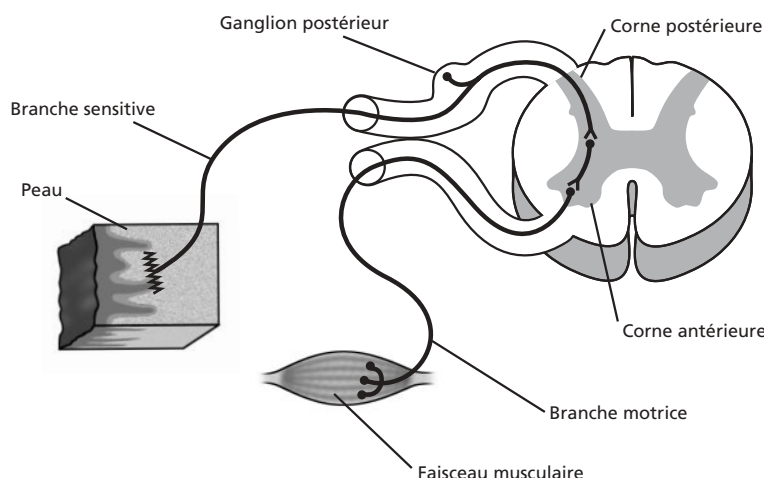


fig.19

Exemple d'un nerf moteur

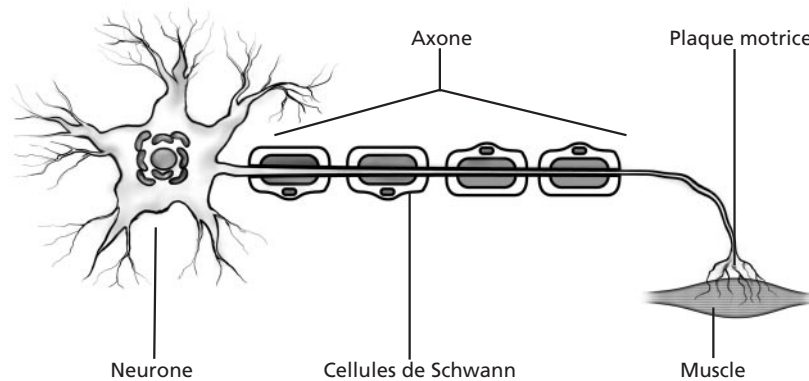


fig.20

plus de 30 mm Hg sur un nerf entraîne un ralentissement de sa circulation sanguine ainsi que de son système de transport axonal. Si la pression est plus élevée (60 mm Hg), un blocage métabolique surviendra, entravant la conduction de l'influx nerveux. Si ces pressions deviennent plus élevées ou sont maintenues, il y aura oedème puis éventuellement fibrose du nerf. Il peut également y avoir une atteinte mécanique de la couche de myéline, puis, progressivement, de l'axone lui-même. Lors de compressions sévères, la fibrose peut se produire au niveau de l'endonèvre, à l'intérieur du nerf et ces changements peuvent être permanents.

De plus, lors des mouvements, une force est exercée sur les nerfs qui croisent les articulations impliquées. Cet *étirement* physiologique, sous les limites élastiques du nerf périphérique, n'occasionne pas de lésion et permet les mouvements normaux des articulations. Par contre, spécialement chez des sportifs, l'amplitude ou la force d'un mouvement, par exemple chez un lanceur de base-ball, peut occasionner une blessure par étirement du nerf. Chez un violoniste, la combinaison des mouvements de flexion et d'extension peut étirer le nerf jusqu'à sa limite physiologique.

3. Facteurs de risque du milieu de travail associés au TMS du membre supérieur

Les facteurs de risque sont des conditions présentes dans le milieu de travail pouvant être impliquées dans l'apparition d'un problème de santé. Les facteurs de risque peuvent être directement responsables de l'apparition d'un trouble de santé, agir comme déclencheur ou créer des conditions propices à l'expression de l'atteinte. La réponse d'un travailleur à ces stressors externes dépend de plusieurs conditions, dont les facteurs intrinsèques (Bernard, B.P., 1997; Simoneau, S. et al, 1996).

Même si les facteurs de risque sont présentés de façon séparée, il est essentiel de retenir qu'ils sont souvent étroitement liés entre eux. Par exemple, une posture donnée peut déterminer la position des structures, qui seront alors plus ou moins bien placées pour forcer. Ainsi, il faudra déployer un effort plus ou moins grand pour exercer une même force, influençant directement la charge assumée par les tissus. Les facteurs de risque peuvent être classifiés de diverses façons. Le tableau suivant présente les principaux facteurs de risque associés aux troubles musculo-squelettiques reliés au travail.

FACTEURS BIOMÉCANIQUES

- Répétitivité
- Force
- Posture

FACTEURS PHYSIQUES

- Pressions locales (outil, appui, courroies)
- Vibrations, impacts

FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

- Froid

FACTEURS ORGANISATIONNELS

- Modes d'organisation du travail : juste à temps, flux tendu et disparition de l'encours, travail à la quitte, diminution des moments improductifs
- Répartition du temps de travail : présence de pauses statutaires ou non, travail en temps comprimé (horaire sur quatre jours), rotation / changement des tâches
- Contraintes temporelles : travail sous cadence imposée, affluence / demandes de la clientèle, contraintes de marché
- Périodes de surcharge de travail : accroissement de la production, temps supplémentaire, diminution du nombre d'employés (« down sizing »)
- Incitatifs à la production : rémunération à la pièce, bonus, quotas à atteindre
- Changements liés à la production : changement d'outils, de fournisseurs, de matériaux, de produit ouvrés, etc.

FACTEURS PSYCHOSOCIAUX

- Perception de surcharge, monotonie du travail
- Collectif de travail : support des collègues, entraide
- État des relations de travail, faible soutien / reconnaissance des supérieurs

3.1 Facteurs de modulation des facteurs de risque

De façon générale, l'importance d'un facteur de risque dépend de deux principales caractéristiques: son *intensité ou amplitude*, et sa *durée*. Le niveau de risque augmente avec l'augmentation de ces caractéristiques. De plus, il est essentiel de se rappeler que les facteurs de risque interagissent entre eux et que leurs effets peuvent se cumuler. L'analyse des facteurs de risque doit donc apprécier l'ensemble des facteurs en plus de chacun individuellement.

L'*intensité* d'un facteur de risque est parfois évidente. Par exemple, une posture près des limites articulaires ou un effort important seront qualifiés d'intense. L'immobilité complète et forcée d'une portion d'un membre peut contribuer au risque de la même façon qu'une mobilité continuelle.

La *durée d'exposition* aux facteurs de risque s'exprime de plusieurs façons et influence le temps de récupération tissulaire. Cette durée d'exposition peut représenter le temps de maintien d'une posture ou la durée d'un effort à l'intérieur d'un cycle de travail, par exemple, l'épaule qui est en abduction durant 30 secondes à l'intérieur d'un cycle de 2 minutes. Elle peut également correspondre à la durée d'exposition durant un quart de travail, par exemple une tâche est accomplie durant 3 heures pour un quart de travail d'une durée totale de 8 heures. Enfin, elle peut représenter l'exposition sur toute une vie professionnelle, par exemple, une travailleuse qui oeuvre comme couturière depuis 20 ans.

3.2 Facteurs biomécaniques

3.2.1 La répétitivité

La répétitivité est un concept ambigu et difficile à définir. Elle correspond à *l'utilisation variable, mais répétée, des mêmes tissus, qu'il y ait mouvement de l'articulation ou non (maintien d'une posture)*. Le risque est plus élevé si ce sont toujours les mêmes tissus qui sont sollicités (Malchaire, J., 1997).

L'*invariabilité* d'une tâche dont les activités sont relativement les mêmes au fil du temps est associée à la sollicitation des mêmes tissus. Cette invariabilité diminue les moments pendant lesquels les structures peuvent récupérer. Par contre, l'exécution de *tâches variées* peut également solliciter les mêmes structures. C'est lorsque les tissus n'ont pas le temps de revenir à leur état initial de repos que les changements survenant lors des sollicitations (accumulation d'acide lactique dans le tissu musculaire, phénomène de déformation tendineuse relié à ses propriétés visco-élastiques, effets secondaires à la friction des tendons dans leur gaine synoviale, etc.) peuvent s'accumuler et occasionner des symptômes (Voir section 4.2.4).

Il n'existe pas de frontière claire entre un travail « répétitif » et un travail qui ne l'est pas et il ne se limite pas au travail à cadence imposée. Récemment, une tâche répétitive pour le membre supérieur a été définie comme une tâche d'une durée consécutive d'au moins une heure, durant laquelle le sujet exécute des cycles de travail semblables et de durée relativement brève (quelques minutes au maximum) (Colombini, D. et al, 2001).

Dans la littérature, on retrouve souvent la définition de répétitivité selon la durée du cycle de travail ou la proportion de temps où les mêmes actions sont exécutées. Ainsi, une haute répétitivité a été définie lorsque le cycle était inférieur à 30 secondes ou que le même cycle occupait plus de 50% du temps de travail quotidien. Par contre, ces définitions ont été originellement proposées pour des fins de classification dans le cadre d'une étude particulière et ne constituent pas une référence absolue ou un critère de sécurité. Il peut survenir des situations de travail ne correspondant pas à ces définitions mais constituant un risque de TMS à cause de la posture ou des efforts requis. De la même façon, le fait qu'un cycle soit inférieur à 30 secondes ne constitue pas nécessairement un risque (Colombini, D. et al, 2001; Simoneau, S. et al, 1996).

Comme les mécanismes pathophysiologiques d'apparition des lésions tendineuses semblent être reliés plus précisément à la fréquence des mouvements, l'estimation de ces derniers, plutôt que la durée du cycle, semble être une mesure plus précise du risque. Selon des lignes directrices publiées en 1994, une fréquence d'action de 2.5 mouvements par minute pour l'épaule, de 10 par minute pour le coude et le poignet et d'environ 200 par minute pour les doigts constitueraient un niveau de risque élevé pour la fréquence, nonobstant les autres facteurs de risque (posture, effort, durée d'exposition) (Colombini, D. et al, 2001; Kilbom, A., 1994).

On peut donc essayer de quantifier la répétitivité en estimant la fréquence d'un mouvement ou d'une action, par exemple le nombre d'actions effectuées par le travailleur (ex.:

nombre de coups de couteau par cycle de travail pour dépecer un poulet, nombre de touches frappées à l'heure), ou d'une façon plus indirecte, par exemple en demandant au travailleur le nombre de pièces produites à l'heure. En ce qui concerne le maintien d'une posture (posture statique), on peut estimer sa durée à l'intérieur d'un cycle ou d'un quart de travail (maintien du bras durant 10 secondes dans un cycle de 40 secondes).

3.2.2 La force

La force est l'effet mesuré sur un objet externe au corps, par exemple la force nécessaire pour tirer un levier ou couper une broche. La force peut être estimée de façon indirecte en fonction du poids soulevé ou de façon directe par l'utilisation d'un dynamomètre (Imbeau, D., 1999; Kuorinka, I. et al, 1995).

La charge biomécanique ou musculo-squelettique (strain, astreinte) est l'effet de l'application de cette force sur les structures internes (muscles, tendons, articulations). *L'effort est le prix payé par l'organisme pour produire une force* et reflète l'intensité des contractions musculaires. Il est habituellement exprimé en pourcentage de la contraction maximale volontaire (%CMV):

$$\text{Effort \%} = 100 \times \frac{\text{force demandée par le travail}}{\text{force maximale de l'individu}}$$

Par exemple, si couper un fil requiert l'application d'une force de 10 kgF* sur les poignées et que la force maximale que peut exercer le travailleur est de 20 kgF*, alors l'effort qu'il devra fournir à chaque fois qu'il coupe ce fil sera de 50% de sa capacité musculaire (CMV) (Imbeau, D., 1999).

* kgF : force nécessaire pour effectuer une action

L'effort fourni par un individu sera différent selon, entre autre, ses caractéristiques. Une tâche peut représenter 40% de la capacité maximale d'un individu et seulement 25% pour un autre individu plus musclé puisque la force maximale pouvant être développée varie d'un individu à l'autre. *Un travail égal n'implique donc pas nécessairement un effort égal.* Par contre, on ne peut conclure qu'une personne musclée sera moins à risque de blessure: le risque dépend d'une multitude de facteurs. Un effort au-delà de 50% de la CMV est considéré comme un effort important, nonobstant les autres facteurs de risque. L'effort fourni peut aussi être estimé par des mesures psychophysiques ou par des études électromyographiques. L'une des mesures psychophysiques les plus utilisées est l'échelle de Borg. Il s'agit d'une échelle visuelle où la personne indique sa perception de l'effort fourni et sur laquelle 10 représente l'effort le plus important ressenti (Borg, 1982).



Les exigences de force d'une tâche et l'effort que doit fournir un travailleur pour l'accomplir varient également selon certaines conditions de travail. L'importance du poids de l'objet à manipuler n'est pas le seul facteur important. Par exemple, l'effort peut être influencé par le matériel sur lequel on travaille (plier du métal plus épais à l'aide d'une pince demande plus de force que si le métal est plus mince; l'effort fourni sera donc plus important) ou par un mauvais ajustement de l'outil (présence de torque qui nécessite un effort plus important pour tenir l'outil). L'effort fourni sera également différent selon les groupes musculaires

impliqués, dans les mêmes conditions. Exercer une force équivalente à 10 kgF avec la main ou avec tout le membre inférieur n'a pas la même implication en terme d'effort pour les structures.

La posture influence également le niveau d'effort fourni. Par exemple, le travail à bout de bras nécessitera un effort supplémentaire pour «tenir» le poids du bras, lui-même soumis à l'action de la gravité (effet de bras de levier). Une activité de vissage sera beaucoup plus exigeante si le coude est en position d'extension qu'avec le coude en flexion, à cause de la position moins favorable du biceps pour contribuer à la supination (fig.21).

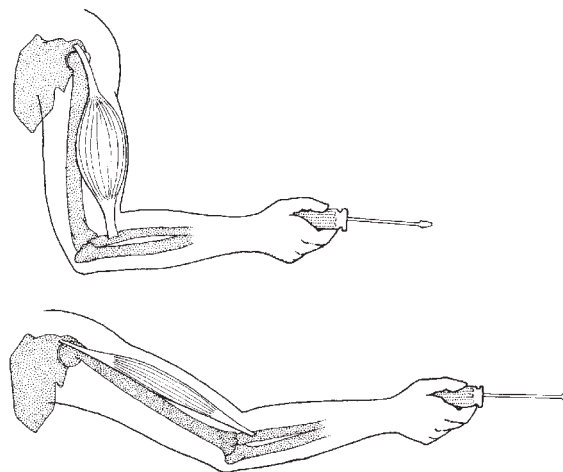


fig.21 Illustrations tirées de « Les LATR » de l'ASP Métal Électrique. 1996

De plus, un même groupe de muscles peut produire une force maximale différente selon la direction de l'effort. En effet, selon la direction du mouvement, la géométrie des structures internes est différente. Ainsi, le bras est beaucoup plus fort pour tirer et pousser que pour les mouvements qui vont vers l'intérieur (adduction) ou l'extérieur (abduction) (fig.22).

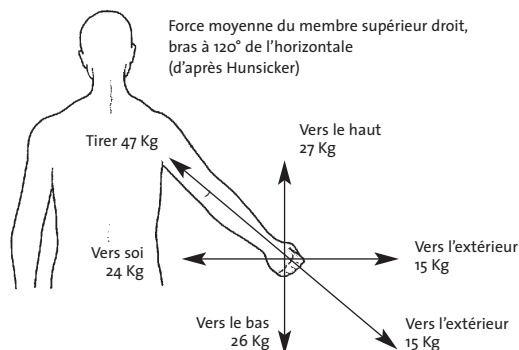


fig.22 Illustration tirée de « Les LATR » de l'ASP Métal Électrique. 1996

Le type de prise influence également l'effort fourni par les structures. Plus spécifiquement, les activités de préhension peuvent se diviser en prise de force (préhension pleine main fig.23a) et en prise de précision (préhension digitale fig.23b). Lors des prises de force, les doigts maintiennent l'objet contre la paume. C'est la prise la plus puissante et appropriée à l'exercice d'une force. La prise de précision est davantage limitée aux doigts, quoique la paume peut être utilisée. Cette préhension ou pince digitale est moins efficace pour l'exercice d'une force et l'effort musculaire nécessaire sera beaucoup plus grand. Si l'on utilise une prise en pincement pour exercer une force, les charges engendrées sur le tendon et sur l'articulation seront approximativement 5 fois plus élevée que si on utilise une prise de force.

Préhension pleine main

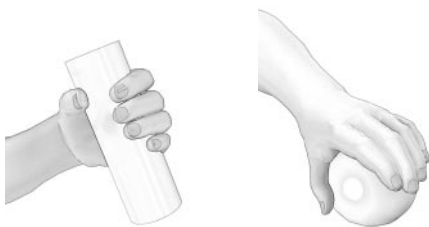


fig.23a

Préhension digitale

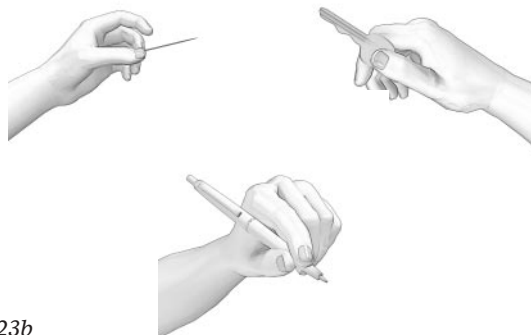


fig.23b

L'existence de poignées réduira l'effort nécessaire en permettant une prise en force, alors que le fait de manipuler un objet dont la surface est glissante ou d'une forme qui rend difficile l'exercice d'une bonne prise l'augmentera. De même, le port de gants peut être source d'un accroissement de l'effort de préhension pour compenser une perte d'adhérence ou une diminution de la sensibilité tactile.

3.2.3 La posture

Selon les caractéristiques du poste de travail ou des méthodes de travail utilisées, les travailleurs devront adopter diverses postures. Une posture qui n'est pas exigeante est une posture qui requiert peu d'effort pour la maintenir et pour laquelle les structures anatomiques sont en position favorable. Elle engendre une charge minimale sur l'articulation et se situe habituellement près de la position neutre, ou position anatomique (Kuorinka, I. et al, 1995).

Une posture peut être *exigeante* de plusieurs façons. Tout d'abord, elle peut se situer *près des limites d'amplitude* de l'articulation; ces postures peuvent nécessiter un travail musculaire

supplémentaire pour maintenir l'articulation en position, même en l'absence de charge supplémentaire.

De plus, la posture adoptée peut engendrer une charge supplémentaire sur l'articulation si elle doit résister à l'action de la gravité (à cause du poids du segment corporel) et ainsi augmenter l'effort fourni par les structures pour la maintenir. Par exemple, l'action de maintenir le bras étendu vers l'avant à hauteur de l'épaule engendre des moments de force* à l'épaule qui correspondent à environ 10% de la force maximale.

Une posture peut également empêcher les unités musculo-tendineuses de fonctionner efficacement ou induire des contraintes mécaniques sur les tissus. Par exemple, il est plus difficile de saisir un objet avec les doigts si le poignet est en flexion; de plus, cette position peut induire une pression sur le nerf médian qui entrave la micro-circulation du nerf ou occasionner des forces de compression au niveau des tendons.

Une posture maintenue pour une longue période de temps, même si l'angle positionnel ne se situe pas aux limites des amplitudes articulaires, est une posture considérée exigeante. De façon générale, plus une posture s'éloigne de l'axe neutre, moins elle devra être exécutée fréquemment ou maintenue longtemps. (Colombini, D. et al, 2001; Kuorinka, I. et al, 1995).

Les méthodes d'enregistrement des postures, en particulier la mesure des angles à partir de vidéos, peuvent se révéler imprécises. De plus, elles ne sont pas assez raffinées pour détecter d'autres changements posturaux, comme par

exemple l'élévation de l'omoplate qui peut être importante dans des tâches sédentaires, ou pour en déduire la charge à laquelle est soumise l'articulation (Kroemer, K.H.E. et al, 1997).

3.2.4 Périodes de récupération

Une période de récupération est un moment durant lequel les structures habituellement sollicitées lors de l'exécution des tâches sont à toutes fins pratiques inactives. Elles permettent aux tissus de retrouver leur état initial du point de vue métabolique et mécanique (Colombini, D. et al, 2001).

Ces temps de repos incluent les pauses statutaires (dîner, pauses) et les moments durant le cycle où les muscles habituellement sollicités sont inactifs. Ces «micropauses» doivent durer au moins 15 secondes consécutives. Deux situations sont présentées dans les figures suivantes (fig.24a et b). Lorsque la période de récupération qui suit directement la sollicitation ne permet pas aux structures de revenir à leur état initial, l'effet des contraintes sur les tissus (niveau d'astreinte) est plus élevé (fig.24b). (Colombini, D. et al, 2001).

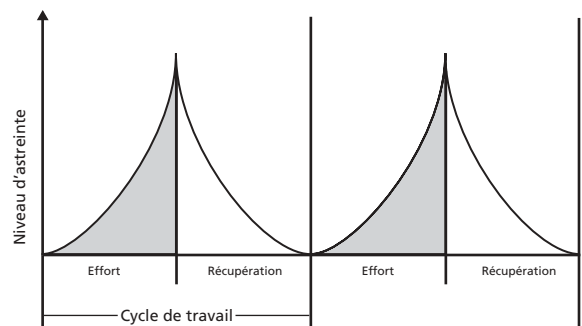


fig.24a

* Moment de force : mesure de la capacité d'une force à faire tourner un corps au tour d'un axe rigide.

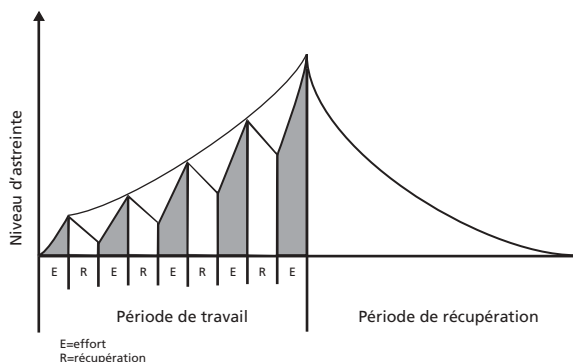


fig.24b

L'analyse des périodes de récupération doit donc inclure leur durée, leur fréquence et leur distribution dans le cycle de travail. À l'heure actuelle, il n'existe pas d'étude nous permettant d'évaluer la distribution ou la durée optimale des sollicitations et des périodes de récupération. De plus, les études qui ont été faites jusqu'à maintenant ont d'importantes limites, l'une d'entre elle étant qu'elles ont considéré, comme effet (outcome), la performance ou la fatigue musculaire mais peu les effets à la santé (lésions). Malgré ces limites, certaines études nous offrent des indications pertinentes qui peuvent être utilisées pour évaluer le niveau de risque auquel est exposé un groupe de travailleurs et faire des recommandations dans un objectif de prévention. Ces données sont en évolution et ne peuvent, à l'heure actuelle, être considérées comme des niveaux sécuritaires, c'est-à-dire des niveaux en dessous desquels il ne peut y avoir d'atteinte à la santé (Fallentin, N. et al, 2001; Colombini, D. et al, 2001).

• Travail dynamique

Pour les actions dynamiques, un consensus d'experts avance qu'un travail nécessitant des mouvements fréquents des membres supérieurs ne devrait pas être fait de façon continue pour plus d'une heure sans période de récupération et que celle-ci devrait représenter de 10 à 20 % du temps de travail, soit de 5 à 10 minutes par heure (exemple : 50 minutes de travail / 10 minutes de repos) (Colombini, D. et al, 2001).

• Travail statique intermittent

Ce type d'effort correspond à des postures qui ne sont pas maintenues longtemps (moins de 20 à 25 secondes). La figure 25 nous indique la durée du repos requis après un tel effort, selon son intensité et la durée de maintien de cet effort (Colombini, D. et al, 2001; Bystrom, S., 1991).

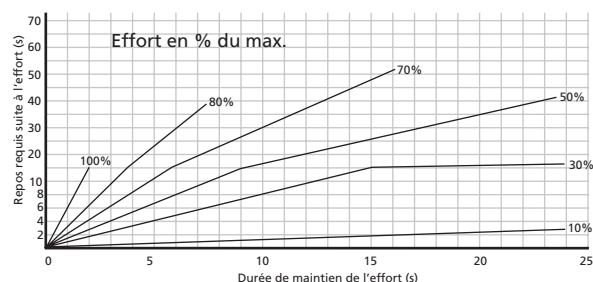


fig.25

• Travail statique

Le tableau suivant, issu des études classiques de Rohmert sur la physiologie musculaire, nous indique la période de repos minimale requise pour les muscles en fonction de l'intensité de la contraction (%CMV ou contraction maximale volontaire) et de la durée de la sollicitation (Colombini, D. et al, 2001).

Effort (% CMV)	Durée de maintien (sec)	Période de récupération (sec)	
Jusqu'à 20% de la CMV	20	2	10%
	30	3	10%
	45	7	15%
	120	60	50%
	180	180	100%
	240	480	200%
	300	1200	400%
	450	2700	600%
Environ 30% CMV	20	10	50%
	40	40	100%
	60	120	200%
	90	360	400%
	120	720	600%
	150	1200	800%
Environ 40% CMV	20	20	100%
	30	60	200%
	50	200	400%
	70	420	600%
Environ 50% CMV	20	40	200%
	30	120	400%
	40	240	600%
	90	720	800%

• Résumé pour les périodes de récupération

Ainsi, la durée de maintien et l'intensité des efforts fournis déterminent la longueur des pauses de récupération, qui à leur tour déterminent la fréquence acceptable des efforts et donc la répétition des cycles de travail musculaire. Il est important de noter que la période de récupération est rarement équivalente à la période de sollicitation, et que l'intensité de l'effort fourni joue un rôle déterminant dans l'allongement du temps requis pour que les structures reviennent à leur état initial (Colombini, D. et al, 2001; Imbeau, D., 1999).

3.3 Facteurs physiques

3.3.1 Pressions locales

Les pressions mécaniques subies par les tissus mous résultent d'un contact plus ou moins prolongé avec un objet dur. Par exemple, l'utilisation d'outils, le transport d'objets durs sur l'épaule ou l'appui prolongé sur les coudes ou les genoux en sont quelques exemples.

3.3.2 Vibrations, impacts

Les vibrations sont produites par les outils à moteur, surtout les outils pneumatiques ou électriques, tels les meules et les polisseuses. Ces vibrations segmentaires sont transmises aux mains et aux membres supérieurs d'autant plus que la force de préhension sur l'outil est importante. L'entretien des outils, le port de gants anti-vibratiles ou l'utilisation d'outils munis de poignées anti-vibratiles peut diminuer la transmission des vibrations aux membres supérieurs. L'exposition aux vibrations est associée à des atteintes vasculaires, neurologiques et musculo-squelettiques.

Les chocs ou les impacts, tels ceux subis par la main lorsqu'elle est utilisée comme outil, peut accroître le risque de certains troubles vasculaires (syndrome hypothénarien). L'utilisation d'outils à percussion provoque un coup subit et intense qui peut également causer des dommages aux tissus, particulièrement aux muscles et aux tendons de l'avant-bras. L'effet peut être le même lorsqu'on utilise un tournevis électrique ou pneumatique, par le contrecoup produit en fin de course.

3.4 Facteurs environnementaux

3.4.1 Le froid

Le travail au froid (ambiance froide, manipulation de produits froids) peut augmenter la charge musculo-squelettique en affectant la dextérité manuelle, la perception tactile et l'effort de préhension, soit directement, soit par l'utilisation de gants de protection. On a aussi suggéré que le froid augmente la tension musculaire, par exemple au niveau des épaules chez un travailleur exposé à un courant d'air frais.

3.5 Facteurs organisationnels

Les modes d'organisation ont une influence importante sur l'activité de travail, car ils déterminent les conditions de réalisation des tâches à accomplir. Certains modes de production sont de plus en plus considérés comme présentant des risques pour la santé des travailleurs et ont été associés à l'apparition ou à la recrudescence de TMS en milieu de travail. Les exigences de rapidité, de précision et de qualité ont augmenté dans presque tous les secteurs d'activité économique. Ceci amène une intensification du travail qui se traduit fréquemment par une diminution du temps dont dispose le travailleur pour faire les différentes opérations de sa tâche (Bourgeois, F. et al, 2000).

Pour bien saisir la relation entre l'organisation du travail et l'impact qui en résulte pour les TMS, il est essentiel de comprendre que l'exécution d'une tâche nécessite un ensemble d'habiletés et de compétences que les travailleurs doivent développer. Ces compétences gestuelles et ces savoir-faire déterminent la façon dont les travailleurs font leur tâche et se nomment « mode opératoire ».

Lorsqu'on analyse de façon plus approfondie l'activité de travail, on constate que les travailleurs doivent, en plus de faire face aux exigences de la tâche, tenir compte des imprévus, des incidents ou des dysfonctionnements qui peuvent survenir aussi bien dans la fabrication d'un produit que dans la dispensation d'un service. Ainsi pour faire face à toutes ces situations et en minimiser les impacts au niveau de la production et de leur santé, les travailleurs cherchent souvent à développer des stratégies d'action individuelles ou collectives pour se protéger. Pour y arriver, ils doivent avoir une certaine latitude et un certain contrôle sur les modes de régulation de leur travail. En d'autres termes, ils doivent disposer de « marges de manœuvre » suffisantes.

Le travailleur qui n'a pas suffisamment de marges de manœuvre devient dépendant de l'organisation dans l'exécution de sa tâche. Cette « dépendance organisationnelle » se caractérise, entre autre, par la diminution de la capacité de choisir le moment des pauses ou de faire varier son rythme de travail (rythme imposé par la cadence automatique d'une machine ou par la dépendance face à un travail fait par d'autres collègues, par la quantité de travail à fournir, indirectement par certains modes de rémunération). De plus en plus, cette dépendance organisationnelle est considérée comme un indicateur de risque pertinent dans la survenue des TMS (Bourgeois, F. et al, 2000).

Certaines formes d'organisation du travail et des modes de production imposent des contraintes qui diminuent les marges de manœuvre des opérateurs. Ainsi, une organisation en « juste à temps » permet à la production de rester flexible et de s'adapter rapidement aux changements de commandes ou de demandes des clients. L'entreprise n'accumule pas

d'inventaire. Par contre, les travailleurs doivent s'adapter rapidement à ces changements et ne peuvent pas facilement développer leurs stratégies d'action ou « prendre de l'avance » dans leur production pour faire face à des incidents.

Un mode de production appelé en « flux tendu », implique que les diverses opérations sont faites au fur et à mesure pour en arriver au produit final. À chaque étape, les pièces produites sont transférées « de main à main » entre les opérateurs, évitant ainsi de constituer des stocks intermédiaires ou « encours » qui pourraient se détériorer et affecter la qualité du produit final. Par contre, l'analyse du travail a montré que les encours jouent souvent un rôle de régulation individuelle et collective dans la gestion du rythme de travail et de la pénibilité des tâches. Quelques unités d'avance permettent à un travailleur de faire varier sa cadence et de gagner des moments de récupération. C'est une « zone tampon » qui confère de la souplesse dans l'organisation de la ligne.

Certains modes d'organisation du travail favorisent des rotations de tâches ou de postes. Ces formes d'organisation, qui visent entre autres la variation des sollicitations musculo-squelettiques, peuvent devenir une contrainte supplémentaire pour le travailleur. En effet, celui-ci devra, à chaque poste, apprendre de nouveaux gestes et développer des modes opératoires pour atteindre le niveau de performance attendu. Ceci nécessite donc l'apprentissage de nouveaux savoir-faire et l'acquisition de nouvelles compétences gestuelles.

D'autres types d'organisation du travail peuvent induire une accélération du rythme ou une intensification du travail. Par exemple, le « travail à la quitte » signifie que les travailleurs

peuvent quitter leur quart de travail dès qu'ils ont atteint un certain quota de production ou réalisé le travail demandé. Ce type d'organisation du travail se rencontre habituellement dans un travail d'équipe, tel que la livraison ou le ramassage des ordures, et a souvent pour effet d'accélérer le rythme collectif de travail. Les travailleurs désirant quitter le travail plus tôt, peuvent exercer des pressions sur leurs collègues qui ne peuvent plus moduler ou ajuster individuellement leur rythme de travail.

Une intensification du travail peut également survenir lors de périodes de surcharge de travail (accroissement de la production, temps supplémentaire, diminution du nombre d'employés) ou par des incitatifs à la production (rémunération à la pièce, bonus, quotas de production à atteindre). Cet effet peut également survenir lors d'une réorganisation du travail se traduisant par la diminution de moments considérés comme improductifs (temps d'attente, temps de déplacement, etc.).

La répartition du temps de travail (horaire, détermination des pauses, travail en temps comprimé) détermine la durée du quart de travail, le moment des pauses, et donc les moments de récupération. Ceux-ci peuvent ne pas correspondre au besoin réel de récupération en termes de durée ou de moment. De même, lors de travail sous cadence imposée ou d'affluence de la clientèle, les travailleurs ne peuvent pas facilement déterminer le rythme de leur travail ou prendre le temps nécessaire à leur récupération au moment où le besoin s'en fait sentir. Dans ces situations, les marges de manœuvre prennent toute leur importance.

Finalement, des changements liés à la production (changements d'outils, de fournisseurs, de matériaux, de produits ouvrés) peuvent

influencer directement les modes opératoires et la facilité d'exécution des diverses tâches.

3.6 Facteurs psychosociaux

Une contrainte psychosociale considérée comme un facteur de risque est le manque de satisfaction au travail. Celle-ci est caractérisée par la perception subjective de surcharge et de monotonie, par la qualité des relations avec les collègues et par l'état des relations de travail. Ces contraintes peuvent être influencées par les modèles organisationnels. Quoiqu'elles ont été associées à l'apparition de TMS en milieu de travail, leur importance reste à préciser.

Elles pourraient agir par l'intermédiaire de mécanismes de stress ou par une diminution de l'entraide entre les travailleurs. Le stress exprime la sollicitation de l'organisme quand un individu est en situation d'alerte. L'état de stress semble modifier le mécanisme de sécrétion des glandes endocrines et le système immunitaire. Certaines de ces substances pourraient accentuer la tension dans les muscles, provoquer un déséquilibre hydrominéral ou réduire la vitesse de réparation des microlésions.

3.7 Facteurs intrinsèques et risque de TMS

La capacité de faire un travail varie selon le sexe, l'âge, entre chaque travailleur et pour un même travailleur à divers moments de la vie. Certaines caractéristiques des travailleurs, qu'on appelle également facteurs intrinsèques, peuvent donc influencer l'apparition des TMS. On pense que ces facteurs intrinsèques pourraient augmenter la susceptibilité individuelle ou la prédisposition des travailleurs au développement de TMS ou encore que l'exposition à des facteurs de risque au travail pourrait déclencher plus rapidement

des symptômes d'un problème sous-jacent. Les facteurs intrinsèques peuvent également diminuer la prédisposition des travailleurs, les rendant plus résistants (effet tampon salutaire). La relation entre ces facteurs et le risque de lésions pour le travailleur est complexe et n'est pas entièrement comprise (Bernard, B.P., 1997; Kuorinka, I. et al, 1995).

La présence de caractéristiques individuelles ou d'états de santé particuliers ne diminue pas l'importance de la contribution des facteurs de risque au travail. Dépendant de l'intensité, de la fréquence et de la durée des expositions au travail, les facteurs intrinsèques contribuent pour une part plus ou moins grande à la genèse de la lésion (*voir section 4 - Mécanismes physiopathologiques de la blessure*). Une revue récente des facteurs associés aux TMS dans les études épidémiologiques a montré que les caractéristiques individuelles, les facteurs non professionnels ainsi que l'histoire médicale étaient moins associés aux TMS que les facteurs biomécaniques et organisationnels (Malchaire, J. et al, 2001; Bernard, B.P., 1997; Kuorinka, I. et al, 1995).

Certains facteurs intrinsèques ont fait l'objet d'études pour déterminer leur association avec l'incidence ou la prévalence des TMS. Ces études se sont intéressées davantage aux facteurs pouvant augmenter le risque de développement d'un TMS.

3.7.1 L'âge

La capacité des tissus de résister à des contraintes externes, ainsi que le processus de récupération et de guérison, diminuent avec l'âge. Il est probable que les conséquences de l'exposition à des facteurs de risque particuliers soient plus importantes chez les

travailleurs âgés que chez les plus jeunes. Le vieillissement entraîne également des changements dans la composition chimique des tissus et des liquides extracellulaires. Ces changements entraînent une dégénérescence au niveau des tissus; celle-ci est un facteur qui peut prédisposer, ou être un préalable, à certains TMS. Par exemple, l'exposition à certains stressseurs pourra provoquer une réponse immunologique, de type à corps étranger, face aux débris de cellules mortes d'un tendon présentant de la dégénérescence.

En ce qui concerne les études épidémiologiques, l'âge est un facteur confondant important des années pendant lesquelles le travailleur occupe un emploi (un travailleur qui occupe un emploi depuis 20 ans a vieilli de 20 ans). Il semble qu'il y ait une association entre le vieillissement et les TMS, y compris le syndrome du canal carpien, quoique les études soient contradictoires (Bernard, B.P., 1997; Kuorinka, I. et al, 1995).

3.7.2 Le sexe

Lorsque les facteurs professionnels étaient pris en compte, plusieurs études ont montré qu'il n'y avait pas de différence importante entre les hommes et les femmes atteints, y compris pour le syndrome du canal carpien lié au travail. Les myalgies au niveau du cou et des épaules seraient signalées de façon plus fréquente chez les femmes que chez les hommes, tant dans l'ensemble de la population que dans les travailleurs du secteur industriel. Cette différence pourrait être attribuable à des différences d'exposition, tant au travail qu'à la maison, ou à des différences génétiques (les femmes auraient plus de fibres de type 1 au niveau du trapèze et ces fibres pourraient être à l'origine de certaines douleurs myo-aponévrotiques) (Kuorinka, I. et al, 1995).

3.7.3 Mesures anthropométriques

Les mensurations d'un individu peuvent modifier son exposition. Ainsi, un individu de petite taille peut avoir à maintenir les bras en position surélevée si le plan de travail est trop haut et qu'il n'est pas ajustable alors qu'un individu de grande taille peut avoir à se pencher davantage pour soulever un objet de terre. Le niveau de risque pourra donc varier selon les caractéristiques anthropométriques de chaque travailleur. Le mobilier et les équipements sont habituellement conçus en fonction des dimensions d'un homme moyen d'origine caucasienne et peuvent ne pas être adéquats pour la population plus petite (souvent les femmes) ou plus grande.

En ce qui concerne plus spécifiquement le syndrome du canal carpien (SCC), la dimension du canal carpien constitue un facteur de risque controversé dans la genèse de cette pathologie, certaines études le mettant en relation avec un canal plus petit, d'autres avec un canal plus grand. L'obésité semble jouer un rôle significatif mais de peu d'ampleur dans la survenue d'un syndrome du canal carpien. Certaines différences anatomiques pourraient prédisposer des individus à un TMS, comme la forme de la gouttière bicipitale ou la présence aberrante d'un muscle lombrical dans le canal carpien (Bernard, B.P., 1997; Kuorinka, I. et al, 1995).

3.7.4 Maladies métaboliques, troubles inflammatoires généralisés et maladies neuromusculaires

Les symptômes musculo-squelettiques locaux peuvent constituer les premiers symptômes d'un problème inflammatoire général (ex. polyarthrite rhumatoïde, spondylite ankylosante, polymyosite). La colite, des infec-

tions des voies respiratoires ou génito-urinaires ainsi que d'autres maladies inflammatoires non rhumatismales peuvent également provoquer des symptômes inflammatoires réactionnels au niveau du système musculo-squelettique. Les personnes atteintes d'une maladie rhumatismale générale active ou sub-clinique, de maladies neuromusculaires, ou porteuses d'une spondylite ankylosante pourraient être plus susceptibles de développer un TMS lorsqu'exposées à des facteurs de risque professionnels. Par contre, l'exposition à des facteurs de risque du milieu de travail provoquant une manifestation précoce d'un problème neurologique serait peu fréquente (Kuorinka, I. et al, 1995).

En regard plus spécifiquement du SCC, celui-ci peut avoir des étiologies diverses. Ainsi, il peut apparaître, entre autres, lors d'une grossesse, d'une hypothyroïdie, d'une arthrite rhumatoïde. Le diabète sucré peut être associé à l'apparition d'une neuropathie périphérique et augmenterait le risque de développer un SCC. L'association entre le SCC et certains facteurs hormonaux chez la femme, tels l'hystérectomie, l'ovariectomie ou l'utilisation de contraceptifs oraux, est controversée. La littérature nous indique donc des associations entre les TMS et certaines atteintes systémiques mais il n'existe pas actuellement de preuve scientifique qu'un individu qui souffrirait de ces atteintes serait plus à risque de développer un TMS (Roquelaure, Y. et al, 1997; Tanaka, S., 1997; Bernard, B.P., 1997; Kuorinka, I. et al, 1995; Moore, J.S., 1991).

3.7.5 Divers

Le tabagisme ne semble pas influencer l'apparition des TMS du membre supérieur.

Par contre, il existerait un lien entre certains problèmes psychologiques (troubles de personnalité, hystérie, hypocondrie, dépression) et les symptômes musculo-squelettiques, mais on ignore si ces problèmes psychologiques sont un facteur prédisposant ou une conséquence de l'atteinte musculo-squelettique (Kuorinka, I. et al, 1995).

4. Mécanismes physiopathologiques de la blessure

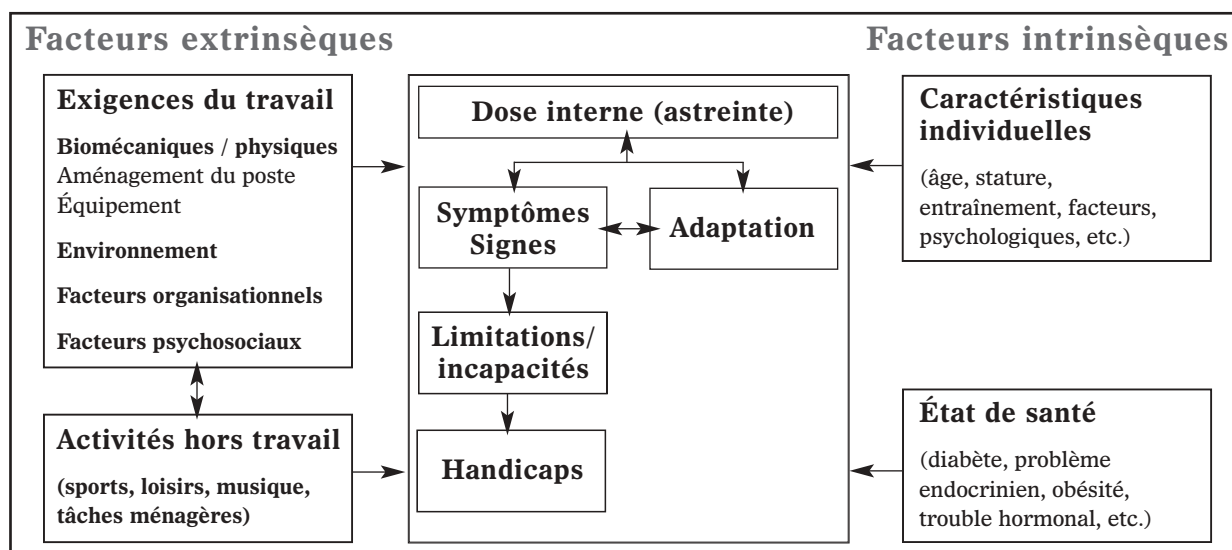
Les TMS reliés au travail sont des atteintes multifactorielles résultant de l'interaction complexe de multiples facteurs, certains liés au travail et d'autres non. Cette relation complexe entre l'exposition à des facteurs extrinsèques et la dose interne tissulaire qui en découle n'est pas bien comprise et les études ne nous permettent pas de préciser de relation quantitative précise (relation dose-réponse). De plus, les facteurs intrinsèques viennent moduler la réponse de l'individu à ces expositions mais notre compréhension de ces influences reste limitée. Enfin, nous n'avons qu'une compréhension partielle du processus pathologique, menant des premiers symptômes (que l'on croit être de la fatigue) jusqu'à l'apparition de la lésion (Fallentin, N. et al, 2001).

Plusieurs modèles théoriques ont été proposés pour expliquer la pathophysiologie des TMS, en s'appuyant sur des connaissances issues d'études biomécaniques et physiologiques. D'une façon générale, les TMS surviendraient suite à l'interaction de divers mécanismes (Kumar, S., 2001) :

- sollicitations des tissus qui dépasseraient leur capacité d'adaptation;

- accumulation d'astreintes (load) tout au long des activités, entre autres de travail, qui fragiliseraient les structures;
- fatigue des structures qui, ne remplissant plus leur rôle, provoqueraient un dysfonctionnement cinétique.

Selon le tableau suivant, les exigences du travail et les activités hors travail définissent un niveau de contraintes et constituent l'exposition de l'individu aux facteurs extrinsèques. Une dose interne (astreinte) en découle et représente la réponse de l'organisme. Elle peut affecter le fonctionnement mécanique, physiologique ou psychologique de l'individu. On dira que l'individu s'adapte si les changements dans l'état interne augmentent sa résistance. Dans le cas d'une surcharge, un processus pathologique peut s'installer et se manifester cliniquement au début par des symptômes, puis par des signes à l'examen physique. La capacité d'adaptation de l'individu serait influencée par des doses et des réponses antérieures (accumulation d'astreintes), ainsi que par les facteurs intrinsèques (caractéristiques individuelles et état de santé) (Gatchel, R.J. et al, 2000).



5. Appréciation du lien étiologique entre les facteurs de risque et les atteintes à la santé

La seule présence de facteurs de risque en milieu de travail n'est pas suffisante pour prédire la survenue d'un TMS. Quoique des relations entre l'exposition et l'effet (relation dose-réponse) ont été observées, les connaissances actuelles ne permettent pas de déterminer une relation quantitative. Il est donc impossible actuellement de définir un niveau seuil, c'est-à-dire un niveau qui serait sécuritaire et en-dessous duquel le risque d'apparition des TMS serait nul ou réduit, ou au-dessus duquel le risque relié à ces facteurs deviendrait important (Fallentin, N. et al, 2001; Colombini, D. et al, 2001).

Plusieurs organisations, dont le Bureau International du Travail (BIT), l'American College of Occupational and Environmental Medicine (ACOEM), l'Occupational Safety and Health Agency (OSHA) et l'American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS) ont publié des guides sur les TMS, présentant les facteurs de risque, les notions de physiologie et de biomécanique pertinentes pour l'appréciation de la plausibilité biologique de la relation entre certains facteurs de risque et certaines TMS ou en émettant des lignes directrices pour la conduite à tenir (Kearney, D. et al, 2001; Stellman, J.M., 1998; Harris, J.S., 1997; Gordon, S.L. et al, 1995).

De façon générale, on sait que la probabilité de survenue des TMS augmente avec le nombre de facteurs de risque et l'importance de l'exposition. On sait aussi que les facteurs de risque interagissent entre eux et peuvent entraîner des effets cumulatifs (Kuorinka, I. et al, 1995).

5.1 La littérature épidémiologique

Récemment, plusieurs organismes se sont penchés sur l'analyse de la littérature épidémiologique en ce qui concerne les TMS

reliés au travail. Les deux analyses les plus importantes ont été réalisées par le National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) en 1997 et par un groupe d'experts internationaux mandatés par l'IRSSST en 1995. Ces deux groupes de travail ont tiré des conclusions basées sur une analyse stricte de la littérature, utilisant des critères reconnus pour la sélection des études et l'évaluation du lien de causalité (Bernard, B.P., 1997; Kuorinka, I. et al, 1995).

La qualité des études établissant les relations entre les lésions et les facteurs de risque du milieu de travail a été souvent remise en question. En effet, les études épidémiologiques qui évaluent la relation entre les facteurs de risque et les TMS ont plusieurs limites, dont, entre autres:

- les définitions de cas ne sont pas constantes (diagnostic basé sur des symptômes, d'autres avec examen physique, par exemple);
- l'évaluation des facteurs de risque est souvent imprécise (utilisation de titres d'emploi par exemple au lieu de quantifier les facteurs de sollicitation musculo-squelettiques); on ne peut donc préciser une relation quantitative (relation dose-réponse) entre les facteurs de risque et les atteintes à la santé;
- il y a très peu d'études prospectives et les études les plus fréquentes sont de type transversal; or, ce type d'étude n'évalue pas la relation temporelle (la lésion s'est-elle produite avant ou après l'exposition?).

De plus, il peut être difficile d'extrapoler les résultats d'études populationnelles à un individu (Guidotti, T., 1998; ACEOM, 1997; Kuorinka, I. et al, 1995).

Les conclusions issues d'analyses critiques de la littérature épidémiologique récente nous apprennent que les données sont suffisantes pour affirmer qu'il existe une relation entre plusieurs lésions musculo-squelettiques et certains facteurs de risque biomécaniques, particulièrement lorsque l'exposition est élevée et que les travailleurs sont exposés à plusieurs facteurs de risque (Bernard, B.P., 1997; Kuorinka, I. et al, 1995). Cette relation est particulièrement importante pour les tendinites de l'épaule, du poignet et de la main, ainsi que pour le syndrome du canal carpien (Kuorinka, I. et al, 1995).

Si la littérature épidémiologique ne fournit pas la preuve d'une relation entre une lésion et les facteurs de risque du milieu de travail, ceci n'implique pas nécessairement que cette relation n'existe pas. Ceci veut dire que, pour diverses raisons (nombre ou qualité des études par exemple), on ne peut apprécier la relation (présente ou absente) à l'aide des études épidémiologiques faites jusqu'à maintenant (Bernard, B.P., 1997; Kuorinka, I. et al, 1995).

5.2 Démarche d'évaluation clinique

L'évaluation clinique d'un TMS lié au travail ne diffère pas de l'évaluation de toute autre atteinte musculo-squelettique. Elle comporte deux volets : l'évaluation du travailleur et l'évaluation de l'activité de travail.

5.2.1 Évaluation du travailleur

Il importe de recueillir le maximum d'informations sur les symptômes que présente le travailleur dans le but d'établir un diagnostic le plus précis possible, de considérer le diagnostic différentiel et de déterminer les divers facteurs étiologiques ayant pu contribuer à l'atteinte.

Il est important de noter la localisation précise des symptômes (où?), leur début (quand?) et les circonstances d'apparition (comment?). Les activités hors travail seront notées, soit les activités sportives, de loisir, de musique et les activités reliées aux tâches ménagères. De plus, le travailleur devra être questionné sur la relation des symptômes avec la présence au travail, le début d'un nouveau travail ou de changements de type organisationnels (nouvelle tâche, nouveau produit, heures supplémentaires, modification des conditions de travail) ou, plus spécifiquement, avec certaines activités ou mouvements effectués au travail, dans la vie quotidienne ou lors d'activités de loisirs.

Une appréciation de la sévérité de l'atteinte et des capacités fonctionnelles du travailleur peut également nous servir à apprécier l'ampleur et l'évolution de la symptomatologie.

5.2.2 Évaluation de l'activité de travail

Un second volet de l'évaluation clinique demande de vérifier si les exigences du travail ont pu contribuer à l'apparition de la lésion en faisant une histoire professionnelle. Celle-ci comporte la description du travail actuel et une évaluation sommaire des occupations antérieures qui ont pu participer au cumul de l'exposition. Souvent, le titre d'emploi n'est pas représentatif du travail effectué.

Cette partie de l'évaluation devrait être faite pour toute atteinte musculo-squelettique. En effet, même si le médecin considère que les facteurs de risque du milieu de travail ont peu contribué à la genèse de l'atteinte, l'appréciation des sollicitations peut devenir importante lors de la réintégration du travailleur dans son milieu. Dans ces cas, l'analyse visera à dimi-

nuer au minimum l'impact des sollicitations sur les structures atteintes. Quelques questions de dépistage peuvent nous inciter à pousser plus loin notre questionnaire ou non (ex : que faites-vous exactement comme travail? êtes-vous sur une chaîne de production? quels mouvements effectuez-vous?).

Lors d'une consultation médicale, il est impossible de procéder à une analyse en profondeur des exigences du travail. De plus, une analyse de cette nature demande une formation spécialisée (ergonomie, hygiène du travail, médecine du travail). Par contre, il est possible de se faire une bonne représentation du milieu de travail en posant certaines questions et en faisant parler le travailleur. Quelques publications récentes peuvent aider dans le choix de ces questions et dans l'appréciation des mouvements reconnus à risque pour certaines atteintes spécifiques (Patry, L. et al, 1997 et 1998; Bergeron, J.P. et al, 1997).

Pour mieux comprendre les activités de travail et les facteurs de sollicitation musculo-squelettique auxquels le travailleur est exposé, on peut également lui demander de décrire ou de mimer ce qu'il fait dans une journée habituelle de travail puisque la mémoire gestuelle est plus précise que la mémoire procédurale. Parfois le travailleur peut apporter un outil, un type de produit ou certaines représentations graphiques qui nous permettront de mieux visualiser l'activité de travail et l'effort fourni. Ces questions et observations permettent de mieux comprendre et décrire les facteurs biomécaniques, physiques, environnementaux et organisationnels auxquels le travailleur est exposé, de même que la durée et l'intensité de l'exposition.

L'évaluation des exigences du travail d'un patient devrait comprendre les éléments suivants :

- Description d'une journée de travail :
 - description des diverses tâches effectuées
 - répartition du temps de travail et des moments de repos
 - temps supplémentaire
- Identification des facteurs biomécaniques, physiques et environnementaux
 - postures et mouvements : demander au travailleur de mimer ses activités de travail et observer si ces mouvements sollicitent les structures atteintes;
 - évaluation de l'effort : demander au travailleur quel est le poids des objets manipulés, dans quelle posture ils le sont; au besoin utiliser une échelle de perception de l'effort (échelle de Borg);
 - répétitivité : estimer la fréquence du mouvement ou de la durée de maintien d'une posture à l'intérieur d'un cycle de travail, du nombre de pièces produites par unité de temps, des temps de récupération entre les sollicitations;
 - outils ou équipements utilisés : documenter les outils à main, outils vibrants, pressions locales par outils ou courroies;
 - environnement de travail : documenter particulièrement le travail en ambiance froide ou la manipulation de produits froids.
- Documentation des facteurs organisationnels et psychosociaux
 - répartition du temps de travail (horaire, pauses, horaire sur quatre jours, rotation des tâches);

- contraintes de temps (cadence imposée, service à la clientèle (affluence));
- type de rémunération (à la pièce, bonis); quotas de production;
- surcharge de travail (production accrue, diminution du personnel, temps supplémentaire);
- changements d'équipement, d'outils ou de type de production;
- contrôle du travailleur sur son rythme de travail.

5.3 Démarche d'appréciation du lien étiologique

Puisque les études épidémiologiques ne nous donnent pas toutes les réponses, il est important de considérer d'autres aspects dans l'évaluation médicale de la relation entre des facteurs de risque présents dans les milieux de travail et les atteintes à la santé. Le questionnaire et l'examen du patient, de même qu'une courte histoire professionnelle, nous permettront d'identifier ces éléments touchant, d'une part, le travailleur et d'autre part, son milieu de travail. La prise en compte des éléments suivants permettra de structurer l'opinion sur la relation entre un TMS et le travail.

1. Préciser les structures atteintes.

Le diagnostic devrait être le plus précis possible (diagnostic différentiel) et les diverses étiologies devraient être prises en compte.

2. Identifier les facteurs de risque sollicitant ces structures (biomécaniques, physiques environnementaux, organisationnels et psychosociaux).

3. Documenter l'importance de l'exposition soit la durée et l'intensité.

4. Préciser la relation temporelle des symptômes par rapport au travail.

Les symptômes devraient être évalués en relation avec la présence au travail (diminution lors des fins de semaine ou lors des vacances), ou suite à des changements (nouvelle tâche, heures supplémentaires, modification des conditions de travail). Les symptômes peuvent toutefois être présents en dehors du travail, si l'individu est exposé à d'autres sollicitations musculo-squelettiques (ex: pratique d'un sport) ou si l'atteinte est à un stade plus avancé. La documentation actuelle ne reconnaît pas de durée minimale d'exposition avant l'apparition des symptômes.

5. Identifier les facteurs intrinsèques pertinents.

Certains troubles inflammatoires ou métaboliques peuvent contribuer au développement d'une atteinte musculo-squelettique, de même que la poursuite de certaines activités peut augmenter la charge sur les structures. Toutefois, la présence de facteurs intrinsèques significatifs n'exclue pas une relation possible avec le travail.

6. Réviser les données scientifiques concernant cette problématique (épidémiologique, physiologique, biomécanique).

Cette lésion est-elle reconnue comme étant une lésion musculo-squelettique reliée au travail? (*voir commentaires dans la section 5.1*) L'association de cette lésion avec les facteurs du milieu de travail est-elle cohérente par rapport à nos connaissances biologiques (plausibilité biologique)?

7. Identifier l'existence de problèmes similaires chez d'autres travailleurs avec des tâches similaires.

5.4 Indemnisation

Au Québec, la décision d'indemniser un travailleur (critères d'admissibilité au régime de compensation) relève de la Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail (CSST). Par contre, il est important que le médecin traitant déclare à la CSST une atteinte à la santé qu'il croit reliée au travail afin de permettre au travailleur d'exercer ses droits. Les interprétations légales quant au lien de causalité peuvent être différentes de l'interprétation médicale de la relation. Toutefois, que l'atteinte soit reconnue ou non par la CSST comme lésion professionnelle, il est essentiel que le médecin identifie la contribution du milieu de travail dans l'apparition ou l'aggravation de la lésion. En effet, les actions médicales découlant de l'identification d'une relation entre certaines atteintes à la santé et des facteurs de risque du milieu de travail visent davantage les aspects préventifs, de prise en charge de l'individu ou encore de réintégration des individus atteints dans leur milieu, afin d'éviter l'aggravation ou la récurrence de la lésion (Harris, J.S., 1997).

Conclusion

Les troubles musculo-squelettiques (TMS) reliés au travail sont des atteintes dont l'étiologie est multifactorielle. Ils correspondent au concept de maladies *reliées* au travail avancé par l'Organisation mondiale de la santé en 1985, maladies qui peuvent être causées en partie par des conditions de travail défavorables.

Les TMS reliés au travail réfèrent aux troubles des structures péri-articulaires dans lesquels plusieurs tissus aux propriétés différentes peuvent être atteints. Ils seraient causés par une sollicitation excessive des tissus, c'est-à-dire qui surviennent lorsque la demande d'un travail dépasse la capacité d'adaptation des tissus. Ces tissus réagissent aux divers stress auxquels ils sont soumis et doivent avoir suffisamment de temps pour récupérer afin de revenir à leur état initial.

Les facteurs de risque sont des conditions présentes dans le milieu de travail pouvant être impliqués dans l'apparition de TMS. Ils

peuvent être directement responsables de leur apparition, agir comme déclencheur ou créer des conditions propices à l'expression de l'atteinte. Les principaux facteurs de risque sont la répétitivité, la force, la posture et l'insuffisance de périodes de repos. La réaction d'un travailleur à ces stressseurs externes dépend de plusieurs conditions, dont les caractéristiques individuelles et l'état de santé.

L'identification de la contribution du milieu de travail dans l'apparition ou l'aggravation d'une lésion vise les aspects préventifs et certains éléments de la prise en charge de travailleurs, dont la réintégration des travailleurs dans leur milieu. L'analyse de la relation entre l'atteinte à la santé et les facteurs de risque présents dans le milieu de travail repose sur l'évaluation clinique, la relation temporelle entre les symptômes et l'exposition ainsi que la documentation et l'appréciation des différents facteurs de risque qui ont pu contribuer au développement d'un trouble musculo-squelettique.

Questions de révision

Les questions ont été prises dans les sections identifiées. Pour les réponses, veuillez vous référer à chacune des sous-sections.

Section 1 : Définitions et caractéristiques générales des lésions musculo-squelettiques

1. Pouvez-vous préciser le concept de maladies reliées au travail, tel que défini par l'Organisation Mondiale de la Santé en 1985?
2. De façon générale, quelle est la cause des TMS reliés au travail?
3. Que représente le terme TMS?

Section 2 : Notions d'anatomie et de physiologie

• 2.1 Les articulations

4. Expliquez ce que signifie la congruence d'une articulation.
5. À quel type de contraintes est soumis le cartilage articulaire?
6. Expliquez la différence entre la capsule articulaire et les ligaments et leurs rôles respectifs.

• 2.3 Les muscles squelettiques

7. Nommez quatre fonctions des muscles squelettiques.
8. Décrivez la composition du muscle, jusqu'au niveau de l'unité fonctionnelle.
9. Comment se produit la contraction musculaire?
10. Quelles sont les phases de la contraction musculaire?
11. Expliquez l'apport énergétique nécessaire au travail musculaire.
12. Expliquez les différences entre un travail statique et un travail dynamique (définition, apport énergétique, évacuation des déchets métaboliques) et donnez un exemple.
13. Que veulent dire synergisme et antagonisme?
14. Quels sont les facteurs qui font varier la force?
15. Pourquoi la force disponible pour le mouvement varie-t-elle selon la posture?
16. Décrivez les trois types de leviers qu'on peut retrouver au niveau du corps humain.
17. Expliquez le concept de fatigue musculaire.
18. À quel moment le muscle est-il considéré au repos?

• 2.4 Les tendons

19. Quelle est la composition d'un tendon?
20. Expliquez les propriétés visco-élastiques des tendons.
21. Comment réagit le tendon lors de sa mise en tension (application d'une charge)?
22. Quelles sont les différentes forces qui peuvent s'exercer au niveau du tendon?
23. Que veut dire enthèse?

- **2.5 Les bourses et les gaines tendineuses**

24. Quel est le rôle des bourses et des gaines tendineuses?

- **2.6 Les systèmes opérationnels**

25. Quel rôle jouent les nerfs périphériques?

26. Qu'est-ce qui peut léser un nerf, à part une section traumatique?

Section 3 : Facteurs de risque du milieu de travail associés aux TMS du membre supérieur

27. Que signifie le terme facteur de risque?

28. Quels sont les principaux facteurs de risque?

- **3.2 Facteurs biomécaniques**

29. De façon générale, décrivez le concept relié à la répétitivité.

30. Ce concept peut-il s'appliquer à la fois à un travail invariable et à un travail aux tâches variées?

31. Comment peut-on quantifier la répétitivité?

32. Quelle est la différence entre la force et l'effort?

33. Énumérez cinq facteurs qui peuvent faire varier l'effort fourni.

34. Qu'entend-on par une posture exigeante?

35. Quelle est la définition d'une période de récupération?

36. Quels sont les éléments qui influencent la durée de récupération?

- **3.5 Facteurs organisationnels**

37. Précisez ce que veut dire mode opératoire.

38. Expliquez l'importance des marges de manœuvre.

- **3.7 Caractéristiques personnelles et risque de TMS**

39. Quelle est l'importance des caractéristiques individuelles dans la genèse des TMS?

Section 4 : Mécanismes physiopathologiques de la blessure

40. Quels sont les facteurs extrinsèques et intrinsèques qui peuvent influencer l'apparition d'un TMS?

Section 5 : Appréciation du lien étiologique entre les facteurs de risque et les atteintes à la santé

41. Nommez trois limites des études épidémiologiques.

42. Décrivez les principaux volets de l'évaluation clinique.

43. Énumérez les 7 points de la démarche d'appréciation du lien étiologique.

Bibliographie

Allard, P., Blanchi, J.P. : *Analyse du mouvement humain par la biomécanique*. Québec: Décarie éditeur, Paris: Éditions Vigot, 2000, 400 pages.

Armstrong, T.J., Buckle, P., Fine, L.J., Hagberg, M., Jonsson, B., Kilbom, A., Kuorinka, I.AA., Silverstein, B., Sjøgaard, G., Viikari-Juntura, E.RA. : *A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders*. Scand. J. Work Environ Health 1993; 19:73-84.

Bergeron, J.P., Dufour, J.G., Farrar, D. : *Les lésions attribuables au travail répétitif (LATR) : pour une démarche à la portée de l'omnipraticien*. La Fédération des médecins omnipraticiens du Québec, Modules d'autoformation, 1997, 195p.

Bernard, B.P. (ed) : *Musculoskeletal disorders and workplace factors. A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity and low back*. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Cincinnati: U.S. Department of health and human services, July 1997.

Borg, G.A.V. : *Psychological bases of perceived exertion*. Medicine and science in sport and exercise 1982; 4 :377-381.

Bourgeois, F., Lemarchand, C., Hubault, F., Brun, C., Polin, A., Fauchoux, JM. : *Troubles musculosquelettiques et travail. Quand la santé interroge l'organisation*. Lyon : Éditions de l'ANACT, collection Outils et méthodes, 2000, 252 pages.

Bystrom, S. : *Physiological response and acceptability of isometric intermittent handgrip contractions*. Stockholm : National Institute of Occupational Health (coll. Arbete och Hälsa, 38), 1991.

Calais-Germain, B. : *Anatomie pour le mouvement. Tome 1: introduction à l'analyse des techniques corporelles*. Revel (France): Édition DesIris, 1991, 302 pages.

Colombini, D., Occhipinti, E., Delleman, N., Fallentin, N., Kilbom, A., Grieco, A. : *Exposure assessment of upper limb repetitive movements : a consensus document developed by the Technical Committee on Musculoskeletal Disorders of International Ergonomics Association (IEA) endorsed by International Commission on Occupational Health (ICOH)*. G Ital Med Lav Erg 2001; 23(2) : 129-142.

Côté, G., Turgeon, J.M. : *L'épaule douloureuse*. Module d'autoformation no.24. Fédération des médecins omnipraticiens du Québec, 1994, 119 pages.

Dupuis, M., Leclaire, R. : *Pathologie médicale de l'appareil locomoteur*. Québec: Edisem, Paris: Éditions Maloine, 1986, 999 pages.

Erdil, M., Dickerson, O.B. (eds) : *Cumulative trauma disorders. Prevention, evaluation, and treatment*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997, 719 pages.

Fallentin, N., Viikari-Juntura, E., Waersted, M., Kilbom, A. : *Evaluation of physical workload standards and guidelines from a Nordic perspective*. Scand J Work Environ Health 2001; 27 suppl 2 : 1-52.

Gatchel, R.J., Mayer, T.G. : *Occupational musculoskeletal disorders : introduction and overview of the problem*. dans Mayer, T.G., Gatchel, R.J., Polatin, P.B. (eds) : *Occupational musculoskeletal disorders. Function, outcomes and evidence*. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins, 2000, 814 pages.

Gordon, S.L., Blair, S.J., Fine, L.J. (eds) : *Repetitive motion disorders of the upper extremity*. Illinois: American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS), 1995, 565 pages.

Guidotti, T.L. : *Evidence-based medical dispute resolution in workers' compensation*. Occupational Medicine State of The Art Reviews 1998; 13(2): 289-302.

Guidotti, T.L. : *Applying epidemiology to adjudication*. Occupational Medicine State of The Art Reviews 1998; 13(2): 303-314.

Harris, J.S. (ed) : *Occupational medicine practice guidelines. Evaluation and management of common health problems and functional recovery in workers*. American College of Occupational and Environmental Medicine (ACOEM). Massachusetts: OEM Press, 1997.

Herrington, T.N., Morse, L.H. (eds) : *Occupational injuries. Evaluation, management and prevention*. St-Louis: Mosby, 1995, 579 pages.

Imbeau, D. : *Facteurs de risques physiques et LMS*. Formation donnée aux assessseurs médicaux de la Commission des lésions professionnelles, 17 septembre 1999.

Kapandji, I.A. : *Physiologie articulaire. 1- Membre supérieur*. Paris: Maloine, 1991, 296 pages.

Kasdan, M.L. (ed) : *Occupational hand & upper extremity injuries and diseases*. Philadelphia: Hanley & Belfus, 1998, 556 pages.

Kearney, D. : *OSHA's new ergonomic standard. A cost effective guide to complying with the november 2000 final rule*. Maryland : Government Institutes, 2001, 82 pages.

Kilbom, A. : *Repetitive work of the upper extremity : Part I - Guidelines for the practitioner*. International Journal of Industrial Ergonomics, 1994 ; 14 : 51-57.

Kilbom, A. : *Repetitive work of the upper extremity : Part II - The scientific basis (knowledge base) for the guide*. International Journal of Industrial Ergonomics, 1994 ; 14 : 51-57.

Kroemer, K.H.E., Grandjean, E. : *Fitting the task to the human. A textbook of Occupational Ergonomics*. Philadelphia: Taylor & Francis, 1997, 416 pages.

Kumar, S. : *Theories of musculoskeletal injury causation*. Ergonomics, 2001; 44(1) : 17-47.

Kuorinka, I., Forcier, L. (dir.) et al. : *Les lésions attribuables au travail répétitif. Ouvrage de référence sur les lésions musculo-squelettiques liées au travail*. Québec: Éditions Multimondes-IRSST, Paris: Éditions Maloine, 1995, 510 pages.

Magee, D.J. : *L'évaluation clinique en orthopédie*. Québec: Edisem, Paris: Maloine, 1988, 419 pages.

Malchaire, J., Cock, N., Vergracht, S. : *Review of the factors associated with musculoskeletal problems in epidemiological studies*. Int Arch Occup Environ Health 2001; 74 : 79-90.

Malchaire, J., Indesteege, B. : *Troubles musculo-squelettiques. Analyse du risque*. Bruxelles: Institut National de Recherche sur les Conditions de Travail, 1997, 122 pages.

Marieb, E.N. : *Anatomie et physiologie humaines*. Québec: Éditions du renouveau pédagogique, 1993, 1014 pages.

Moore, J.S. : *Function, structure, and responses of components of the muscle-tendon unit*. Occupational Medicine: State of the Art Reviews, 1992; 7(4):713-740.

Moore, J.S. : *Carpal tunnel syndrome*. Occupational Medicine: State of the Art Reviews, 1992; 7(4):741-763.

Moore, J.S. : *Clinical determination of work-relatedness in carpal tunnel syndrome*. Journal of Occupational Rehabilitation, 1991; 1(2) : 145-157.

Nordin, M., Andersson, G.B.J., Pope, M.H. : *Musculoskeletal disorders in the workplace: principles and practice*. St-Louis: Mosby, 1997, 671 pages.

Patry, L., Rossignol, M., Costa, M-J, Baillargeon, M. : *Guide pour le diagnostic des lésions musculo-squelettiques attribuables au travail répétitif: Syndrome du canal carpien*. Montréal: Éditions Multimondes-IRSST, 1997, 32 pages.

Patry, L., Rossignol, M., Costa, M-J, Baillargeon, M. : *Guide pour le diagnostic des lésions musculo-squelettiques attribuables au travail répétitif: La ténosynovite de De Quervain*. Montréal: Éditions Multimondes-IRSST, 1997, 26 pages.

Patry, L., Rossignol, M., Costa, M-J, Baillargeon, M. : *Guide pour le diagnostic des lésions musculo-squelettiques attribuables au travail répétitif: Tendinites de l'épaule*. Montréal: Éditions Multimondes-IRSST, 1998, 43 pages.

Pitman, M.I., Peterson, L. : *Biomechanics of skeletal muscle*. dans Nordin, M., Frankel, V.H. (eds) : *Basic biomechanics of the musculoskeletal system. Second edition*. Pensylvannie : Lea & Febiger, 1989.

Rosenstock, L., Cullen, M.R. (eds) : *Textbook of clinical occupational and environmental medicine*. W.B.Saunders, Philadelphia, 1994, 909p.

Roquelaure, Y., Mechali, S., Dano, C., Fanella, S., Benetti, F., Bureau, D., Mariel, J., Martin, Y.H., Derriennic, F., Penneau-Fontbonne, D. : *Occupational and personal risk factors for carpal tunnel syndrome in industrial workers*. Scandinavian Journal of Work Environment and Health 1997; 23 :364-369.

Simoneau, S., St-Vincent, M., Chicoine, D. : *Les LATR: Mieux les comprendre pour mieux les prévenir*. Montréal : Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, secteur fabrication de produits en métal et de produits électriques - IRSST, 1996, 54 pages.

Sommerich, C.M., McGlothlin, J.D., Marras, W.S. : *Occupational risk factors associated with soft tissue disorders of the shoulder: a review of recent investigations in the literature*. Ergonomics 1993; 36(6):697-717.

Stellman, J.M. (ed) : *Encyclopaedia of occupational health and safety. Volume 1*. International Labour Organization (ILO). Geneva: International Labour Office, 1998.

Tanaka, S., Wild, D.K., Cameron, L.L, Freund, E. : *Association of occupational and non-occupational risk factors with the prevalence of self-reported carpal tunnel syndrome in a national survey of the working population*. American Journal of Industrial Medicine 1997; 32 :550-556.

Tubiana, R., Thomine, J.-M. : *La main: anatomie fonctionnelle et examen clinique*. Paris: Masson, 1990, 210 pages.

Tubiana, R. (ed) : *The hand. Volume 1*. Philadelphia: W.B. Saunders company, 1981, 755 pages.

Williams, M., Lissner, H.R., LeVeau, B. : *Biomécanique du mouvement humain*. Québec: Décarie éditeur, Paris: Éditions Vigot, 1986, 250 pages.

Zenz, C. (ed) : *Occupational medicine, third edition*. Mosby, St-Louis, 1994, 1376 pages.

