HAL
open science

Evaluation par la posturographie statique et dynamique des afférences sensorielles et du contrôle moteur de l'équilibration chez le judoka

Cyril Perrot

To cite this version:

Cyril Perrot. Evaluation par la posturographie statique et dynamique des afférences sensorielles et du contrôle moteur de l'équilibration chez le judoka. Education. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 1999. Français. NNT : 1999NAN10132 . tel-01747504

HAL Id: tel-01747504

https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01747504

Submitted on 29 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

UNIVERSITE HENRI POINCARE, NANCY 1

THESE

Présentée et soutenue publiquement par

Cyril PERROT

en vue de l'obtention du

DOCTORAT D'UNIVERSITE

en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

EVALUATION PAR LA POSTUROGRAPHIE STATIQUE ET DYNAMIQUE DES AFFERENCES SENSORIELLES ET DU CONTROLE MOTEUR DE L'EQUILIBRATION CHEZ LE JUDOKA.

Président du Jury :
M. Didier MAINARD
Professeur des Universités, Université Henri Poincaré-Nancy 1, Faculté de Médecine
Directeur de Thèse :
M. Philippe PERRIN
Professeur des Universités, Université Henri Poincaré-Nancy 1, UFR STAPS
Rapporteurs :
M. Dominique KELLER
Professeur des Universités, Université Marc Bloch-Strasbourg, UFR STAPS
M. Jacques CREMIEUX
Professeur des Universités, Université de Toulon, UFR STAPS
Juges :
M. Dominique DEVITERNE
Maître de Conférences à l'IUFM de Lorraine
M. Denys BARRAULT
Docteur en Médecine

25 septembre 1999

A mes grands-parents Aline (1924-1995)
et Jean (1928-1996) PERROT qui n'ont
jamais cessé de veiller sur moi.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS p. 4

-I- INTRODUCTION p. 5

I-1 Définition de la fonction d'équilibration p. 5

I-2 Les systèmes récepteurs et leurs afférences sensitivo-sensorielles p. 7

I-3 Equilibration et apprentissage sportif p. 14

I-4 Judo et équilibres p. 18

-II- HISTORIQUE ET PRINCIPES FONDAMENTAUX DU JUDO p. 19

-III- SUJETS

III-1 Judoka p. 27

III-2 Danseurs p. 34

III-3 Témoins p. 34

-IV- MATERIEL & METHODE p. 35

IV-1 Epreuves statiques p. 36

IV-2 Epreuves dynamiques lentes p. 38

IV-2 Epreuves dynamiques rapides p. 40

-V- PROTOCOLE 1 : EPREUVES STATIQUES

V-1 Rappels p. 43

V-2 Sujets p. 44

V-3 Matériel & Procédure p. 44

V-4 Statistiques p. 46

V-5 Résultats p. 46

V-6 Discussion p. 49

V-7 Conclusion p. 51

-VI- PROTOCOLE 2 : EPREUVE DYNAMIQUE AVEC OSCILLATIONS SINUSOIDALES LENTES DU SUPPORT

VI-1 Rappels p. 53

VI-2 Sujets p. 54

VI-3 Matériel & Procédure p. 54

VI-4 Statistiques p. 55

VI-5 Résultats p. 55

VI-6 Discussion p. 58

VI-7 Conclusion p. 59

-VII- PROTOCOLE 3 : EPREUVE DYNAMIQUE AVEC MOUVEMENT DE BASCULE UNIQUE RAPIDE DU SUPPORT

VII-1 Rappels p. 61
VII-2 Sujets p. 62
VII-3 Matériel & Procédure p. 62
VII-4 Statistiques p. 63
VII-5 Résultats p. 64
VII-6 Discussion p. 68
VII-7 Conclusion p. 72

-VIII- PROTOCOLE 4 : INCIDENCES RESPECTIVES DE LA PRATIQUE DU JUDO OU DE LA DANSE SUR LE CONTRÔLE POSTURAL

VIII-1 Rappels p. 74
VIII-2 Sujets p. 76
VIII-3 Matériel & Procédure p. 77
VIII-4 Statistiques p. 78
VIII-5 Résultats p. 78
VIII-6 Discussion p. 80
VIII-7 Conclusion p. 85

-IX- PROTOCOLE 5 : TRAUMATOLOGIE DU JUDOKA ET CONTRÔLE POSTURAL

IX-1 Rappels p. 87
IX-2 Sujets p. 88
IX-3 Matériel & Procédure p. 89
IX-4 Statistiques p. 90
IX-5 Résultats p. 90
IX-6 Discussion p. 94
IX-7 Conclusion p. 100

-X- CONCLUSION GENERALE p. 102

-XI- BIBLIOGRAPHIE p. 107

-XII- ANNEXES p. 123

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1 SCIENCES BIBLIOTHÈQUE

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur Philippe PERRIN, Professeur des Universités – Nancy 1, pour l'aide apportée, la rigueur scientifique enseignée, l'attention témoignée pendant toute la durée de mon doctorat, mais aussi pour m'avoir permis de vivre, avec lui, au quotidien, certains principes fondamentaux du Judo tels le respect, la sincérité, ... et l'amitié.

Je souhaite également exprimer toute ma gratitude à Marcelle et Jean-Denis, mes parents, et Séverine, ma fiancée, pour leur aide, leurs encouragements et leurs témoignages d'affection permanents.

Je désire par ailleurs exprimer ma reconnaissance à tous les judoka qui ont si chaleureusement accepté de participer à cette étude – et plus particulièrement à Mademoiselle Isabelle MAGNIEN, quintuple championne de France de Judo – ainsi qu'à Messieurs Alain ROSSIGNOL, Directeur de l'UFR STAPS-Faculté du Sport, UHP, Nancy 1, Jean-Marie PIERRON, Prêtre à Nancy, et André CORZANI, Maire de Joeuf, pour l'attention témoignée à mon égard depuis trois ans.

Je souhaite enfin remercier les Professeurs Didier MAINARD, Dominique KELLER et Jacques CREMIEUX, et Messieurs Dominique DEVITERNE et Denys BARRAULT pour leur aimable participation à mon Jury de Thèse, mais également tous ceux qui, pour de multiples raisons, m'ont permis de progresser et/ou ont contribué, à bien des égards, à l'amélioration de mon « équilibre ».

-I- INTRODUCTION

I-1 DEFINITION DE LA FONCTION D'EQUILIBRATION

La fonction d'équilibration, fonction plurimodale compensée, régit l'ensemble de nos rapports physiques avec le monde environnant, assurant de la sorte notre posture en dépit des contraintes qui tendent à la perturber (Buser & Imbert, 1975 / Perrin, 1994). La posture, définie en toute circonstance, par les positions, arrangements, et relations biomécaniques de chaque segment corporel vis-à-vis du ou des segment(s) adjacent(s) mais aussi vis-à-vis du corps dans son ensemble (Vitte *et al.*, 1991 / Pedotti, 1992 / Crémieux *et al.*, 1995), n'est pas uniquement le fait d'une organisation inconsciente de la chaîne pluriarticulaire ; elle est également à l'origine de toutes les topocinèses et morphocinèses volontaires mises en jeu au cours de l'orientation, de la locomotion ou le maintien d'équilibres extrêmes (Perrin & Lestienne, 1994).

Le maintien de la posture érigée fondamentale, bipédique chez l'homme, sous-tend donc un système de régulation tonique posturale (Crémieux *et al.*, 1995).

Apprendre à se mouvoir peut dès lors être décrit comme la faculté d'intégration de données posturales statiques - nécessaires pour stabiliser le corps de manière à éviter une perte d'équilibre et donc une chute -, et de nécessités dynamiques nous permettant d'interagir avec le monde physique (Bril, 1996), ce qui implique la mise au point de processus d'anticipation du déséquilibre que pourrait induire cette action (Perrin *et al.*, 1987).

Bien que la plupart des opérations visant à acquérir ou à maintenir un état d'équilibre stable soit généralement inconsciente, à l'opposé, toute période d'apprentissage tendant à affiner le contrôle moteur nécessitera une prise consciente et volontaire de données sensori-motrices particulières, c'est-à-dire un choix raisonné des critères exploitables durant l'action (Perrot *et al.*, 1998b). A cet égard, on peut

considérer la posture adoptée par le sujet comme étant le reflet de son jugement ou de sa personnalité à un instant précis (Ganancia, 1972 / Pyykkö *et al.*, 1991).

Différentes entrées sensorielles interviennent dans la perception et la régulation du maintien de l'équilibre, parmi lesquelles l'oreille interne, la rétine, la proprioception des membres inférieurs et du rachis et l'extéroception plantaire. Toutes les afférences sensorielles convergent vers les noyaux vestibulaires du tronc cérébral qui les intègrent et permettent l'organisation de réponses réflexes motrices compensatoires (Perrin *et al.*, 1993).

Le traitement sélectif des informations sensorielles relatives à la configuration corporelle et à ses changements permet dès lors une correction et/ou une restauration rapide de l'équilibre en s'appuyant sur l'adéquation entre les synergies musculaires impliquées et la force de contraction développée (Perrot *et al.*, 1998a).

Le contrôle fin de la posture, qu'il soit de type régulatif – c'est-à-dire impliqué dans la stabilité du sujet – ou orienté (Gagey, 1986 / Toupet *et al.*, 1992 / Gilhodes *et al.*, 1996), serait en fait construit à partir d'un système de référence, fondé sur le développement de l'individu et sur sa représentation interne de la verticalité ou schéma corporel, auquel s'ajoute un système dynamique correctif, par le biais d'une gamme de programmes moteurs réflexes (Lestienne *et al.*, 1994). La précision de la régulation dépend en outre des ajustements posturaux considérés comme des éléments « pré-programmés » et modifiables en fonction des stimuli périphériques (Ledin & Okvist, 1991 / Béraud & Gahéry, 1995a). Tout bénéfice en termes de contrôle postural résulterait alors de divers processus adaptatifs, propres à la nature de l'activité physique (Massion & Viallet, 1990). Cette remarque sous-tend entre autres l'hypothèse selon laquelle l'apprentissage sportif offrirait au pratiquant l'opportunité d'acquérir et de développer de nouveaux programmes moteurs (Mouchnino *et al.*, 1992), appris ou construits à partir d'un répertoire originel (Mesure *et al.*, 1997), susceptibles d'être

reproduits selon un mode automatique ou volontaire (Rabischong, 1996) et qui amènent le sujet au maximum de ses possibilités physiques par une action favorable de l'exercice (Mesure & Crémieux, 1992).

Dès à présent, trois types de contraintes spécifiques intéragissant peuvent être décrits et ce, quel que soit le niveau d'activité physique du sujet en question, soient (1) l'organisme, c'est-à-dire l'individu lui-même, ayant un certain potentiel de base issu du développement anatomique (taille, poids, masses musculaires et graisseuses, ...), physiologique (mâturation du système nerveux central et des organes sensoriels, ...), cognitif (perception, intégration, traitement, mémoire, ...) et affectif (motivation, émotions, ...), (2) les propriétés statiques, dynamiques et cinématiques de l'acte moteur et (3) l'environnement dans lequel se déroule l'action en rapport avec les forces de réaction du support déterminées elles-mêmes par la pression de la zone d'appui (Newell, 1986 / Bril, 1996). Il en résulte que l'ensemble des rapports physiques avec l'espace extrapersonnel concourt à générer des modifications de situation et de position du centre de gravité du corps par rapport au polygone de sustentation (Perrin, 1991 / Perrin & Lestienne, 1994 / Bessou *et al.*, 1996).

L'ontogenèse et les expériences psycho-physiologiques individuelles permettent ainsi au sujet d'adopter, d'adapter ou de développer des stratégies posturales inconscientes ou conscientes directement induites par le type d'information sensorielle sélectionnée (Mesure *et al.*, 1995 / Perrot *et al.*, 1998a). En d'autres termes, le contrôle précis de la posture, qui dépend du choix de la stratégie sensori-motrice la plus appropriée à la situation vécue, est souvent déterminant pour la précision et l'efficacité d'une activité (Barrault, 1991a), la stratégie d'équilibration sélectionnée reposant sur la perception et l'intégration des informations afférentes (1) relatives à la position du corps dans l'espace, (2) fournies par les divers référentiels de la tétrade sensorielle (Pélissier *et al.*, 1993) et (3) considérées comme prépondérantes par le sujet.

I-2 Les Systemes Recepteurs et leurs Afferences Sensitivo-Sensorielles

Selon Massion (1992, 1993), l'œil et le vestibule renseignent les centres nerveux supérieurs (CNS) sur les positions mobiles ou immobiles du télérécepteur céphalique par rapport à l'environnement, la sensibilité extéro-proprioceptive, et plus spécialement la sensibilité nucale (Fukushima & Hinoki, 1983 / Alund *et al.*, 1991), contribuant simultanément à la construction du schéma moteur. Le contrôle de la position de la tête est donc essentiel puisqu'il facilite à la fois la stabilisation du regard et l'interprétation des signaux vestibulaires corrélativement à l'axe gravitaire (Nashner, 1985 / Allum *et al.*, 1997). Ainsi, les mouvements décrits par le télérécepteur céphalique et plus particulièrement la direction du regard, qui représente une expression motrice spontanée de l'intention ou du but du sujet, servent conjointement de référence pour l'organisation simultanée de la perception, du traitement, de la coordination et de la mémorisation de toute morphocinèse (Lund & Broberg, 1983 / Berthoz, 1989a / Di Fabio *et al.*, 1998).

La fonction vestibulaire

L'appareil vestibulaire, structure principale de l'équilibration, est un système informatif qui permet la transformation d'un signal mécanique créé par les déplacements de la tête et par la gravité en un message nerveux dirigé vers le tronc cérébral (Perrin *et al.*, 1987 / Collard, 1994). Ce système transmet au cerveau des informations qualitatives et quantitatives relatives tant aux accélérations linéaires qu'aux accélérations angulaires de la tête et constitue notamment, en milieu de pesanteur normale, un référentiel extrêmement précis de l'orientation spatiale par rapport au vecteur vertical de la gravité.

En fait, le vestibule est un dispositif comprenant plusieurs accéléromètres inertiels. On distingue le système des canaux semi-circulaires (ou gyrorécepteurs), réservé à la détection et à la mesure des accélérations angulaires et le système des

compensation, c'est-à-dire la substitution d'un réseau nerveux (lésé partiellement ou totalement) par un autre (Ogata *et al.*, 1991 / Allum *et al.*, 1993 / Claussen, 1994 / Allum *et al.*, 1997 / Furman, 1997).

La congruence et la redondance des afférences sensorielles et des informations vestibulo-spinales sont donc nécessaires pour développer une commande motrice adéquate, bien davantage que chaque influx pris isolément (Nashner & Berthoz, 1978 / Allum *et al.*, 1995).

Le système visuel

Intégrer la seule position d'un stimulus visuel dans l'espace extra-personnel requiert au moins la congruence de trois types d'input, soient : les signaux rétiniens, les signaux concernant la position du globe oculaire dans l'orbite et ceux indiquant la position de la tête par rapport au tronc (Berthoz *et al.*, 1989 / Rossetti *et al.*, 1994).

L'œil a donc un rôle déterminant dans la régulation de l'équilibre puisqu'il permet à l'individu d'avoir une connaissance et une perception les plus exactes possibles de son corps et des différents segments qui le constituent vis-à-vis d'eux-mêmes et de l'espace environnant (Mesure *et al.*, 1993 / Isableu *et al.*, 1997).

Certains travaux (Paulus *et al.*, 1984 / Amblard *et al.*, 1985 / Schulmann *et al.*, 1987) ont permis de dissocier les rôles fonctionnels respectifs de la vision de type statique (position et/ou orientation) de ceux de la vision dynamique (vision du mouvement) dans le contrôle des activités posturales et motrices.

La rétine maculaire ou centrale, essentiellement tapissée de photorécepteurs sensibles au spectre lumineux - les cônes -, assure la reconnaissance et l'identification des formes, des textures et des couleurs, l'évaluation des dimensions, l'orientation et la localisation spatiales entre autres. La vision centrale ou fovéale, spécialisée dans l'analyse fine de l'image, est donc impliquée dans le contrôle positionnel d'un segment

corporel ou d'un organe de saisie lors des mouvements (lents) de précision (Conti & Beaubaton, 1976 / Ripoll, 1987).

La vision périphérique ou extrafovéale, quant à elle, est spécialisée dans le repérage des cibles parcourant le champ visuel ainsi que dans la détermination de leurs paramètres dynamiques, à savoir : vitesses linéaire et angulaire, trajectoires, caractéristiques spatiotemporelles (Lestienne *et al.*, 1976 / Pélissier *et al.*, 1993). Ces fonctions de tachymètre sont permises par le second type de photorécepteurs, les bâtonnets, lesquels permettent également la vision crépusculaire. Lorsque les deux modalités visuelles sont présentes, l'orientation d'un objet dans son environnement est facile (Perrin *et al.*, 1987).

Les mouvements conjugués des 2 globes oculaires permettent en outre au sujet de mieux appréhender l'environnement dans lequel il évolue. La très faible inertie des globes oculaires, enchâssés dans des coussinets graisseux, favorise les déplacements très rapides. Un véritable dispositif autonome, le système oculo-moteur, coordonné aux systèmes moteurs de la tête et du cou, permet des mouvements spécifiques de l'œil, générés selon de véritables procédures correctives (Perrin, 1991). A cet égard, la position du capteur visuel est dépendante des informations d'un autre organe sensoriel, le vestibule. La perception de la stabilité de l'espace extra-personnel est dès lors étroitement liée à la régulation de l'orthostatisme (Schulmann *et al.*, 1987). Corrélativement, un support postural adapté, voire stabilisé, représente une condition nécessaire à une prise d'informations visuelles efficaces (Roll & Roll, 1987).

De plus, le rôle fonctionnel des informations extra-rétiniennes émanant de la musculature oculaire, permet aux CNS d'extraire les principales caractéristiques du mouvement, à savoir sa vitesse et sa direction ; compte tenu du couplage étroit existant entre mouvements céphaliques et oculaires dans toute réaction d'orientation (Leigh *et al.*, 1994), les messages proprioceptifs extra-oculaires et nucaux, traités conjointement

avec les signaux rétiniens de position de l'objet cible, participent de façon décisive à la réussite des actions visuellement orientées (Roll *et al.*, 1991). Les stratégies oculomotrices utilisées par le sujet traduisent donc le compromis optimum entre les impératifs commandés par les caractéristiques de la tâche et les possibilités fonctionnelles du système déterminées par son organisation interne (Ripoll, 1987).

Les afférences extra-oculaires proprioceptives sont par conséquent nécessaires à l'indexation spatiale des données rétiniennes, et, étroitement associées à celles émanant des différents segments corporels, représentent une composante essentielle de référence corporelle (Roll & Roll, 1987). Cette dernière résulterait du traitement simultané de l'ensemble des messages proprioceptifs issus des fuseaux neuromusculaires des différents muscles, qui depuis l'œil jusqu'au pied, sont impliqués, à un moment donné et à des degrés divers, dans une posture ou un mouvement (Fukushima & Hinoki, 1983 / Pyykkö *et al.*, 1989 / Nardone *et al.*, 1990 / Rémy-Néris *et al.*, 1994).

La proprioception

La proprioception est une modalité particulière qui transmet aux CNS des informations neurosensitives relatives tant aux positions, orientations et mouvements des articulations qu'aux déformations mécaniques des tissus musculaires et cutanés (Pélissier *et al.*, 1993 / Lephart *et al.*, 1997 / Borsa *et al.*, 1997).

Les mécanorécepteurs jouent un rôle prépondérant dans l'entretien et la régulation du tonus musculaire et participent de ce fait à la réalisation et au contrôle de l'équilibre. Ils appartiennent à deux catégories, d'une part les propriocepteurs musculotendineux et articulaires de la sensibilité profonde, et d'autre part, les extérocepteurs cutanés dévolus à la sensibilité superficielle (Perrin, 1991 / Perrin & Lestienne, 1994).

Parmi les propriocepteurs, on peut décrire (1) les récepteurs fusoriaux, qui sensibles à l'étirement des muscles antigravitaires et dispersés à l'intérieur de ceux-ci, participent de façon prépondérante au maintien de l'activité tonique des motoneurones par la voie réflexe dite myotatique, (2) les récepteurs tendineux de Golgi, stimulés par la tension exercée lors d'un allongement passif des fibres musculaires ou lors d'une contraction active du muscle, et (3) les récepteurs articulaires tels que les organes de Ruffini et les corpuscules de Pacini, respectivement sensibles aux positions et aux mouvements des capsules articulaires, ou les organes de Golgi, stimulés par la tension qui se manifeste sur les ligaments.

De nombreux types de récepteurs sont aussi impliqués dans l'extéroception : certains sont encapsulés (corpuscules ramifiés de Ruffini, lamellés de Pacini, lancéolés de Meissner) ; d'autres ne le sont pas (cellules de Merkel, terminaisons nerveuses libres). Suivant leur structure histologique, leurs caractéristiques biomécaniques et leur répartition, ces extérocepteurs ont des modes de stimulation (enfoncement, pression, vibration) et de réponse (adaptation lente ou rapide) différents (Perrin *et al.*, 1987).

Une modulation transcorticale et cérébelleuse des informations extéro-proprioceptives s'effectue alors au niveau des CNS (Zarzecki & Asanuma, 1979) ; la proprioception contribue de ce fait à la programmation centrale des mouvements de précision et des réflexes neuro-musculaires assurant la stabilité dynamique des articulations (Lephart *et al.*, 1997). Cela nécessite un réglage permanent des muscles antagonistes et des muscles d'une même chaîne posturale (Bonnet *et al.*, 1976 / Keshner *et al.*, 1988 / Barrault, 1991a / Lavignolle *et al.*, 1993). Le muscle doit par conséquent posséder des qualités de force, d'endurance, de vigilance, de vitesse et d'extensibilité acquises au cours de l'ontogenèse.

Ces différentes qualités reposent sur trois systèmes étroitement liés : (1) la structure biomécanique du muscle qui lui confère des propriétés viscoélastiques et

contractiles, (2) l'activité métabolique et les différents types de fibres conditionnant la puissance, la durée et l'inertie de l'activité musculaire, et (3) le système neuromusculaire permettant de réguler les activités volontaires et automatiques ou réflexes intervenant dans le contrôle postural et moteur (Hulliger, 1993 / Danowski & Chanussot, 1996). L'excellent fonctionnement et, en particulier, la coordination de ces trois systèmes conditionnent donc l'aptitude physique et/ou sportive dont découle le niveau de performance motrice.

I-3 Equilibration et Apprentissage Sportif

La pratique sportive permet donc l'acquisition de nouvelles habiletés sensorielles et motrices ainsi que l'acquisition d'adaptations physiologiques propres à la discipline considérée (Ekblom, 1987). Par ailleurs, parmi les afférences de la fonction d'équilibration, la proprioception est celle qui est la plus susceptible d'acquisition ou d'éducation par la pratique d'activités physiques et sportives (Denis *et al.*, 1996). L'apprentissage sportif, quel qu'il soit, contribue ainsi à l'amélioration du contrôle postural (Baron, 1972 / Perrin *et al.*, 1989 / Barrault, 1991c / Perrin *et al.*, 1991a / Crémieux & Mesure, 1992 / Mouchnino *et al.*, 1992 / Mesure *et al.*, 1994 et 1995 / Crémieux *et al.*, 1995 / Golomer *et al.*, 1995 / Moes *et al.*, 1996 / Perrot *et al.*, 1996 / Perrin *et al.*, 1997 et 1998 / Perrot *et al.*, 1998 a et b / Hugel *et al.*, 1999).

Conséquences neurophysiologiques de la pratique du Judo

La sollicitation des propriocepteurs dépend de l'acte moteur et de ses conditions d'exécution. Dans une situation dynamique d'opposition de 2 adversaires, telle qu'un combat de Judo, tous les récepteurs musculaires, articulaires et cutanés sont stimulés du fait des modifications permanentes (1) de posture, (2) d'appui et de zones de contact avec le sol et le partenaire, (3) de positions et d'angles articulaires et (4) d'activité et de

tension musculaires. Le Judo est donc un sport particulièrement riche en stimulations proprioceptives et extéroceptives (Brondani, 1991 / Barrault, 1991c / Perrot *et al.*, 1998b).

Les mouvements d'attaque ou de défense de cet art martial, nombreux, intensément réalisés ou subis, permettent au judoka de tourner à son avantage des situations d'équilibre précaire (Barrault, 1991a). Cependant, des efforts brefs, violents voire parfois supraphysiologiques lors de la réalisation de gestuelles, peuvent conduire à divers accidents et traumatismes (tensions musculotendineuses brutales, mobilisations articulaires maximales, etc...), (Ekblom, 1987 / Mc Ginty *et al.*, 1991 / Shoilev, 1992 / Buchwalter & Lane, 1997).

Ainsi, l'appareil locomoteur paie un lourd tribut à la pratique sportive (Setton & Pécout, 1994). En outre, l'ensemble des pathologies traumatiques des membres inférieurs et du rachis interfère sur la stratégie d'équilibration (Pélissier *et al.*, 1993 / Perrin *et al.*, 1997). En effet, toute altération des structures stabilisatrices musculaires et capsulo-ligamentaires conduit à une instabilité fonctionnelle ou mécanique du segment lésé, à une déafférentation proprioceptive partielle ou totale et à une perte de sensibilité de la structure incriminée ainsi qu'à une régulation inadéquate du contrôle postural (Tropp *et al.*, 1985 / Shoilev, 1992 / Pintsarr *et al.*, 1996 / Lephart *et al.*, 1997 / Melham *et al.*, 1998), l'imperfection de l'acte moteur étant la conséquence de la dépréciation des mécanismes de feedback sensoriel (Borsa *et al.*, 1997).

Le contrôle rigoureux de la posture, déterminant pour la précision et l'efficacité d'une activité qui s'appuie sur la stabilité du corps en Judo, dépendrait donc de l'intégrité, de la localisation et des caractéristiques dynamiques des capteurs sensoriels (en particulier les propriocepteurs). La stratégie de coordination sensori-motrice la plus appropriée à la situation vécue est alors fondée à partir des informations sensorielles afférentes sélectionnées, mais également considérées comme prépondérantes par le sujet

(Mesure *et al.*, 1995 / Perrot *et al.*, 1998a / Perrot *et al.*, 1998b), ce qui implique par conséquent la notion de cognition.

Contrôle postural et mécanismes régulatifs psychophysiologiques

Il apparaît en effet que le traitement central des informations neurosensitives sélectionnées améliore les mécanismes de visualisation/représentation mentale de la tâche ainsi que ceux dévolus à l'analyse et à la correction de la posture et/ou de la gestuelle à accomplir, tous étant mis en œuvre dans le but d'agir avec le plus d'efficacité possible. La cognition a donc un rôle essentiel dans la préparation, la réalisation et le contrôle de toute habileté motrice (Berstein, 1967 / Kerr *et al.*, 1985 / Iso-Ahola, 1992 / Lajoie *et al.*, 1993 / Lavisse *et al.*, 1995).

Par ailleurs, pour Tenenbaum *et al.* (1993), l'expérience est le meilleur indicateur de la capacité de prise de décision au cours de différents niveaux d'exercice physique. La perception, consciente, des stimuli internes ou externes permet alors au sujet d'identifier, d'organiser et d'analyser une multitude d'informations avant toute prise de décision, en comparant chacune des informations au pool déjà mémorisé (Fahle, 1994).

Ceci implique à la fois des stratégies individuelles de perception, de localisation, de sélection, d'identification des stimuli et d'activation de la mémoire à court terme (Tenenbaum *et al.*, 1993). La performance engendrée dépend ainsi des processus physiologiques (impliqués dans les feedback sensori-moteurs) et psychologiques (tels que la motivation, la vigilance, la confiance en soi, l'émotivité, ...) sollicités dans l'action (Iso-Ahola, 1992 / Lajoie *et al.*, 1993 / Frandin *et al.*, 1995 / Brisswalter & Legros, 1996), mais elle repose également sur les facultés du sujet à conserver, reconnaître, reproduire ou reconstruire une image mentale correcte de l'acte à réaliser (Naito, 1994).

Le contrôle de soi devient dès lors un atout majeur pour le sportif puisqu'il conduit le sujet (1) à améliorer ses facultés d'attention, (2) à privilégier l'utilisation de ses propres instructions (autosuggestion), (3) à avoir une opinion cohérente, précise et dépourvue d'émotion, de sa performance par feedback et (4) à faciliter le phénomène d'autoévaluation (Iso-Ahola, 1992). Par conséquent, et bien que le degré de conscience du geste à accomplir (initialement sous la dépendance de la volonté) soit modifié à long terme (automatisme) (Houk, 1978), les mécanismes physiologiques et psychologiques n'en demeurent pas moins indissociables, en toute circonstance, quel que soit le niveau d'expertise du sujet, puisqu'ils requièrent des mécanismes (régulatifs) communs (Kerr *et al.*, 1985).

I-4 Judo et Equilibres

Les activités physiques et sportives impliquent donc simultanément deux niveaux de contrôle de l'organisation posturale, l'un cognitif – avec notion de charge attentionnelle -, et l'autre sensori-moteur – avec notion de plasticité, d'adaptation et de compensation -. Il est dès lors intéressant de vérifier si l'apprentissage sportif, et plus particulièrement celui du Judo, peut (1) moduler le rôle chacun des niveaux de contrôle de l'équilibre, et si cette modulation par l'entraînement est la même pour tous les judoka, (2) favoriser l'utilisation spécifique et prioritaire d'afférences sensorielles de surveillance, (3) développer et/ou améliorer des stratégies de coordination sensori-motrice qui soient adéquates à la situation et (4) développer de nouveaux programmes et enchaînements moteurs.

Dans le but d'apporter une réponse précise à chacune de ces interrogations et donc d'évaluer l'incidence de la pratique du Judo sur le contrôle postural, il nous a fallu apprécier les différentes composantes de la fonction d'équilibration du judoka en position orthostatique.

A cette fin, il convient néanmoins, dans un premier temps, de situer le Judo dans l'histoire afin d'apprécier la gestation, jusqu'au siècle dernier, d'un art martial vieux de 2000 ans. Le Judo est par conséquent un sport de combat empreint de techniques et de traditions séculaires, qui développe par ailleurs, de manière indissociable, des facultés tant physiques que mentales, et qui trouve son essence même dans la recherche du déséquilibre de l'adversaire par la maîtrise totale (motrice et émotionnelle) de soi.

Cette thèse a donc pour objet de vérifier si le modèle « Judo », du fait de sa finalité (maintenir un centre de gravité stable au cours d'une confrontation sans danger, souple et dynamique pendant laquelle chaque judoka tente de projeter son adversaire au sol), est susceptible d'améliorer les performances posturales des combattants dans des situations (1) aussi courantes que le maintien de la station érigée immobile, (2) plus particulières comme la suppression d'une afférence sensorielle au cours d'une séquence de déstabilisation quantifiée du sujet, ou enfin (3) caractéristiques de la discipline, à savoir lors de soudains déséquilibres.

Sachant en outre que l'activité physique et sportive - en général - tend à améliorer le contrôle postural, il devient dès lors nécessaire de comparer (4) notre modèle expérimental à d'autres sports ou *arts*, tels que la Danse, et (5) les judoka entre eux corrélativement à leurs antécédents traumatiques, inhérents à la pratique intensive du Judo.

Finalement, une synthèse des résultats et conclusions des différents protocoles tentera d'apporter succinctement une réponse quant aux atouts de la pratique d'un sport de combat dans la vie au quotidien.

-II- HISTORIQUE ET PRINCIPES FONDAMENTAUX DU JUDO

Qu'ils aient des apparences brutales ou pacifiques, qu'ils soient devenus disciplines sportives ou quête spirituelle, les arts martiaux sont tous issus de la nécessité guerrière. Leurs gestes sont avant tout des gestes de combat. La vie ou la mort en est un enjeu.

L'histoire, ou la légende, raconte que c'est en Inde que naquit, il y a plus de deux mille ans, une méthode guerrière qui peut être considérée comme ayant inspiré les arts martiaux actuels. Le moine bouddhiste Bobhidharma mit au point ce qui n'était tout d'abord qu'une méthode d'éducation physique appelée *Shaolin-Zu-Kempo*. Son but était de donner à ses disciples le moyen de conserver la forme et la santé par des exercices destinés à compenser les longues heures de méditation. En raison de son efficacité en combat, la méthode permit bientôt aux moines de se défendre contre les agressions dont ils étaient victimes au cours de leurs pérégrinations. Les moines ayant été les détenteurs de cette technique, on comprend la raison de son extension dans le reste un monde asiatique au rythme du développement du bouddhisme. En Chine, cette méthode, combinée avec des méthodes locales, est à l'origine de la boxe chinoise également appelée *Kung Fu*.

De la même manière, on estime, au Japon, que l'origine de l'*Atéwaza* remonte à une époque fort ancienne, probablement un quart de siècle avant notre ère. Cet art d'attaquer les points vitaux avait pour but la mise hors de combat immédiate de l'adversaire par paralysie d'un membre, évanouissement ou syncope mortelle. Ainsi Sukumé, fameux lutteur de Nomi, tua d'un seul coup Kéhaya de Taéma, guerrier

particulièrement orgueilleux de sa force musculaire, en 23 avant JC. Cette période correspond, dans l'histoire Japonaise, au début de l'art de la lutte.

L'instinct de conservation et les efforts séculaires d'amélioration des techniques individuelles conduisirent à diverses méthodes de combat longtemps gardées secrètes par les différentes écoles (*Ryu*). Le Ju Jitsu, ancêtre direct du Judo, naquit alors de ces techniques de défense, pour devenir l'art de la guerre le plus typique du Japon, tels qu'en témoignent le *Kojiki* (Recueil de choses anciennes) et le *Nihon Shoki* (Chroniques du Japon) au VIIIème siècle.

A l'époque de Muromachi (1392-1573) - période de luttes féodales, de désordre et de chaos social -, de nombreuses écoles de Ju Jitsu (parmi lesquelles Yawara, Koshi no maxari, Kogusoku, Tai jitsu, Wa jitsu ou shubaku...) élaborèrent des techniques visant à triompher d'un ou plusieurs adversaires, et ce, que les antagonistes soient armés ou non. Mais, paradoxalement, c'est la paix et le retour au calme voulus par l'empereur et les samouraï qui révéla véritablement le Ju Jitsu au XVIIème siècle. Le Japon connut 250 ans de paix durant lesquels il se ferma à toute présence étrangère. A partir de 1615, les samouraï se mirent fréquenter les *dojos* (lieu de pratique des arts martiaux) et leurs connaissances guerrières, associées à celles des maîtres d'armes, permirent d'affiner, d'optimiser les techniques parmi lesquelles « l'art chinois du poing » (*atémiwaza*, à l'origine du Karaté moderne) introduit au Japon 2 siècles auparavant, les techniques d'immobilisation (*kataméwaza*) ou d'étranglement (*shiméwaza*). Shirohei Akiyama imposa, quant à lui, le principe de projection (*nagéwaza*). Les guerriers samouraï vont également approfondir la dimension symbolique de l'affrontement et sa portée initiatique. Cette approche sera le fondement de ce que l'on appelle « les arts martiaux », soit la connaissance du « champ de communication » qui s'établit entre les 2 adversaires. Dans ce combat du corps et de l'esprit se met en œuvre une énergie que les Japonais nomme « le chi », ou

force vitale. Le combattant doit parvenir à être mentalement et totalement présent dans chaque mouvement. Il n'y a plus tension dans l'effort mais vigilance naturelle. Libéré de toute agitation, l'esprit est alors disponible pour anticiper une attaque, sentir d'où va partir le coup mortel.

C'est ainsi peu à peu, et notamment grâce à l'entraînement au *Kumité*, que naissait le « Ju-Do » fondé sur « l'efficacité maximale dans l'usage de l'esprit et du corps ». La maîtrise des techniques guerrières, si l'esprit en a bien été saisi, doit donc engendrer la paisible assurance des forts et des sages, et non l'agressivité systématique. En fait, « l'esprit du véritable *Budo* conduit l'homme vers la paix et son entraînement n'est pas en vue de la conquête, sinon celle de soi-même ».

Jikishin-ryu et quelques autres écoles de Ju Jitsu avaient déjà adopté le mot « Ju-Do » pour décrire cet art martial de la non-résistance, qui combat la force brutale par des lois de mécanique rationnelle (effet de levier). « **Do** » rappelle la « **voie** » de la perfection, « **Ju** », le principe de la **souplesse** physique et mentale, de l'harmonie parfaite de l'homme dans son environnement.

Dans le système d'affrontement des samouraï, les techniques de saisie (du Judo moderne) et les techniques de frappe (du Karaté moderne) étaient rassemblées. Les coups de pied et de poing remplaçaient les armes qu'on avait perdu, même si les sabres de bois (*boken* en Aïkido) ou de bambou (*shinaï* en Kendo) étaient utilisés. Le principe « un coup, une vie » demeurait valable pour chaque art guerrier (le coup devait être parfait, c'est-à-dire mortel). « Il s'agit de savoir si vous êtes oui ou non capable d'affronter la mort ».

Néanmoins, en dépit de l'essor et de l'efficacité croissante du Ju Jitsu, 1868 a failli provoquer la disparition des arts martiaux. En effet, à cette époque, le Japon de l'ère *Meiji* (littéralement « l'époque éclairée ») s'ouvrait aux cultures et techniques

occidentales tout en rejetant ses propres traditions. Les arts du *Budo* des samouraï perdirent tout prestige et semblaient désormais devoir n'appartenir qu'aux légendes.

Attentif aux gigantesques efforts de modernisation de son pays, le jeune Jigoro Kano (17 ans) était néanmoins soucieux de conserver certaines valeurs du patrimoine national. C'est ainsi qu'avec Maître Fukuda et d'autres Maîtres du Ju Jitsu, il entreprit une œuvre de synthèse qui donna naissance au véritable Judo moderne, dépourvu de la finalité meurtrière des arts du combat. Il ne garda des techniques martiales à mains nues des samouraï que celles qui, sur un *tatami* (tapis), ne présentent pas de danger pour le corps, fondant ainsi sa discipline sur les saisies, les déplacements, l'art de maintenir un centre de gravité stable, celui d'utiliser l'énergie de l'adversaire, et la notion de déséquilibre. Il perçoit surtout les bienfaits pour l'homme et pour la société d'une éducation physique et mentale appuyée sur la formation traditionnelle du guerrier. Cette éducation, par la pratique d'une confrontation sans danger, souple et dynamique, il l'appelle « voie de la souplesse ». Nulle volonté d'anéantir, le seul enjeu du combat est la chute et l'immobilisation – mort symbolique – dont on se relève et qu'on ne craint plus. L'adversaire est devenu partenaire.

En février 1882, Jigoro Kano créa le *Kodokan* (« Institut du Grand Principe »), le premier *dojo* n'étant que le petit temple bouddhique d'Eisho-ji, ouvert à 9 disciples évoluant sur 12 *tatamis*. C'est à Tokyo, en 1889, qu'allait définitivement s'établir le *Kodokan*. Le Judo, débarrassé de l'esprit féodal des anciennes écoles de Ju Jitsu et de l'*atémiwaza* du Karaté, fut dès lors défini par sa spécificité technique, son esprit... et dans une certaine mesure sa philosophie et sa vocation éducative. Judo et Karaté se séparaient définitivement. Les coups de pied et de poing seront dès lors interdits en Judo, les saisies au corps à corps et les projections interdites en Karaté. L'histoire des arts martiaux en tant que sport de combat commence là. Il ne s'agit plus de vaincre n'importe quel adversaire, mais de gagner selon « la règle ». A titre d'exemple, en

Karaté de compétition, seules les frappes contrôlées et portées au dessus de la ceinture sont autorisées et marquent des points. Les autres peuvent être sanctionnées.

Le 26 Septembre 1933, Maître Jigoro Kano exposa en France, devant un auditoire élitiste sélectionné, tous les concepts de sa discipline. Cette conférence fut de nouveau présentée en 1935 devant une assemblée de scientifiques parmi lesquels M. Feldenkrais, P. Bonet-Maury et F. Joliot-Curie. M. Feldenkrais et ses disciples, conscients de leurs lacunes techniques, firent appel à Maître Mikinosuké Kawaishi (4ème dan) qui résidait alors à Londres. Ce fut pour beaucoup une révélation. Personnalité dynamique, pédagogue et psychologue confirmé, autorité incontestable et incontestée, Maître Kawaishi imposa sa méthode personnelle, créa les ceintures de couleur (correspondant aux grades intermédiaires entre le débutant et la Ceinture Noire) et contribua activement à l'essor du Judo Français (1ers championnats de France de Judo le 31/05/1943 à Paris, salle Wagram, sans catégorie de poids ni d'âges). Cependant, à l'issue du 2ème championnat national, le 09/05/1944, Maître Kawaishi fut contraint, par son ambassade, de regagner le Japon du fait de l'évolution de la Seconde Guerre Mondiale.

Il revint d'Asie avec le grade de 7ème dan en 1948. Entre temps, 2 organismes antagonistes étaient créés : la Fédération Française de Judo, en 1946, tenue de s'aligner sur les règles internationales, et le Collège National des Ceintures Noires, en 1947, longtemps hostile aux catégories de poids. Maître Kawaishi, assisté de Shozo Awazu (6ème dan), parvint à maintenir l'unité du Judo Français jusqu'en 1951-52, période coïncidant avec l'arrivée à Toulouse de Maître Ishiro Abe. Celui-ci imposa un nouveau Judo tout en souplesse et dynamisme. Cette nouvelle école ternit l'image de Maître Kawaishi dont l'influence allait décliner rapidement.

Derrière l'apparente unité entre le Judo des origines et le Judo sportif moderne, un glissement s'est pourtant effectué. Pour Jigoro Kano, le Judo n'était pas

simplement un système de combat, mais une éducation physique et spirituelle, sans gagnant ni perdant. « Habitué à la confrontation, le pratiquant ne la redoute plus et devient capable de canaliser la violence qui surgit, car la pratique longue et régulière des gestes guerriers, ancestraux, ouvre sur une nouvelle perception des lois de l'univers ». Entraîné à la précision (lors de la réalisation des *katas*) et à l'endurance, le corps trouve le geste juste, la bonne attitude. Le *Kata* est en fait le cœur du Judo. Les mouvements les plus importants du Judo, sélectionnés par des Maîtres, arrangés en séries immuables, où les rôles de *Tori* (celui qui attaque) et *Uke* (celui qui défend) sont bien définis, servent de cadre à la progression du judoka. Les moindres gestes, déplacements, intentions, rythme, ..., sont codifiés.

Le sport, quant à lui, a besoin de victoires, et dès les années 1930, les premières compétitions sont organisées au Japon. Tokyo fut en outre, en 1956, le théâtre des premiers championnats du monde (en France naissait la Fédération Française de Judo et Disciplines Assimilées). L'année suivante, 3 catégories de poids (légers : <68 kg ; moyens : <80 kg ; lourds : >80 kg) étaient créées pour les championnats d'Europe (on en compte actuellement sept : <60, <66, <73, <80, <90, <100 et >100 kg), confirmant encore l'option sportive. Mais la véritable révélation fut incontestablement la victoire du géant batave Anton Geesink aux championnats du monde de 1961... pour la première fois à Paris. Le triomphe du grand Hollandais mettait un terme à la suprématie nippone et permit sans doute au Judo d'accéder à l'Olympisme, comme sport de démonstration, en 1964, puis officiellement, en 1972 aux Jeux de Munich. J.J. Mounier, J.P. Coche et J.C. Brondani accédaient à la 3ème marche du podium. Et le bronze se changea en or avec J.L. Rougé et T. Rey (champion du monde en 1975 et 1979 respectivement), métal précieux si jalousement conservé depuis. Ces résultats reflètent en fait l'excellente organisation fédérale et nationale, répercutée à tous les niveaux par des cadres compétents.

Enfin, c'est en 1980 que fut créé le 1er Grand Prix Technique Masculin pour rappeler que le Judo doit rester avant tout un art et pas seulement un révélateur pour une mince élite sportive. Il s'agit surtout de ne pas oublier que la compétition arbitrée, où toute erreur prête immédiatement à conséquence, doit être vécue comme un autre moyen d'améliorer son Judo et non comme une fin en soi.

Cette volonté permanente de progresser - tant physiquement (renforcement musculaire et osseux, développement et/ou amélioration des stratégies de coordination sensori-motrice et des programmes et enchaînements moteurs originels, perception, ...) que mentalement (anticipation, stratégie de prise de décision, maîtrise de soi, ...) par le biais de la formation traditionnelle du guerrier fondée sur les saisies, les déplacements et le maintien d'un état d'équilibre stable en toute circonstance -, pourrait donc s'appliquer à d'autres situations de la vie au quotidien, révélant ainsi les effets de l'entraînement sportif sur l'équilibre, au sens propre comme au figuré.

C'est pourquoi le Judo, par sa nature, révolutionna les principes de l'éducation en y incorporant comme élément essentiel une culture physique forgeant l'individu et son caractère, et fondée sur le respect d'autrui, l'entraide et les concessions mutuelles. « Apprendre le Judo est aussi pour l'homme un moyen d'apprendre à devenir responsable ». Plus qu'une école de combat, **le Judo est une école de Vie**...

Remarque *: Judo et Karaté, bien que les plus universellement pratiqués aujourd'hui, sont néanmoins loin de satisfaire ceux qui souhaitent retrouver l'efficacité des origines guerrières. C'est le début, dans les années 1970, des disciplines de « plein contact ». Les pratiquants ne veulent plus s'affronter en contrôlant leurs frappes. Avec ces nouvelles règles, les coups portés en plein contact sur l'adversaire vont pouvoir accumuler leurs effets. L'objectif est de gagner par Knock Out. Le plein contact, c'est*

un pas vers une nouvelle dimension du combat : la douleur et ses répercutions physiques et mentales.

Un seul adversaire, une surface de combat, un arbitre, un code de conduite, le soucis de s'affronter sans risque majeur pour le corps, tout cela se conjugue pourtant mal aux conditions du vrai combat, c'est-à-dire celui des origines, celui dont la survie était l'enjeu, celui dont on ignorait le nombre d'adversaires, le moment ou le lieu de l'affrontement. C'est pourquoi le Ju Jitsu ou la self-defense représente une tendance actuelle forte des arts du combat qui cherchent à se ré-approprier une image de samouraï des temps modernes.

Propos empruntés à **Maître Jigoro Kano** (Fondateur du Judo), **M. Feldenkrais** (Fondateur du Ju Jitsu Club de France), **Denys Barrault** (Médecin de l'Union Européenne de Judo), **Maître Tadao Inogai** (8eme Dan Judo), **Maître Inéo Osaki** (7eme Dan Karaté), **Roland Habersetzer & Robert Lasserre** (Auteurs de nombreux ouvrages sur les Arts Martiaux).

-III- SUJETS

III-1 JUDOKA

Trente et un judoka de haut niveau, participant aux compétitions et tournois sportifs régionaux, nationaux et internationaux, ont accepté de participer à notre étude. Ce groupe de sportifs, âgés de 18 à 42 ans (m=25,9±6,4 ans), est composé de 18 Ceintures Noires (1ère, 2ème, 3ème et 4ème Dan) et de 13 ceintures de couleur (bleue, marron). Un nombre minimum de 5 années de pratique (jusqu'à 20 ans pour les meilleurs compétiteurs) et l'absence de toute blessure musculotendineuse ou ostéoarticulaire dans les trois derniers mois étaient deux des principales conditions imposées par le protocole. Aucune lésion rétinienne, secondaire à des efforts intenses ou à des étranglements vasculaires, aucune pathologie d'ordre neurologique, ni dermatose plantaire n'a été observée.

Parmi les 31 judoka, 19 d'entre eux (JAT) ont présenté, au cours de leur carrière sportive, diverses pathologies traumatiques liées aux exigences de la discipline lors des entraînements et des compétitions (tableau I). Douze motifs de consultation ont ainsi été répertoriés par anamnèse.

Tableau I : Pathologies traumatiques du membre inférieur consécutives à la pratique du Judo.

		Genou	Cheville	Pied	Autres
SG1 :					
	Sujet 1			Fracture du 5ème orteil. Talalgie (1997)	
	2		*n* entorses bénignes (1994)		
	3		*n* entorses bénignes (1993)		
	4		*n* entorses bénignes (1996)		
	5		2 entorses bénignes (1993)		
	6		3 entorses bénignes		
SG2 :					
	Sujet 7	Tendinopathie de l'appareil extenseur (1996)	1 entorse bénigne (1997)		
	8	Inflammation du cartilage. Lésion méniscale (1996)		Fracture du 1er orteil	
	9	Tendinopathie de l'appareil extenseur. Hygromas (1997)	3 entorses bénignes		
	10		1 entorse bénigne		Fracture de la tubérosité tibiale antérieure (1995)
	11		*n* entorses bénignes		*n* contusions et déchirures musculaires. pubalgie (1997)
	12		*n* entorses bénignes (1994)		*n* contusions musculaires
SG 3 :					
	Sujet 13	3 entorses bénignes (facteurs favorisants). Déchirure du LCAE. Lésion méniscale	*n* entorses bénignes (1992)		
	14				Fracture de fatigue du tibia (1994)
	15		3 entorses graves (1995) (⇒ kinésithérapie)		
	16	1 entorse grave. Déchirure du LCAE (⇒ ligamentoplastie ⇒ kinésithérapie)	3 entorses bénignes (1996)		
	17		2 entorses bénignes. 1 entorse grave (1996) (⇒ kinésithérapie)	Fracture du 1er orteil	
	18	Subluxation de la rotule (1995)	2 entorses graves (⇒ kinésithérapie)		
	19		Fracture de la malléole externe (1996)		

n signifie plus de 5 accidents traumatiques. L'année de la pathologie du membre inférieur la plus récente est indiquée entre parenthèses.

(1) Entorse du genou

Le genou est une articulation très sollicitée dans la pratique du Judo, particulièrement son pivot central. Toutes les structures ligamentaires peuvent être atteintes de façon isolée ou associée à d'autres éléments anatomiques.

a) Ligament latéral interne (LLI) : l'élongation isolée, voire la rupture, du faisceau superficiel du LLI touche plus volontiers l'insertion postéro-supérieure de ce ligament au niveau de la face interne du condyle interne. Ces lésions en valgus pur sont secondaires à un choc direct sur la face externe du genou. Les lésions en rotation externe pure sont consécutives aux mouvements de balayage des jambes. En cas de mauvaise synchronisation, le pied heurte une jambe déjà en appui au sol. Le genou de l'attaquant se trouve placé en extension avec valgus forcé contre une résistance élevée.

b) Ligaments croisés antéro-externes (LCAE) : d'autres techniques de projection amènent le judoka à fixer un pied au sol et à pivoter sur le genou. Lorsque ce type de mouvement est réalisé en force sur un genou en hyper-extension, les contraintes mécaniques sont intenses sur les LCAE. Si le traumatisme est violent, les lésions peuvent associer une rupture du LCAE, une atteinte des formations capsulaires postérieures et du ménisque interne. Le Judo est très pourvoyeur d'entorses graves, dont les conséquences sont parfois une amyotrophie, une raideur articulaire et une perte du contrôle proprioceptif du genou.

(2) Lésions méniscales

De façon générale, elles sont caractérisées par un ressaut ou un blocage fugace du genou du fait d'un asynchronisme des mouvements de flexion-rotation ou d'extension-rotation.

(3) Pathologies fémoro-patellaires

Elles sont principalement caractérisées par les luxations ou subluxations de la rotule à la suite d'un mécanisme de rotation externe accompagnée d'un dérobement du genou et d'une chute jambe fléchie. Les luxations récidivantes se définissent par des épisodes itératifs de luxations aigües pour un sujet ayant des facteurs favorisants.

(4) Tendinopathies de l'appareil extenseur du genou

De toutes les tendinopathies du genou chez le sportif, l'atteinte de l'appareil extenseur est la plus fréquente du fait des contraintes très importantes auxquelles cet appareil extenseur est soumis. Cela se traduit généralement par une apophysite d'insertion avec microrupture du tendon au niveau de sa zone d'ancrage à la pointe de la rotule.

(5) Hygromas ou bursites chroniques du genou

La face antérieure du genou compte 5 bourses séreuses permettant le glissement des différents plans cutanés, musculo-aponévrotiques et tendineux. La répétition de frictions excessives, d'appuis prolongés ou de chocs contusifs lorsque le judoka prend directement et violemment appui sur les deux genoux au cours d'une attaque, peut entraîner à terme la formation d'hygromas ou de bursites chroniques avec épaississement scléreux de la paroi bursale. La bursite, de siège plus souvent pré-rotulien ou pré-tibial, se manifeste par une tuméfaction fluctuante, évoluant par poussées inflammatoires avec rougeur, chaleur, douleur et parfois même calcification.

(6) Fracture / arrachement de la tubérosité tibiale antérieure

Il s'agit d'une lésion rare, consécutive à un effort d'extension brutale du genou.

(7) Fracture de fatigue du tibia

Cette pathologie est secondaire à un processus localisé d'hyper-résorption ostéoclastique provoquée par d'importantes sollicitations itératives de la structure osseuse, survenant en dehors de tout traumatisme. Elle résulte d'une activité excessive (classe sport-étude) entraînant des modifications du remodelage osseux (phase de résorption ostéoclastique responsable d'une fragilisation osseuse suivie d'une phase d'hyperostéoblastose compensatrice).

(8) Entorses de cheville

Pour attaquer ou se défendre, le judoka, les pieds nus, est amené à se déplacer rapidement sur un support plus ou moins souple composé d'éléments jointifs. Les tapis à surface irrégulière, trop mous ou mal joints, sont donc source de blessures, le pied étant particulièrement exposé aux variations des conditions de support.

Majoritaires dans les sports de contact, les entorses de cheville concernent dans la plupart des cas le ligament latéral externe (LLE) dont le rôle est d'assurer la stabilité obligatoire de l'articulation tibio-astragalienne dans le plan frontal. Les entorses se manifestent par un traumatisme en varus susceptible de léser, selon la gravité de l'accident (stades I et II, bénins, ou III, grave), un certain nombre d'éléments anatomiques (rupture du faisceau antérieur du LLE et de la capsule antérieure de l'articulation tibio-astragalienne / rupture du faisceau moyen du LLE / atteinte complète du LLE et lésions associées, ...).

(9) Fractures de la malléole externe

Elles résultent d'un choc direct sur un pied fixé au sol (1) en éversion, avec valgus pur du couple astragalo-calcanéen et rotation interne de la jambe d'appui, ou (2) en inversion, avec varus pur du couple astragalo-calcanéen et rotation externe de la jambe d'appui.

(10) Lésions osseuses du pied

Elles surviennent à la suite de mécanismes en tension forcée ou de chocs répétitifs sur le calcanéum entre autres. Les talalgies mécaniques perturbent alors la prise d'appui au sol, l'impulsion ou la réception, l'évolution ultime de cette pathologie pouvant conduire à l'ostéite.

(11) Lésions ostéo-articulaires phalangiennes

Le 1er et le 5ème orteils sont les plus exposés en Judo, particulièrement lors des chocs directs (latéraux ou dans l'axe) ou lors des traumatismes indirects survenant dans les rotations en appui. Il se produit alors des mouvements d'adduction forcée du gros orteil ou d'abduction forcée du 5ème. Ces accidents sont, en outre, responsables des fractures des phalanges.

(12) Accidents musculaires avec lésions anatomiques

Les différents accidents musculaires sont dus à des traumatismes directs du muscle lors de contacts violents avec le sol ou le partenaire (contusion, hématome, ...) ou lors de la sollicitation excessive et brutale d'un muscle préalablement étiré (élongation, déchirures partielles ou ruptures myofibrillaires, ...). Bien que les incidents ou accidents musculaires ne soient généralement pas générateurs de séquelles (*restutio ad integrum*), il n'en demeure pas moins vrai qu'ils restent extrêmement préjudiciables pour le retard qu'ils imposent à l'entraînement et pour les perturbations fonctionnelles qu'ils engendrent.

Toutes ces pathologies traumatiques liées à la pratique du Judo conduisent à une dépréciation proprioceptives des éléments anatomiques incriminés (Mc Ginty *et al.*, 1991 / Lephart *et al.*, 1997 / Borsa *et al.*, 1997), une cicatrice conjonctive fibreuse, par exemple, n'ayant pas les propriétés sensitives ni contractiles des fibres musculaires auxquelles elle s'est substituée (Commandré *et al.*, 1996). Les conséquences de ces lésions sur le contrôle postural du judoka restent cependant à démontrer.

D'autre part, le type de pathologie (entorse, lésions musculaires ou ligamentaires, fracture, ...), la gravité de la lésion (stades I et II, bénins, ou III, grave) et la localisation du traumatisme (cheville, genou, ...) pourraient également avoir des incidences différentes sur le contrôle de l'équilibre. L'anamnèse de la population de judoka aux antécédents traumatiques (JAT) nous a donc conduit à différencier trois sous-groupes en fonction des critères retenus (cités ci-dessus) et des moyens prophylactiques utilisés pour renforcer le canal proprioceptif de l'élément anatomique lésé. Il va de soit que le traitement préconisé (strapping, taping, contentions souple ou rigide / mésothérapie, physiothérapie, kinésithérapie / chirurgie, ...) est proportionnel à la gravité de la pathologie.

Le 1er groupe rassemble donc 6 JAT pour lesquels le port de contentions adhésives souples pendant de brèves périodes temporelles a suffi pour induire efficacement l'analgésie, l'indolence et la guérison des pathologies, toutes bénignes et localisées à la cheville dans 5 cas.

Le 2ème groupe est composé de 6 JAT présentant tous des traumatismes, bénins, nombreux et divers (articulaires, musculaires, ...) et localisés aux différents étages du membre inférieur (pied, cheville, tibia, genou, fémur).

Enfin, le 3ème groupe est constitué de 7 JAT dont le traitement des pathologies graves a reposé, dans tous les cas, sur le port initial de contentions rigides (plâtre), puis sur une rééducation fonctionnelle et proprioceptive de l'élément anatomique lésé. Une intervention chirurgicale s'est parfois révélée nécessaire (tableau 1).

III-2 Danseurs

Dix-sept danseurs du Ballet National de Nancy et de Lorraine, âgés de16 à 35 ans, sélectionnés dans un contexte national et international, pratiquant la Danse depuis 10 à 15 années et possédant tous une expérience, professionnelle, de la scène, ont également accepté de participer à notre étude.

III-3 Temoins

Deux groupes de sujets témoins ont aussi pris part à cette étude ; d'une part, 40 sujets sains, âgés de 26 à 43 ans, et ne pratiquant aucune activité physique à un niveau suffisamment élevé pour que celui-ci soit susceptible de modifier leur contrôle postural (voir protocoles 2 et 4), et d'autre part, 30 autres sujets, âgés de 22 à 46 ans, sportifs, licenciés, adeptes d'autres disciplines (athlétisme, cyclisme, équitation, football, golf, natation, rugby, tennis) et s'entraînant 1 à 2 fois par semaine (voir protocole 3).

Aucun de ces sujets (danseurs & témoins) ne présentait ni pathologie d'ordre neurologique ou orthopédique (instabilité fonctionnelle ou mécanique consécutive à des lésions ligamentaires, articulaires ou musculaires) dans les trois derniers mois, ni lésion rétinienne (secondaire à des efforts intenses) ou cutanée plantaire.

Tous les sujets ont consenti, par écrit, à participer à cette étude avant même qu'elle ne débute.

-IV- MATERIEL & METHODE

Tous les sujets (judoka, danseurs et témoins) ont été soumis à des épreuves de posturographie - statique et dynamique -, afin d'apprécier leurs qualités naturelles en matière d'équilibre et de coordination sensori-motrice. Chacun d'entre eux, en situation orthostatique (bras le long du corps) sur une plate-forme de forces verticales munie de 4 jauges de contraintes (Toennies GmbH, Freiburg, Allemagne) a eu pour consigne de fixer une cible placée 2 mètres devant lui, à hauteur des yeux, l'enregistrement des paramètres posturographiques durant 20 secondes.

Toutes les investigations posturographiques ont été réalisées au Centre Hospitalier Universitaire de Nancy, au sein du laboratoire d'exploration fonctionnelle de l'équilibration, service ORL, dont les locaux, placés sous la direction du Professeur Philippe PERRIN, sont habilités pour l'expérimentation sur sujets sains.

IV-1 EPREUVES STATIQUES

Dans le cadre de l'examen de la statique des sujets, les déplacements du centre de pression des pieds (CPP) sont enregistrés durant 20 secondes♦. L'interface, qui transforme les informations de pression en informations électriques, nous a permis de recueillir les paramètres de longueur (L) parcourue par les positions successives du CPP au cours de l'enregistrement, de surface (S) couverte lors de ces déplacements ainsi que les oscillations antéropostérieures et latérales (Fig. 1). **L'obtention de valeurs faibles aux paramètres L et S est une indication de la stabilité du sujet**.

La quantité d'énergie dépensée par le sujet pour réguler son état d'équilibre statique peut également être appréciée par l'intermédiaire du coefficient XLS = (4-L/4-S)*LS, qui prend en considération les 2 paramètres précédemment décrits (Perrot *et al.*, 1998a).

Chaque test a été réalisé en condition yeux ouverts (YO) puis yeux fermés (YF) afin de quantifier le poids de l'entrée visuelle dans le contrôle de l'équilibre statique par le biais du quotient de Romberg, c'est-à-dire du rapport des longueurs ou des surfaces mesurées YF sur celles obtenues YO (Van Parys & Njiokiktjien, 1976).

♦- *Protocoles 1, 4 et 5* –

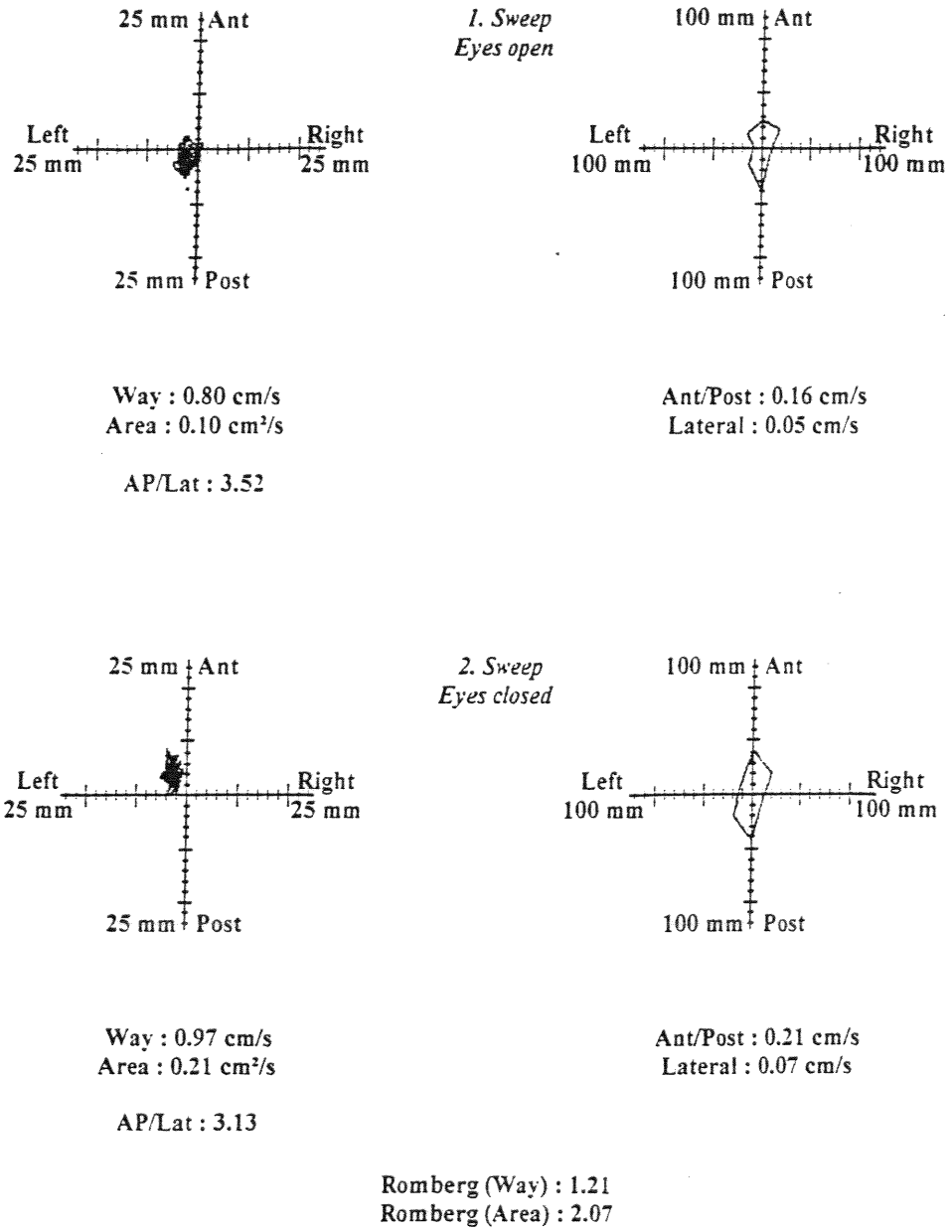


Fig. 1 : Statokinésigrammes enregistrés chez un judoka en condition yeux ouverts (1) et yeux fermés (2). La représentation de type histogramme vectoriel en huit quadrants (à droite) permet une meilleure visualisation de la direction préférentielle des oscillations du corps.

IV-2 EPREUVE DYNAMIQUE AVEC OSCILLATIONS SINUSOIDALES LENTES DU SUPPORT

Cette première épreuve dynamique, visant à déterminer le type de stratégie de coordination sensori-motrice privilégiée par le sujet pour réguler son état d'équilibre dynamique, soumet le sujet à un mouvement d'oscillations sinusoïdales lentes du support, dans le plan antéropostérieur, de $\pm 4°$ d'amplitude, à la fréquence de 0,5 Hz♦. Les déplacements linéaires du CPP et leur transformée de Fourier ont été enregistrés une 1ère fois pour chaque individu testé 20 secondes en conditions YO, puis 20 secondes YF, mais également lors d'épreuves menées YO au cours desquelles le sujet devait fermer les yeux (à un signal sonore). La transformée de Fourier exprime en fait la répartition fréquentielle de l'amplitude et de la phase des déplacements du centre de pression des pieds au cours de l'épreuve dynamique lente ; elle est représentée graphiquement sous la forme d'une (ou de plusieurs) raie(s) spectrale(s) caractéristique(s) du signal échantillonné, la fréquence d'oscillation du CPP du sujet étant par ailleurs comparée à celle de la plate-forme. Ainsi, les déplacements du CPP, décrivant un tracé sinusoïdal isofréquentiel et en opposition de phase par rapport au stimulus (tracé de type 1, stable), sont le reflet d'une régulation posturale performante générée à partir du sol (stratégie dite *de cheville*) et assurant la stabilité corporelle du sujet au cours de l'épreuve (Fig. 2). Tout autre type de tracé (2, instable, caractéristique de la stratégie dite *de hanche*) reflète la difficulté du sujet à pallier le déséquilibre induit par la plate-forme (Dichgans & Diener, 1989 / Horak & Nashner, 1986 / Perrin *et al.*, 1997 / Perrin *et al.*, 1998).

♦ - *Protocoles 2, 4 et 5*

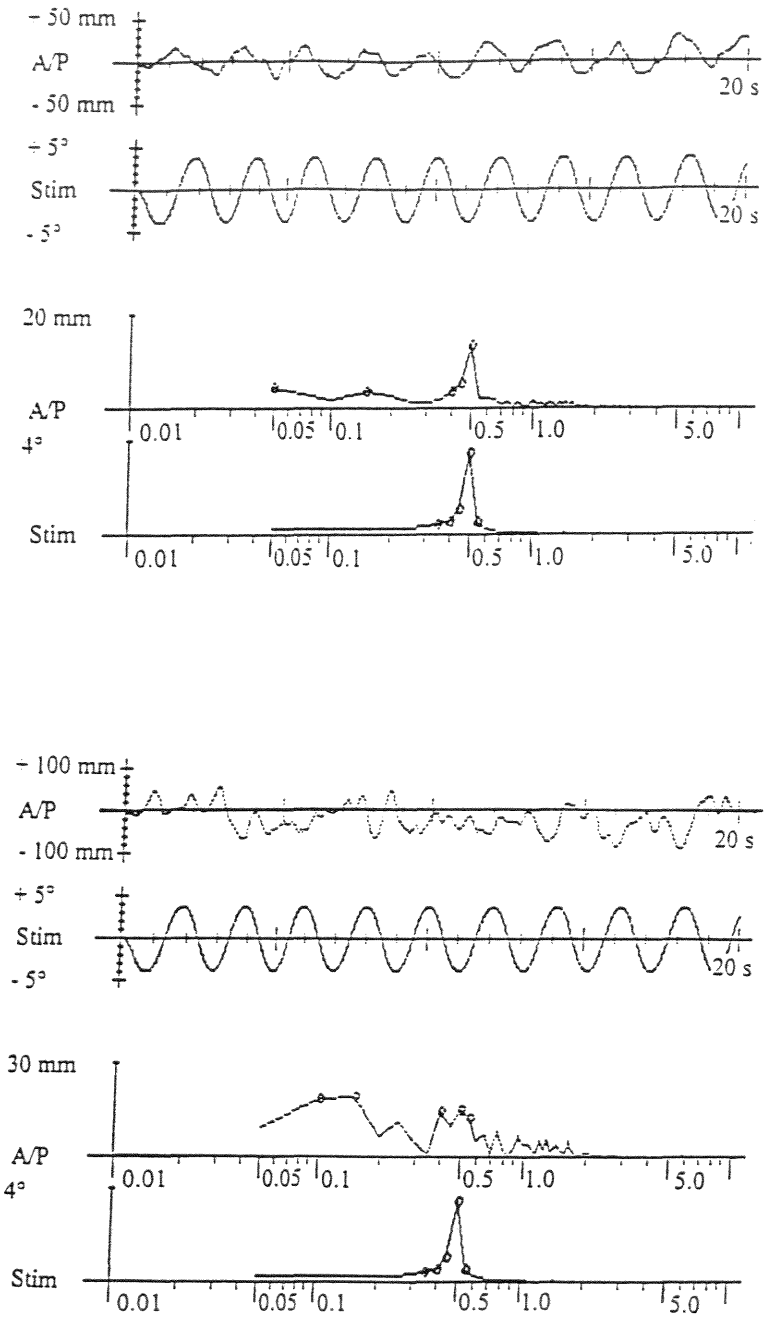


Fig. 2 : Déplacements du centre de pression des pieds (CPP) et transformées rapides de Fourier obtenus consécutivement à un mouvement sinusoïdal lent de la plate-forme dans le plan antéropostérieur (A/P) (Stim : ±4° ; 0,5Hz ; 20s).

- Trace de type 1 : les deplacements du CPP, décrivant un tracé en opposition de phase et isofréquentiel par rapport au stimulus (4 tracés du haut), sont le reflet d'une régulation posturale assurée.

- Trace de type 2 : les deplacements du CPP, décrivant un tracé en phase et de fréquence différente par rapport au stimulus (4 traces du bas), temoignent de l'instabilite du sujet.

IV-3 EPREUVE DYNAMIQUE AVEC MOUVEMENT DE BASCULE UNIQUE RAPIDE DU SUPPORT

Cette seconde investigation posturographique dynamique, rapide, a imposé à chaque sujet 8 déséquilibres consécutifs vers l'arrière de 4° d'amplitude à la vitesse de 50°/s, et ce, de façon aléatoire du point de vue temporel♦.

On mesure par électromyographie intégrée de surface l'activité de 2 muscles antigravitaires antagonistes, le muscle *Triceps Surae* (TS) et le muscle *Tibialis Anterior* (TA) impliqués dans les réactions posturales (Tzekov, 1972).

Trois réponses électromyographiques (EMG), de latence courte (RLC), de latence moyenne (RLM) et de latence longue (RLL), sont enregistrées (Fig. 3). Les 2 premières réponses, sans effet stabilisateur, sont relevées au niveau du muscle TS et correspondent respectivement au réflexe myotatique et à un réflexe polysynaptique. La 3ème réponse, ou réflexe d'ajustement postural réactionnel, impliquée dans la restauration rapide de l'équilibre (Allum, 1983), se rapporte à la contraction du muscle TA consécutivement au mouvement de bascule unique rapide du support. Un moyennage des réponses est effectué à partir d'une série de 8 tests chez chaque sujet.

Latence et amplitude sont les 2 critères retenus pour chacune des 3 réponses EMG enregistrées sur chaque membre inférieur.

♦- *Protocole 3*

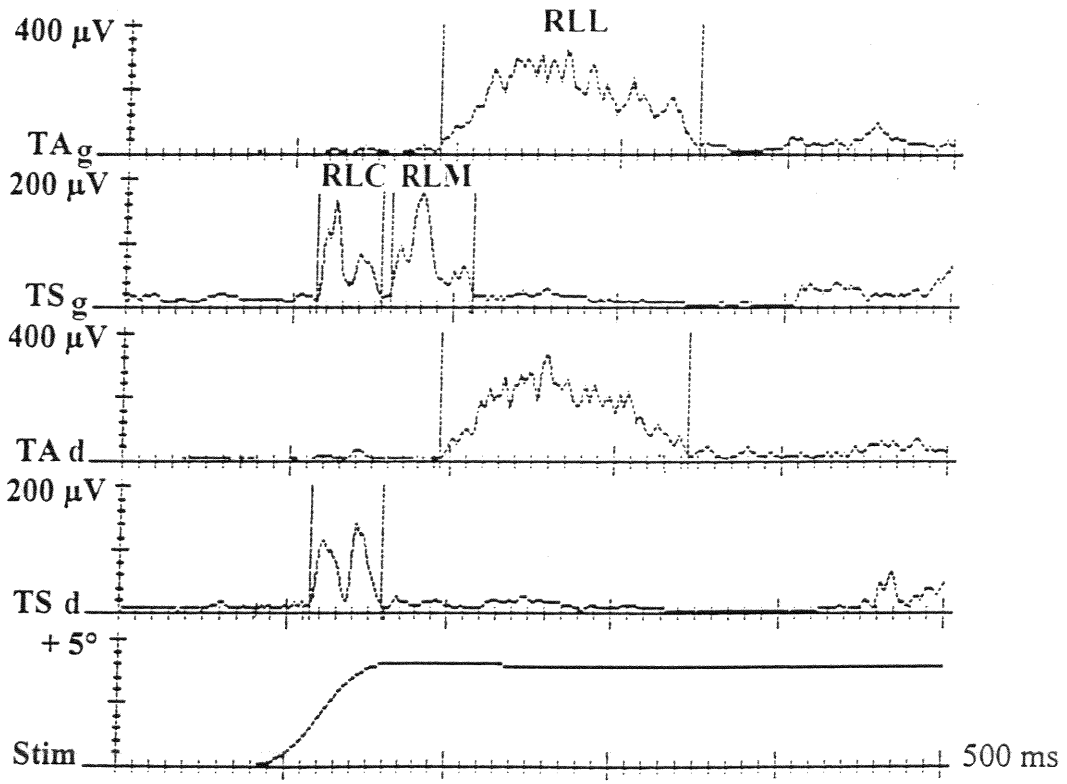


Fig. 3 : Réponses électromyographiques de latence courte (RLC), de latence moyenne (RLM) et de latence longue (RLL) enregistrées sur les muscles *Triceps Surae* (TS) et *Tibialis Anterior* (TA) droits (d) et gauches (g) consécutivement à un mouvement de bascule unique rapide du support dans le plan antéropostérieur (Stim : 4° ; 50°/s).

Les mêmes consignes données aux différents sportifs induisent des comportements suffisamment semblables pour que des comparaisons soient possibles (Perrin & Perrin, 1996). Les résultats de ces examens posturographiques nous permettront donc d'apprécier l'influence de la pratique régulière du Judo, comparativement à d'autres activités physiques et sportives, lors du maintien de la posture orthostatique stable ou lors des réactions de rattrapage de l'équilibre consécutives à des déstabilisations quantifiées induites par la plate-forme.

Remarque : *Les 5 chapitres de cette thèse, correspondant chacun à un protocole différent, sont placés dans un ordre logique (statique S / dynamique lent DL / dynamique rapide DR / Judo vs Danse -S, DL- / traumatologie -S, DL, DR-), et non chronologique !! Aussi, le nombre de sujets participant aux différentes études varie d'un chapitre à l'autre.*

-V- PROTOCOLE 1 : EPREUVES STATIQUES

V-1 Rappels

Les principales lignes directrices de tout apprentissage sportif sont l'acquisition de programmes moteurs particuliers, l'automatisation du geste et le traitement optimal des informations sensorielles, sans lequel la réalisation parfaite de toute topocinèse ou morphocinèse ne pourrait être envisagée (Mesure *et al.*, 1994). Ces trois composantes peuvent être évaluées par la posturographie. Tout bénéfice en termes de contrôle postural résulterait alors de divers processus adaptatifs, et plus précisément de modelage ontogénétique de l'équilibration.

Cette fonction particulière implique à la fois les divers capteurs sensoriels, la perception, l'intégration centrale des informations afférentes et le contrôle de la mobilité de la chaîne pluriarticulaire, assurant de la sorte la stabilité statique et dynamique du sportif (Perrin & Lestienne, 1994), donc du pratiquant de sport de combat.

Le sport et l'activité physique ont en outre des effets positifs sur les tissus du système locomoteur (Renström, 1996), révélés entre autres par un accroissement harmonieux et symétrique de la masse musculaire ; celui-ci dépend cependant de la nature l'activité du sujet, des spécificités de la discipline, des priorités et des desseins de chacun en tant que compétiteur, mais également de la morphologie et des prédispositions physiologiques du sportif. Ces dernières caractéristiques des sports de combat ont donc conduit les organisateurs des Championnats d'Europe de Judo à répartir, pour la première fois en 1957, les compétiteurs selon trois catégories de poids (<68 kg, <80 kg, >80 kg). Bien qu'on dénombre actuellement 7 catégories de poids, le critère d'inclusion originel (léger, moyen, lourd) a néanmoins été retenu pour notre

étude. Cette dernière vise par conséquent à évaluer la maîtrise posturale et topocinétique des judoka en fonction de leur catégorie de poids respective.

V-2 Sujets

L'anamnèse des 31 judoka nous a donc conduit à différencier trois groupes de compétiteurs en fonction de leur catégorie de poids respective. Ainsi, 14 judoka ont constitué le groupe léger (<68 kg), 8 le groupe moyen (<80kg) et 9 le groupe lourd (>80kg).

V-3 Materiel & Procedure

Le contrôle postural de tous les judoka, debout sur une plate-forme de forces, a été dans un premier temps évalué pour chacun des sujets testé (1) seul, en position de référence – standard -, c'est-à-dire orthostatique stable, puis (2) associé à son partenaire, c'est-à-dire en situation de saisie fondamentale (garde ou *kumikata*) droite et gauche. Dans le cadre de l'examen de la statique des sujets, les déplacements du centre de pression des pieds (CPP) sont enregistrés durant 20 secondes. Seuls les paramètres de longueur (L) et surface (S) parcourus par le CPP du sujet ont été analysés, le tout étant corrélé au plan d'inclinaison préférentiel du sportif (rapport AP/Lat). L'obtention de valeurs faibles aux paramètres L et S est une indication de la stabilité du sujet. Ces épreuves posturographiques ont été à chaque fois réalisées en condition yeux ouverts (YO) puis yeux fermés (YF) afin de quantifier le poids de l'entrée visuelle dans le contrôle de l'équilibre statique par le biais du quotient de Romberg, c'est-à-dire du rapport YF/YO des longueurs ou des surfaces mesurées.

Du fait des différences de taille, de corpulence, mais aussi d'allonge, entre les sujets, deux types de garde furent préférentiellement adoptés : (1) une garde basse (Fig. 4), traditionnelle, pour laquelle la main droite de *Tori* (celui qui attaque) vient saisir le

revers de la veste de kimono, ou judogi, de *Uke* (celui qui défend) au niveau de la clavicule alors que sa main gauche maintient la manche droite du judogi de *Uke* sous le coude, et (2) une garde haute (Fig. 5), en puissance, qui permet un contact plus étroit entre les 2 adversaires, et pour laquelle la main droite de *Tori* est placée derrière la nuque de *Uke*. Il va de soit que la saisie gauche consiste simplement à inverser la position des mains.

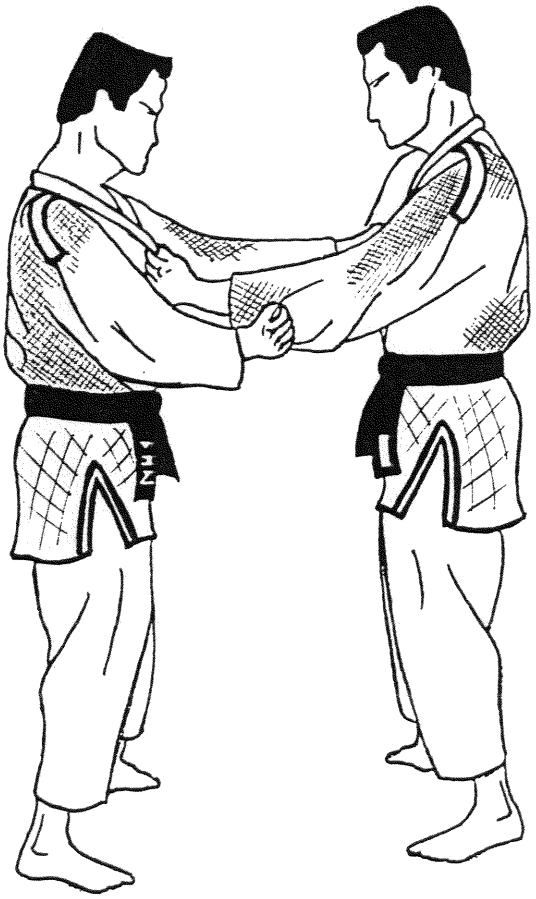


Fig. 4 : Garde basse traditionnelle à droite.

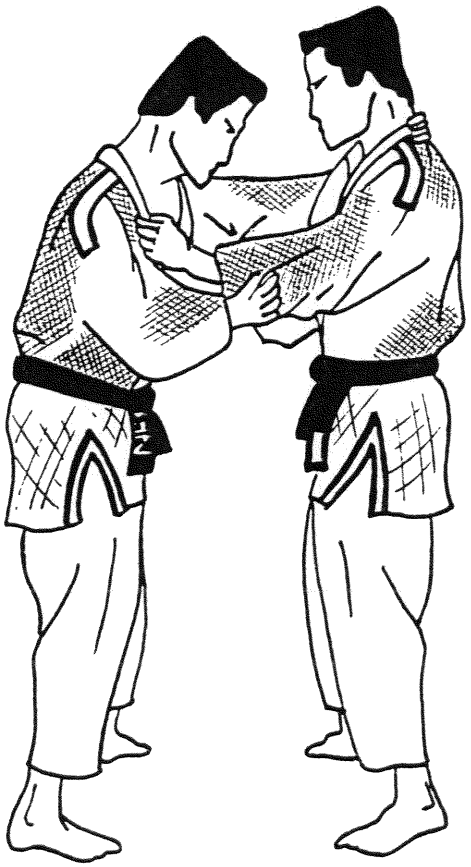


Fig. 5 : Garde haute « en puissance » à droite.

V-4 Statistiques

L'analyse de la variance (ANOVA) a été utilisée pour comparer les trois groupes de judoka entre eux, ainsi que pour apprécier le rôle de la garde (droite ou gauche).

V-5 Resultats

Pour les épreuves statiques standard, aucune différence significative n'a été décelée entre les trois groupes de judoka, et ce, indépendamment des conditions de vision (tableau II).

Tableau II : valeurs moyennes des paramètres posturographiques caractéristiques des 3 groupes de judoka (léger, moyen et lourd) obtenues lors des épreuves statiques, pour des judoka testés seuls, en position de référence.

	Yeux ouverts			**Yeux fermés**			**YF/YO**
Groupes :	Longueur /s (cm)	Surface /s (cm²)	AP/Lat	Longueur /s (cm)	Surface /s (cm²)	AP/Lat	*Quotient de Romberg*
Léger	0,75±0,16	0,20±0,19	2,26±1,40	1,07±0,26	0,36±0,29	2,77±1,58	1,37±0,25
Moyen	0,77±0,17	0,15±0,10	1,90±1,51	1,18±0,35	0,26±0,16	2,39±1,55	1,55±0,34
Lourd	0,70±0,23	0,15±0,08	2,13±1,59	1,07±0,36	0,30±0,17	3,69±2,40	1,36±0,28
	$F = 0,3$ NS	$F = 0,44$ NS	$F = 0,14$ NS	$F = 0,33$ NS	$F = 0,49$ NS	$F = 1,04$ NS	$F = 1,15$ NS

Analyse de la variance : * $p<0,05$, ** $p<0,01$, NS non significatif

L'analyse des données recueillies lors des épreuves réalisées en position de garde (*kumikata*) conduit à la même constatation, à savoir l'absence de différences significatives entre les trois groupes testés (tableaux IIIa et IIIb).

Tableau IIIa : valeurs moyennes des paramètres posturographiques caractéristiques des 3 groupes de judoka (léger, moyen et lourd) obtenues lors des épreuves statiques, pour des judoka en garde à droite.

	Yeux ouverts			Yeux fermés		
Groupes :	Longueur /s (cm)	Surface /s (cm²)	AP/Lat	Longueur /s (cm)	Surface /s (cm²)	AP/Lat
Léger	0,96±0,30	0,67±0,54	1,64±1,14	1,04±0,32	0,76±0,61	1,34±1,31
Moyen	0,86±0,18	0,56±0,28	1,47±1,13	0,95±0,29	0,84±0,53	1,63±0,79
Lourd	0,97±0,25	0,50±0,19	0,79±0,48	1,04±0,23	0,78±0,27	0,74±0,39
	$F = 0,45$ NS	$F = 0,49$ NS	$F = 1,92$ NS	$F = 0,27$ NS	$F = 0,06$ NS	$F = 1,66$ NS

Analyse de la variance : * $p<0,05$, ** $p<0,01$, NS non significatif

Tableau IIIb : valeurs moyennes des paramètres posturographiques caractéristiques des 3 groupes de judoka (léger, moyen et lourd) obtenues lors des épreuves statiques, pour des judoka en garde à gauche.

	Yeux ouverts			Yeux fermés		
Groupes :	Longueur /s (cm)	Surface /s (cm²)	AP/Lat	Longueur /s (cm)	Surface /s (cm²)	AP/Lat
Léger	0,91±0,25	0,50±0,19	1,22±0,57	1,02±0,29	0,62±0,21	1,60±1,48
Moyen	0,93±0,43	0,34±0,23	1,32±0,67	0,84±0,22	0,47±0,44	1,63±0,89
Lourd	0,94±0,20	0,60±0,41	0,85±0,16	1,05±0,30	0,71±0,51	0,99±0,49
	$F = 0,03$ NS	$F = 1,67$ NS	$F = 1,85$ NS	$F = 1,34$ NS	$F = 0,78$ NS	$F = 0,89$ NS

Analyse de la variance : * $p<0,05$, ** $p<0,01$, NS non significatif

Les tests réalisés ne nous ont pas permis de mettre en évidence une incidence du poids des judoka sur leurs performances posturographiques, les trois groupes de combattants ayant obtenu des résultats similaires pour les paramètres de longueur et de surface, et ce, quelles que soient les conditions expérimentales (judoka seul ou associé à son partenaire). Bien que le rapport AP/Lat fasse apparaître des « divergences »

corrélativement au poids du sujet, en révélant que les sujets des groupes léger et moyen oscillent plutôt d'avant en arrière alors que ceux du groupe lourd oscillent surtout latéralement (tableaux IIIa et IIIb), l'analyse de la variance ne permet toujours pas de différencier les 3 groupes de judoka.

En fait, seule la position de garde adoptée par les judoka tend à modifier les valeurs moyennes de tous les paramètres étudiés (par rapport à la position standard). Les différences observées sont hautement significatives, comme le montre le tableau IV.

Tableau IV : valeurs moyennes des paramètres posturographiques obtenues lors des épreuves statiques, pour l'ensemble des 31 judoka testés seuls en position de référence (standard) ou associés à leur partenaire en garde droite (GD) ou gauche (GG).

	Yeux ouverts			**Yeux fermés**			**YF/YO**
	Longueur /s (cm)	Surface /s (cm²)	AP/Lat	Longueur /s (cm)	Surface /s (cm²)	AP/Lat	*Quotient de Romberg*
Standard	0,74±0,17	0,20±0,17	2,18±1,44	1,13±0,31	0,36±0,31	3,46±3,47	1,43±0,30
GD	0,94±0,25	0,59±0,40	1,35±1,03	1,02±0,28	0,79±0,50	1,24±1,02	1,06±0,17
GG	0,92±0,29	0,49±0,29	1,14±0,54	0,98±0,28	0,63±0,37	1,18±1,12	1,08±0,15
	$F = 6,22$ **	$F = 13,52$ **	$F = 7,94$ **	$F = 2,15$ NS	$F = 14,97$ **	$F = 9,32$ **	$F = 27,54$ **

Analyse de la variance : * $p<0,05$, ** $p<0,01$, NS non significatif

Dès la saisie du *kumikata*, il apparaît clairement que la surface couverte par le CPP du judoka, augmente considérablement (2 à 3 fois), d'où une régulation posturale moins bien assurée, alors que les rapports AP/Lat et YF/YO diminuent et tendent à se rapprocher de 1. En outre, la longueur parcourue par le CPP du judoka n'est pratiquement pas modifiée d'une condition expérimentale à l'autre. Enfin, les valeurs obtenues pour les judoka en garde gauche, quoique plus faibles, ne diffèrent pas significativement de celles recueillies en garde droite.

V-6 Discussion

Cette étude visait à apprécier l'incidence de la masse corporelle du judoka sur ses performances de régulation de l'équilibre orthostatique. Nos résultats indiquent en fait qu'aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les 3 groupes de sujets (léger, moyen ou lourd), indépendamment des conditions expérimentales ; ils divergent, par conséquent, de ceux de Bessineton *et al.* (1976). La constitution d'un groupe homogène de 31 judoka nous a donc seulement permis d'appréhender le rôle de la saisie du *kumikata*.

La position de garde, qui permet un contact étroit entre les 2 adversaires, concourt en fait à améliorer l'état d'équilibre du judoka, et ce, bien que la valeur moyenne de la surface parcourue par le CPP du combattant ait doublé (par rapport à celle mesurée lors de l'examen standard). En effet, saisir son partenaire contribue à la fois (1) à stabiliser le corps dans le plan antéropostérieur, tout en ne modifiant pas la quantité d'énergie dépensée par le judoka (extrapolée à partir du paramètre L) pour maintenir son état d'équilibre stable, en condition YF et, (2) à diminuer le poids de l'entrée visuelle dans la fonction d'équilibration, comme semblent l'indiquer les quotients de Romberg qui tendent vers 1. Dès lors, la valeur du paramètre S mesurée ne serait-elle pas, non plus le reflet de la précision de la régulation posturale d'un seul judoka (celui debout sur la plate-forme), mais bien au contraire caractéristique du binôme ? Il ne faudrait donc plus considérer les deux partenaires comme deux entités différentes jointes l'une à l'autre par l'intermédiaire du *kumikata*, mais plutôt considérer le binôme comme formant un seul et unique individu, pourvu de quatre membres inférieurs (Crémieux *et al.*, 1995).

Cette première constatation sous tend que la garde fondamentale adoptée par les judoka leur permet d'agir, lors des *randori*, de façon aussi performante les yeux ouverts que les yeux fermés. La vision n'a donc qu'une importance relativement modérée dans

la fonction d'équilibration du judoka (Mesure *et al.*, 1994 / Crémieux *et al.*, 1995). Certains judoka, privés, partiellement ou totalement, de l'afférence visuelle peuvent donc participer aux compétitions fédérales et même accéder à la Ceinture Noire, comme le souligne Barrault (1991c).

Ceci accrédite l'hypothèse d'une stratégie élaborée et centrée sur les signaux proprioceptifs permettant d'une part de faire l'économie d'une exploration exhaustive de l'environnement, et d'autre part d'éviter l'effet de la précipitation manifesté lorsque le temps imparti à l'exploration d'un nombre donné d'éléments du champ visuel est limité (Mesure & Crémieux, 1992 / Mesure *et al.*, 1993). La commutation des entrées sensorielles entre elles, la gestion des informations sensorielles pertinentes (impliquées dans l'induction et le contrôle du mouvement), et l'élaboration cognitive du schéma corporel du judoka, contribuent donc au développement de stratégies de coordination sensori-motrice particulières, capables d'adaptation, et dépendant de la nature, ou des contraintes sensorielles, de l'activité.

En effet, il apparaît que les moyennes des paramètres posturographiques mesurées sont légèrement plus faibles pour une saisie à gauche, bien que le *kumikata* à droite soit la saisie fondamentale la plus régulièrement observée et la plus souvent adoptée par les judoka. Le fait d'être aussi stable à gauche qu'à droite résulterait donc sans doute de l'effort de concentration et d'attention sélective requis pour maintenir une posture inhabituelle (Whittington *et al.*, 1976 / Mc Ginty *et al.*, 1991 / Iso-Ahola, 1992). Un apprentissage des techniques de projection spécifiques au Judo à la fois à droite et à gauche serait donc un atout majeur pour le compétiteur lui permettant ainsi de mieux contrôler les déséquilibres imposés par son adversaire tout en le surprenant lors des attaques en changeant systématiquement de *kumikata* durant le *randori*.

Enfin, l'analyse du rapport AP/Lat dans les 4 conditions expérimentales (garde à droite et garde à gauche, en condition YO et YF) indique que les judoka des groupes

léger et moyen oscillent plutôt d'avant en arrière alors que ceux du groupe lourd oscillent surtout latéralement. Ceci corrobore les spécificités techniques de chaque catégorie de poids, à savoir que les judoka de petit et moyen gabarits utilisent davantage en compétition les mouvements de projection d'épaule ou de hanche - dans le plan antéropostérieur -, alors que les judoka les plus lourds adhèrent plus facilement aux mouvements de balayage ou fauchage dans le plan latéral.

V-7 Conclusion

Les facultés de régulation posturale des judoka ne semblent donc pas influencées par leur masse corporelle, cette dernière ayant tout au plus une incidence dans le choix du type de projections utilisées lors des *randori*. La saisie du *kumikata* quant à elle, qu'elle soit droite ou gauche, semble (1) contribuer à la stabilisation du judoka dans le plan frontal, (2) diminuer le poids de la vision dans la fonction d'équilibration et par conséquent (3) favoriser la commutation des entrées sensorielles entre elles. La stimulation permanente des propriocepteurs et des mécanorécepteurs permet ainsi au judoka d'adapter chaque instant d'un combat (Barrault, 1991c). Les judoka de haut niveau sont donc capables de privilégier la stratégie posturale la plus adaptée à la situation vécue.

Ces premiers résultats indiquent que les mécanismes psycho-physiologiques de régulation posturale mis en jeu dans le contrôle de l'orthostatisme sont semblables pour tous les judoka, indépendamment des catégories de poids, ce qui nous permet de considérer dès à présent le groupe constitué par les 31 judoka comme étant un ensemble homogène. Par conséquent, et du fait même des finalités de la discipline – les judoka ne demeurant immobiles qu'à de rares exceptions -, il devient pertinent de replacer notre groupe de combattants dans des conditions expérimentales qui soient davantage en relation avec le Judo, à savoir dans des situations de déstabilisation. Des épreuves posturographiques dynamiques d'oscillations sinusoïdales lentes du support nous permettront donc de mieux appréhender les facultés d'adaptation posturale de ces sportifs.

-VI- PROTOCOLE 2 : EPREUVE DYNAMIQUE AVEC OSCILLATIONS SINUSOIDALES LENTES DU SUPPORT

Ce travail a fait l'objet d'une publication internationale parue en 1998 dans la revue ***Neuroscience Letters*** *245: 155-158.*

-VI-1 RAPPELS

Le contrôle postural est un acte moteur révélateur de l'expression d'une stratégie développée pour maintenir un état d'équilibre stable. Cette stratégie est fondée à partir des afférences vestibulaires, visuelles et extéro-proprioceptives perçues (analysées, traitées et interprétées centralement) et repose sur la qualité et l'intégrité des effecteurs moteurs impliqués dans les mécanismes de compensation du déséquilibre. Les afférences de la tétrade sensorielle fournissent en permanence aux CNS des informations relatives tant aux positions qu'aux gestuelles corporelles du sujet dans son environnement.

Par ailleurs, l'apprentissage moteur, les expériences psycho-physiologiques individuelles et la cognition contribuent à réguler la chaîne posturale en identifiant, de manière plus ou moins anticipée, tous les éléments et événements susceptibles de perturber la station verticale du sujet (Iso-Ahola, 1992 / Lavisse *et al.*, 1995 / Perrot *et al.*, 1998b). Ainsi, toute la séquence d'ajustement posturaux réactionnels (automatiques) et par extrapolation anticipatoires (volontaires), qu'il est possible d'apprécier dans son ensemble et avec précision par le biais de la posturographie, va refléter les facultés d'analyse, de stockage et de rappel en mémoire de travail des contraintes (internes ou externes) auxquelles est soumis le sujet, et ce, d'autant plus facilement si celui-ci est entraîné à réagir instantanément à des situations inhabituelles et/ou inattendues dans le cadre de sa pratique sportive.

Notre étude propose donc (1) d'apprécier les réactions posturales consécutives à l'occlusion palpébrale au cours d'une séquence d'épreuves posturographiques

d'oscillations sinusoïdales lentes du support, menées YO, en comparant deux populations de sujets (experte ou non en arts martiaux), et par conséquent, (2) d'évaluer les facultés d'adaptation de chacun, induites par l'entraînement à court terme et/ou à long terme.

VI-2 Sujets

Parmi les 20 sujets sains dont le contrôle postural a été évalué dans le cadre de ce protocole, on dénombre 6 judoka et karatéka, Ceintures Noires, ayant tous une expérience de la compétition martiale.

VI-3 Materiel & Procedure

Les déplacements linéaires du CPP et leur transformée de Fourier (voir page 32) ont été enregistrés une 1ère fois pour chaque individu testé 20 secondes en conditions YO (test 1 ou T1), puis 20 secondes YF (T2).

Après une heure de repos, 3 nouveaux tests posturographiques d'oscillations sinusoïdales lentes du support de 20 secondes chacun (T3, T4 et T5) ont été proposés à une minute d'intervalle aux deux populations testées. La consigne imposait aux sujets, en position orthostatique stable et en condition YO, de fermer les yeux à un signal sonore (à la 10ème seconde du test) alors que la plate-forme continuait de les déstabiliser de façon quantifiée.

Après une seconde période de repos de 10 minutes, la séquence de tests initiale (T1/T2) était reproduite dans les mêmes conditions ; les essais T6 (20 secondes YO) et T7 (20 secondes YF) ont alors permis d'apprécier l'influence, à court terme, d'une phase d'apprentissage particulière (T3-T5) sur la réponse motrice compensatoire individuelle. Ainsi, la fréquence d'oscillation du CPP de chaque sujet a été comparée à celle de la plate-forme et l'amplitude des déplacements du CPP mesurée. Toute

augmentation de plus de 30% du second critère d'évaluation était alors considérée comme caractéristique des modifications comportementales du sujet consécutivement aux contraintes expérimentales.

VI-4 Statistiques

Les tests de Friedman et de Wilcoxon ont été utilisés pour comparer les performances d'équilibre dynamique (tracés de type 1 ou de type 2) obtenues pour chaque individu lors des 7 épreuves posturographiques successives alors que le test de Mann-Whitney a été retenu pour différencier les sujets en fonction de leur niveau d'expertise ou de pratique sportive.

VI-5 Resultats

Des tracés de type 1, réguliers, en opposition de phase et isofréquentiels vis-à-vis du stimulus, ont été enregistrés dans 85% puis 65% des cas lorsque les tests étaient menés respectivement en condition YO (T1) puis YF (T2).

L'analyse des tracés obtenus pendant la séquence T3, T4 et T5 révèle, quant à elle, une persistance de la stratégie d'équilibration utilisée YO, équivalente à celle observée en T1, au delà de la 10ème seconde du test (c'est-à-dire après occlusion palpébrale) et dont la durée va progressivement augmenter jusqu'à disparition totale du patron YF (caractéristique de T2) lors de l'épreuve T5 (Fig. 6).

Une phase de transition, caractérisée sur le tracé par des déplacements du CPP plus irréguliers et d'amplitude plus importante, est également observée entre les différents types de stratégies de régulation posturale obtenus YO et YF au cours du seul T3. L'augmentation progressive de la durée du patron YO durant les tests T3 à T5 est statistiquement significative ($p<0,01$) comme l'indique le tableau V.

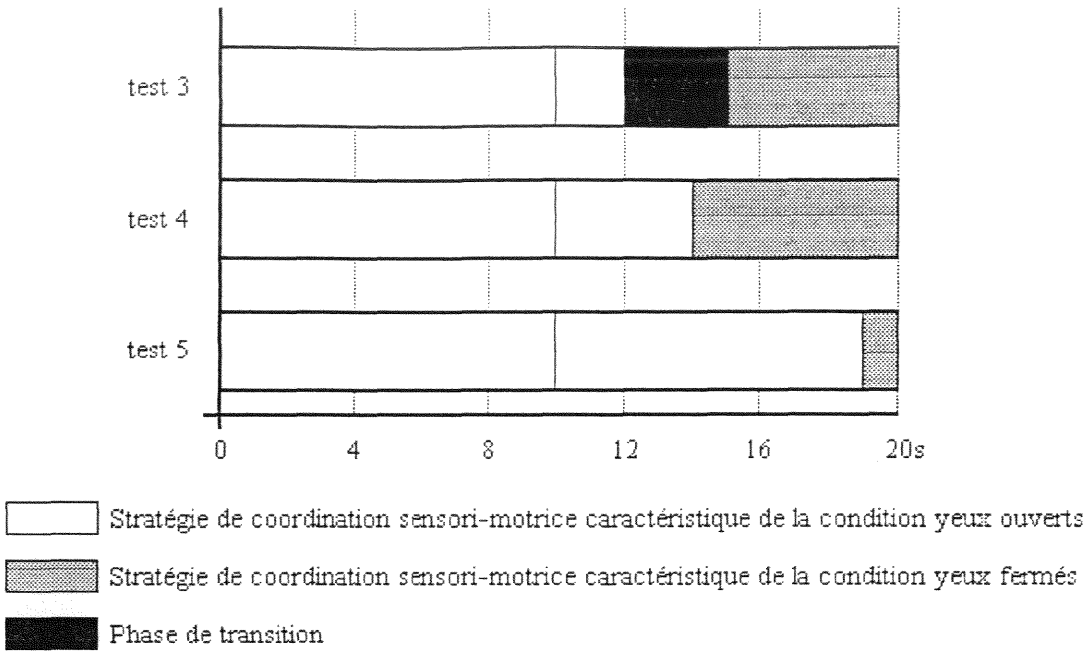


Fig. 6 : Durées moyennes des 3 types de séquences de régulation posturale recueillies pour l'ensemble des 20 sujets au cours des tests 3, 4 et 5.

Tableau V : Médiane de la durée de persistance du patron YO (en secondes) et valeurs des quartiles inférieur et supérieur recueillies lors des tests T3, T4 et T5 pour l'ensemble de la population évaluée.

	Persistance du patron Yeux Ouverts		
	Médiane (s)	Quartile inférieur	Quartile supérieur
Test 3	2,5	2,0	3,0
Test 4	4,0	3,0	5,0
Test 5	9,0	9,0	10,0

Test de Friedman : χ^2=38,10 ; p<0,0001.
Test de Wilcoxon : entre T3 et T4, z=-3,72 ; p<0,0001 / entre T4 et T5, z=-3,92 ; p<0,0001.

Néanmoins, il s'avère que la persistance de la stratégie d'équilibration caractéristique de la condition YO lors de la séquence T3-T5 n'est pas une faculté d'adaptation, acquise par apprentissage et conservée au cours du temps, dès lors que les

tracés enregistrés dix minutes plus tard, en T6 et T7, reproduisent les mêmes caractéristiques que celles obtenues respectivement en T1 et T2.

La comparaison des performances d'équilibre réalisées par le groupe des 6 combattants et par celui des 14 témoins lors des séries T1/T2 et T6/T7 révèle des différences statistiquement significatives, indéniablement liées à la pratique sportive. En effet, si 100% des sportifs maintiennent en toute sérénité leur état d'équilibre stable alors que le support oscille (tracés de type 1), seuls 79% des témoins parviennent à compenser les mouvements induits par la plate-forme. Les épreuves menées YF conduisent à la même constatation bien que les pourcentages observés soient désormais plus faibles (83% des sportifs vs 58% des témoins).

L'analyse des tracés obtenus en T3 indique enfin (1) que la durée de persistance de la phase de régulation posturale YO après occlusion palpébrale est plus importante chez les experts en arts martiaux, et (2) que la phase de transition est significativement plus courte ($p<0,03$) chez les sujets entraînés que chez leurs témoins (tableau VI), ce qui dénote des facultés d'adaptation ou d'apprentissage supérieures de la part des sportifs.

Tableau VI : Médiane de la durée de la phase d'adaptation et valeurs des quartiles inférieur et supérieur recueillies lors du test T3, chez les pratiquants d'arts martiaux et chez les témoins.

	Persistance du patron Yeux Ouverts		
	Médiane (s)	Quartile inférieur	Quartile supérieur
Sujets sportifs	2,5	2,0	3,0
Sujets non sportifs	4,0	3,0	5,0

Test de Mann-Whitney : p=0,003.

VI-6 Discussion

Cette étude visait à apprécier les facultés d'adaptation immédiate à de nouvelles conditions d'équilibration générées par la perte de l'afférence visuelle au cours d'épreuves posturographiques dynamiques ; elle a en fait permis de montrer (1) que la répétition des tests s'apparenterait à un entraînement dont la conséquence, après la fermeture des yeux, est un usage optimal et progressivement plus long de la stratégie de coordination sensori-motrice adoptée en situation YO et (2) que l'acquisition et l'intégration de nouveaux programmes et enchaînements moteurs, induites par l'entraînement aux sports de combat, améliorent les facultés d'apprentissage d'un nouvel exercice (Perrin *et al.*, 1998). Nos résultats nous permettent alors de quantifier le poids respectif de la mémoire à court terme et de la mémoire à long terme dans la visualisation et l'élaboration mentale du schéma corporel.

La persistance de la stratégie de coordination sensori-motrice YO après la fermeture des yeux résulterait donc de l'expression de processus mnésiques. La régulation du contrôle postural impliquerait en fait 2 composantes des dits processus, soit un système de référence, perfectible, fondé sur les expériences psycho-physiologiques individuelles antérieures (Hlavacka *et al.*, 1992) et un système dynamique correctif intervenant, si nécessaire, instantanément en cas de déséquilibre inopiné (Clément *et al.*, 1984 / Lestienne *et al.*, 1994 / Massion, 1994).

La persistance du patron YO, dont la durée va croissante de T3 à T5, met d'une part en évidence l'intervention de la mémoire à court terme mais également l'utilisation de nouveaux processus construits progressivement par apprentissage, comme l'ont suggéré Kowler (1989), Tenenbaum *et al.* (1993), Lavisse *et al.* (1995) ou Tarantola *et al.* (1997) avec leurs propres modèles. Dans le cadre de cette étude, la phase d'adaptation, révélée par des déplacements du CPP plus irréguliers et plus marqués en T3, peut être considérée comme une phase de réorganisation sensorielle générée par la

perte de l'afférence visuelle et générant une nouvelle stratégie de régulation posturale qui s'apparente à celle spontanément adoptée en T2, ce qui corrobore la rémanence d'une stratégie d'équilibration fondée exclusivement à partir des signaux proprioceptifs.

En outre, les experts en arts martiaux ont montré des facultés d'adaptation indéniables aux contraintes qui leur étaient imposées, en commutant plus rapidement d'une entrée sensorielle (vision) vers une autre (proprioception) consécutivement à une meilleure intégration des données neurosensitives exploitables (Perrin *et al.*, 1997). En fait, les judoka et karatéka sont capables d'intégrer l'ensemble des informations sensorielles qui leur est nécessaire pour maintenir leur état d'équilibre stable dans les tous premiers stades de l'action alors que les sujets non sportifs n'ont d'autre alternative que réguler progressivement leur posture tout en appréciant l'action dans sa continuité (Annett & Kay, 1956 / Tenenbaum *et al.*, 1993 / Perrin *et al.*, 1998). Les sportifs adoptent donc la stratégie la plus appropriée à la tâche en se fondant, efficacement, à la fois sur leur propre expérience, acquise par la pratique des arts martiaux, et maintenue en mémoire à long terme, et sur les processus mnésiques développés à court terme par la répétition des tests (Vidal *et al.*, 1982 / Ishizaki *et al.*, 1991).

VI-7 Conclusion

Cette étude nous a permis de démontrer et de quantifier la persistance, en mémoire à court terme, d'une stratégie d'équilibration particulière, acquise consécutivement à la répétition ponctuelle d'un exercice. Les sportifs, qui semblent pouvoir temporairement faire abstraction de l'afférence visuelle par une meilleure commutation des entrées sensorielles entre elles, représentent par ailleurs un excellent modèle, révélateur des interactions entre entraînement sportif et conservation en mémoire à long terme des stratégies de réorganisation sensorielle impliquées dans le contrôle postural au quotidien et acquises par un apprentissage souvent long et intensif.

Cette seconde étude nous a indiqué que les judoka sont capables d'adaptation en toute circonstance, c'est-à-dire dans des situations particulières d'équilibre qui soient entièrement nouvelles (suppression d'une entrée sensorielle et ou déstabilisation quantifiée du support) en se fondant sur leur propre expérience et sur des programmes moteurs acquis par apprentissage. Néanmoins, il s'avère que ce premier examen posturographique dynamique, bien que déconcertant, ne présente pas encore les véritables caractéristiques du randori, à savoir des déséquilibres souvent rapides et soudains (provoqués à partir du tronc). Une seconde épreuve dynamique utilisant ce type de déstabilisation, mais générée au niveau du sol du fait de la reproductibilité du mouvement imposé aux sujets par la plate-forme, nous permettra donc de confirmer ou d'infirmer nos premières constatations.

-VII- PROTOCOLE 3 : EPREUVE DYNAMIQUE AVEC MOUVEMENT DE BASCULE UNIQUE RAPIDE DU SUPPORT

Ce travail a fait l'objet d'une publication internationale parue en 1998 dans le ***Journal of Human Movement Studies*** *35: 119-136.*

VII-1 Rappels

Le sport et l'activité physique ont des effets positifs sur les tissus du système locomoteur. L'entraînement augmente la puissance des muscles ; les tendons et les ligaments accroissent leur valeur tensionnelle, leur résistance, leur élasticité et leur poids total par augmentation de l'épaisseur des fibres collagènes et de leurs liaisons (Renström, 1996). Cet accroissement de la masse musculaire, harmonieuse et symétrique, est indéniablement une caractéristique des sports de combat parmi lesquels le Judo, quelles que soient les catégories de poids. De plus, cet art martial, dont les techniques sont principalement fondées sur les déplacements permanents permettant de mettre en déséquilibre l'adversaire pour le faire chuter, nécessite donc des pratiquants qu'ils s'entraînent à contrôler leur équilibre dynamique. Et c'est dans le cadre des combats que le judoka apprend surtout à utiliser des situations dynamiques instables pour les tourner à son avantage (Barrault, 1991a).

L'entraînement au *Kumité* permet d'une part de privilégier directement un certain type d'informations, mais aussi d'adopter ou de développer des stratégies posturales inconscientes (ou conscientes) directement induites par le type d'information sélectionnée (Mesure *et al.*, 1995).

Parmi les afférences sensorielles de la fonction d'équilibration, la proprioception est celle qui est le plus susceptible d'acquisition ou d'éducation par la pratique des activités physiques et sportives (Denis *et al.*, 1996). Un enregistrement électromyographique de 2 muscles de la chaîne posturale nous permettra donc de

vérifier le rôle de la proprioception en Judo, sur la base d'une réaction adaptée et optimale consécutivement à une déstabilisation brusque quantifiée. Des judoka très entraînés, et du fait de la finalité de leur discipline, devraient adapter plus rapidement leurs ajustements posturaux que d'autres sportifs (Barrault, 1991a).

Notre étude propose donc de comparer les réactions posturales secondaires à un déséquilibre des judoka de haut niveau par rapport à celles de sujets témoins sportifs non initiés aux arts martiaux.

VII-2 Sujets

Vingt judoka de haut niveau ont participé à cette étude posturographique dynamique. Ce groupe de sportifs âgés de 18 à 42 ans est composé de 15 Ceintures Noires et de 5 Ceintures de Couleur. Aucune pathologie d'ordre neurologique ou orthopédique n'a pu être mise en évidence.

La population témoin regroupe 30 sportifs, licenciés, adeptes d'autres disciplines (athlétisme, cyclisme, équitation, football, golf, natation, rugby, tennis) s'entraînant 1 à 2 fois par semaine. Ces sujets, âgés de 22 à 46 ans, ne présentent aucune pathologie récente de l'appareil locomoteur.

VII-3 Materiel & Procedure

Chaque sujet, en situation orthostatique (bras le long du corps) sur la plate-forme, a pour consigne de fixer une cible placée 2 mètres devant lui, à hauteur des yeux, alors que le support bascule, de façon aléatoire du point de vue temporel, de 4° vers l'arrière à la vitesse de 50°/s. On mesure par électromyographie intégrée de surface l'activité de 2 muscles antigravitaires antagonistes (le *Triceps Sural* et le *Tibialis Anterior*) impliqués dans les réactions posturales.

Trois réponses électromyographiques (EMG), de latence courte (RLC), moyenne (RLM) et longue (RLL), sont enregistrées consécutivement à une déstabilisation quantifiée. Notre étude vise à comparer les latences, mais également les amplitudes, de ces 3 types de réponses musculaires, d'un groupe de sportifs à l'autre.

Enfin, la préhension du Kimono étant une caractéristique du Judo, il nous paraissait important d'apprécier le rôle du *Kumikata* (ou saisie fondamentale – voir Fig. 4 page 45) lors de ces mêmes épreuves de brusque déséquilibre. Une 2ème étude EMG (longitudinale, où chaque judoka est son propre témoin) nous permettra de quantifier l'activité musculaire des membres inférieurs d'un sujet en garde, c'est-à-dire d'évaluer le rôle proprioceptif de la saisie du *Judogi* avec les membres supérieurs.

Les électrodes, collées en regard du TS et du TA lors du 1er examen EMG, ne sont pas retirées à l'issue de celui-ci, la 2ème épreuve (judoka en garde) débutant d'emblée.

VII-4 STATISTIQUES

Le test statistique utilisé dans le cadre de notre étude est le test *t* de comparaison de 2 moyennes, celles-ci étant pondérées par un facteur tenant compte de la taille et de la dispersion (variance) des échantillons.

VII-5 RESULTATS

La première réponse (RLC, due au réflexe myotatique) apparaît chez les judoka une trentaine de millisecondes après le mouvement de bascule de la plate-forme (32,95±2,5 ms et 32,37±2,29 ms pour les jambes droite et gauche respectivement). Ces moyennes ne sont pas significativement différentes. La RLM (liée au réflexe polysynaptique), enregistrée au niveau du TS (88,1±5,43 ms / 85,7±5,19 ms) et la RLL (caractéristique du réflexe d'ajustement postural réactionnel) relative à la contraction du TA (111,5±9,48 ms / 111,5±10,16 ms) conduisent à la même conclusion : en position orthostatique, les réponses EMG d'un groupe musculaire donné de la chaîne posturale sont symétriques d'un membre à l'autre, chez les judoka. Pour les témoins, ne pratiquant aucun sport de combat ni d'opposition, les latences mesurées ne sont pas significativement différentes pour une même paire de muscles posturaux (RLC : 37,63±1,61 ms / 37,5±2,22 ms ; RLM : 90,17±5,45 ms / 89,1±5,26 ms ; RLL : 123,56±12,34 ms / 122,46±10,58 ms) quoique retardées par rapport à celles observées chez les judoka. Une comparaison de la durée moyenne d'apparition de chaque réponse EMG, tous membres confondus, caractéristique de chacun des 2 groupes de sportifs considérés, révèle que les réactions de rattrapage de l'équilibre consécutives au mouvement du support sont anticipées chez les judoka par rapport aux témoins. Le test *t* indique que les différences ainsi mises en évidence sont significatives (tableau VII).

Tableau VII : valeurs moyennes des latences (ms) et des amplitudes (µV) des réponses de latence courte (RLC), moyenne (RLM) et longue (RLL) enregistrées chez les judoka et leurs témoins.

	Triceps Surae				*Tibialis anterior*	
	RLC		RLM		RLL	
	Latence (ms)	Amplitude (µV)	Latence (ms)	Amplitude (µV)	Latence (ms)	Amplitude (µV)
Judoka	32,66 ±2,28	103,61 ±85,34	86,93 ±5,31	149,53 ±106,6	111,5 ±10,11	311,42 ±140,8
Témoins	37,5 ±2,2	141,14 ±86,81	89,66 ±5,4	135,86 ±115,9	123,01 ±12,46	334 ±130,27
	**	*	*	NS	**	NS

Test *t* de Student-Fisher : ** $p<0,01$, * $p<0,05$, NS non significatif.

Le 2ème examen EMG, réalisé chez les judoka en garde, ne permet pas non plus de différencier les latences enregistrées au niveau de chaque TS ou TA, d'un membre à l'autre (RLC : 33,02±2,54 ms / 32,5±2,2 ms ; RLM : 87,3±5,54 ms / 87,1±4,91 ms ; RLL : 137,64±17,44 ms / 133,75±15,2 ms). L'activité musculaire mesurée pendant ces épreuves de déstabilisation quantifiée est donc simultanée pour une même paire de muscles posturaux et pour une condition expérimentale donnée. Il apparaît également que les réponses EMG recueillies au niveau du TS (non impliqué dans la restauration de l'équilibre dans le cadre de cette étude) ne sont pas modifiées après saisie du *Judogi* alors que la durée nécessaire pour déceler la contraction du TA est nettement rallongée pour un sujet en garde (tableau VIII, Fig. 7). La différence ainsi mise en évidence est très hautement significative ($p<0,001$). Cette nouvelle condition expérimentale affecte tout particulièrement le TA. Le *Kumikata* induit donc un retard dans la commande motrice stabilisatrice.

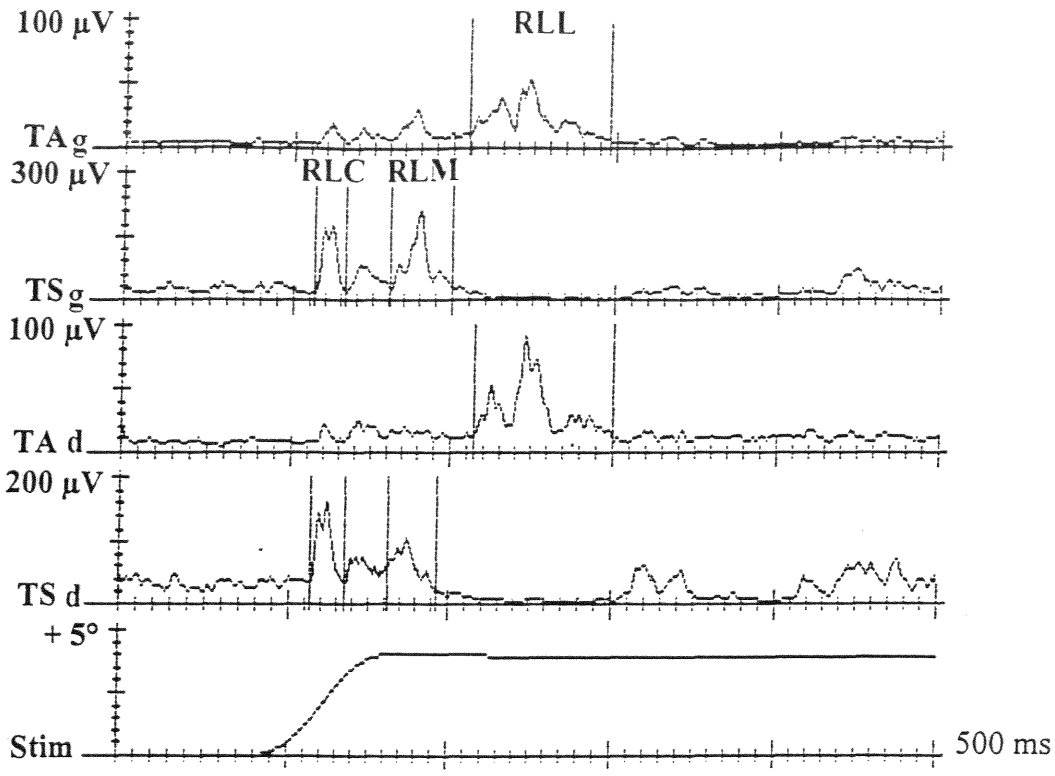


Fig. 7 : Réponses électromyographiques de latence courte (RLC), de latence moyenne (RLM) et de latence longue (RLL) enregistrées, chez un judoka en garde, sur les muscles *Triceps Surae* (TS) et *Tibialis Anterior* (TA) droits (d) et gauches (g) consécutivement à un mouvement de bascule unique rapide du support dans le plan antéropostérieur (Stim : 4° ; 50°/s).

Tableau VIII : valeurs moyennes des latences (ms) et des amplitudes (µV) des réponses de latence courte (RLC), moyenne (RLM) et longue (RLL) enregistrées chez les judoka testés seuls, en position de référence, puis en garde, c'est-à-dire associés à leurs partenaires (Kumikata).

	Triceps Surae				*Tibialis anterior*	
	RLC		RLM		RLL	
	Latence (ms)	Amplitude (µV)	Latence (ms)	Amplitude (µV)	Latence (ms)	Amplitude (µV)
Judoka	32,66 ±2,28	103,61 ±85,34	86,93 ±5,31	149,53 ±106,6	111,5 ±10,11	311,42 ±140,8
Kumikata	32,74 ±2,2	110,55 ±71,56	87,23 ±5,29	137,12 ±115,9	135,9 ±12,46	102,95 ±77,53
	NS	NS	NS	NS	***	***

Test *t* de Student-Fisher : *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05, NS non significatif.

Le second critère analysé dans le cadre de notre étude est l'amplitude, c'est-à-dire l'intensité, de la contraction musculaire. Le raisonnement utilisé plus haut pour comparer les latences de la réponse motrice entre elles, corrélativement aux muscles et membres considérés, est reconduit afin d'apprécier les amplitudes des 3 réponses EMG enregistrées. Pour une contraction musculaire donnée, aucune différence n'a pu être notée entre chacun des 2 membres inférieurs. L'amplitude de la contraction musculaire est donc identique d'une jambe à l'autre pour une même paire de muscles, chez les témoins comme chez les judoka. Il apparaît néanmoins que l'amplitude de la RLC des témoins excède celle des judoka (tableau VII). Cette différence, significative pour $p<0,05$, n'est cependant plus observée pour l'amplitude des RLM et RLL. Le retard d'apparition de la RLC, chez les témoins comparativement aux judoka, semble donc compensée par une augmentation de l'intensité de la contraction du TS.

Enfin, l'étude du rôle de la prise de garde sur l'amplitude des 3 réponses EMG conduit aux mêmes conclusions que pour l'analyse des latences. En effet, la saisie du *Judogi* ne semble pas affecter les réflexes myotatique et polysynaptique, les RLC et RLM demeurant identiques que le judoka soit seul ou associé à son partenaire lors du test (tableau VIII). Par contre, une différence très significative ($p<0,001$) a pu être mise en évidence au niveau du TA après saisie (RLL : $311,42 \pm 140,77$ µV / $102,95 \pm 77,53$ µV), l'amplitude de la réponse stabilisatrice étant alors divisée par 3. Le muscle TA est particulièrement sensible aux variations de conditions expérimentales.

VII-6 Discussion

Le contrôle postural étant un acte moteur à part entière, il nous paraissait intéressant d'apprécier les ajustements posturaux réactionnels de sportifs (judoka ou non) consécutivement à une déstabilisation quantifiée inopinée. Nos résultats ont montré que le Judo, ou art du déséquilibre, permet aux experts de restaurer précocement leur posture après déstabilisation, comparativement à d'autres APS, et que la saisie du revers du Kimono autorise un retard dans la restauration de l'équilibre, la contraction du TA ne devenant plus aussi primordiale. Le fait d'agripper son partenaire au niveau des membres supérieurs et du tronc permet donc de limiter l'importance relative des muscles des membres inférieurs impliqués dans la restauration rapide de l'équilibre.

L'entraînement sportif, quel qu'il soit, conduit à donc l'acquisition de nouvelles habiletés motrices (volontaires ou automatiques), à l'amélioration des facultés d'intégration des centres nerveux supérieurs, ainsi qu'à l'optimisation de l'état d'équilibre du pratiquant, sous certaines conditions d'apprentissage difficiles (Hu & Woollacott, 1994a).

Les ajustements posturaux, reposant sur l'acquisition de renseignements concernant la position du corps dans l'espace fournis par les divers référentiels et intégrés dans les synergies axiales (la flexion du tronc vers l'arrière s'accompagne d'une antépulsion du bassin pour éviter la chute dans le cadre de notre étude), ont pour rôle de diminuer les perturbations au cours du mouvement (Nouillot *et al.*, 1991 / Massion, 1992 / Massion, 1993 / Béraud & Gahéry, 1995b) ou de la gestuelle sportive ; ils ne sont donc pas stéréotypés mais capables d'adaptation (Pélissier *et al.*, 1994).

Toute amélioration dans la réaction posturale serait en fait liée à une plasticité des structures neuronales requises sachant que les structures d'intégration centrale impliquées dans les ajustements posturaux sont les noyaux vestibulaires (sur lesquels convergent les nerfs vestibulaires, certaines structures cérébelleuses et le système

proprioceptif cervical), le cervelet (sur lequel se projettent les voies spinocérébelleuses, corticales sensori-motrices et visuelles), le cortex et quelques zones sous-corticales cérébrales (Rémy Néris *et al.*, 1994). Au niveau du cervelet, le vermis joue un rôle fondamental dans la régulation posturale, assurant de surcroît l'activation bilatérale simultanée des muscles homologues antigravitaires (Bonnet *et al.*, 1976 / Sieb, 1989). Le réflexe d'ajustement postural réactionnel enregistré au niveau du TA, apparaissant de façon précoce chez les judoka, résulte donc de l'amélioration des réseaux d'intégration centrale.

Une augmentation de la vitesse de conduction le long des voies efférentes contrôlant la posture (faisceaux vestibulospinal et réticulospinal) pourrait également être envisagée. En effet, l'activité musculaire anticipée acquise et programmée, mise en évidence chez les judoka pour parer aux effets de la perturbation, est modulée et ajustée par les réflexes vestibulospinaux (Mouchnino *et al.*, 1992 / Horak *et al.*, 1994 / Denis *et al.*, 1996).

En outre, et bien que les APS aient leurs propres spécificités, chaque morphocinèse nécessite l'intégration d'informations afférentes simultanées et multimodales. L'importance relative ou la rapidité d'intervention des systèmes sensoriels, qui permettent une détection d'erreur au service du contrôle de l'équilibre, est fonction de la localisation anatomique des capteurs sensoriels ainsi que de leurs caractéristiques dynamiques (Mesure *et al.*, 1995). Dans le cadre de cette expérimentation, l'information sensorielle prépondérante relative au mouvement de bascule du support est fournie par les fuseaux neuromusculaires et les extérocepteurs plantaires, l'appareil vestibulaire ne pouvant plus assurer son rôle de sauvegarde de l'équilibre en cas d'urgence du fait de la rapidité de la déstabilisation (Perrin *et al.*, 1991b).

La proprioception, résultant de l'éducation ou de la pratique sportive et contrôlée par la commande motrice qui module l'excitabilité des motoneurones gamma et des interneurones pré-synaptiques, apparaît donc déterminante dans la performance du judoka (Barrault, 1991c) ; si l'on tient compte des résultats obtenus aux tests EMG par les judoka comparativement aux autres sportifs, on constate que l'activation motrice est plus automatisée et ajustée chez les pratiquants d'arts martiaux, l'adaptation des experts à long terme étant fondée sur la base d'un contrôle sensori-moteur plus approprié. De par leurs possibilités adaptatives et une représentation mentale du but fixé certainement plus rapide et adéquate, les judoka doivent faire l'économie d'une exploration exhaustive des informations environnantes et se concentrent directement sur les informations sensorielles pertinentes, c'est-à-dire proprioceptives (Mesure *et al.*, 1995).

La facilitation d'intégration de ces informations apparaît comme étant la composante essentielle d'une pratique de qualité, laquelle repose sur une bonne coordination des muscles antagonistes et des muscles d'une même chaîne posturale (Bonnet *et al.*, 1976 / Pyykkö *et al.*, 1989 / Tokita *et al.*, 1991 / Barrault, 1991a). L'activation relativement précoce des muscles distaux des judoka reflète aussi l'importance fonctionnelle des mouvements impliqués dans la correction automatique ou anticipée du déséquilibre et générés au niveau de la cheville dont le rôle est primordial (Nashner & Cordo, 1981 / Allum, 1983 / Tropp & Odenrick, 1988 / Horak *et al.*, 1994). En effet, cette articulation assure la mobilité et la stabilité du pied lors des déplacements et balayages, ainsi que les mouvements de flexion-extension autour de l'axe frontal tenon-mortaise tibio-astragalien (Brondani, 1991 / Setton & Pécout, 1994).

L'activation anticipée du TA chez les judoka ne reste cependant valable que pour un sujet évoluant seul, c'est-à-dire sans possibilité de maintien (Marsden *et al.*, 1981 / Cordo & Nashner, 1982). En effet, la saisie du *Kumikata* retarde l'apparition de la contraction du muscle stabilisateur, sans jamais affecter son antagoniste ; l'activité

EMG du TS varie donc moins que celle du TA (Kleiber *et al.*, 1990 / Nardone *et al.*, 1990). Les modifications de l'intensité de la réponse motrice consécutives à la saisie de la garde (limitant ainsi le déséquilibre vers l'arrière par traction du partenaire vers l'avant) sont corrélées à l'amplitude de la déstabilisation, bien que la vitesse du déplacement du support soit conservée. Les réponses musculaires réactionnelles sont donc fortement influencées par le type de déstabilisation et la position corporelle choisie (Gurfinkel *et al.*, 1976 / Nashner & Cordo, 1981 / Nardone *et al.*, 1990).

La plus grande sensibilité du TA aux conditions expérimentales paraît dès lors liée à un contrôle du système nerveux central plus important, comme l'ont montré Horak *et al.* (1994). Le Judo développerait donc de nouvelles facultés d'intégration (inconscientes ou conscientes) assurant une meilleure régulation de l'équilibre ; les conditions dynamiques d'apprentissage de cette discipline permettent de répondre instantanément au déséquilibre par une action d'une logique essentiellement pratique résultant d'une programmation et d'une commande centrales fondées sur l'expérience (Dichgans & Diener, 1989).

VII-7 CONCLUSION

Le Judo apporte un développement musculaire généralisé et harmonieux, un affinage du schéma corporel et un contrôle performant de l'équilibre par amélioration de la maîtrise et de la perception du corps dans l'espace ; la stimulation permanente des propriocepteurs de l'ensemble du corps au cours des combats permet en outre au judoka de situer dans l'espace chacun de ses segments corporels, de façon à adapter chaque instant d'un combat (Barrault, 1991c). Les judoka de haut niveau sont donc capables de privilégier la stratégie posturale adéquate à la tâche demandée en s'appuyant sur un système musculaire antigravitaire performant dépendant à la fois des conditions expérimentales et des centres nerveux supérieurs. Enfin, la saisie du *Judogi* semble conduire à une commutation intra-sensorielle, les signaux proprioceptifs des membres supérieurs supplantant ceux des membres inférieurs.

La pratique du Judo tend donc à développer et/ou améliorer les facultés de contrôle de l'équilibre, d'adaptation et d'anticipation du combattant, tout en favorisant l'utilisation préférentielle des signaux proprioceptifs dans la fonction d'équilibration. Néanmoins, peu d'activités physiques et sportives nécessite un contact permanent entre le pratiquant et son partenaire ; il ne faut pas non plus négliger le fait qu'en Judo les deux adversaires s'affrontent dans une surface restreinte (81 m²) et sur un sol relativement souple. Dès lors, ces caractéristiques martiales nous amènent indéniablement à la comparaison de l'apprentissage du Judo à celui d'une autre discipline sportive pour apprécier leurs incidences respectives sur le contrôle de l'équilibre.

-VIII- PROTOCOLE 4 : INCIDENCES RESPECTIVES DE LA PRATIQUE DU JUDO OU DE LA DANSE SUR LE CONTRÔLE POSTURAL

Ce travail a fait l'objet d'un article, en langue Anglaise, actuellement soumis à publication.

VIII-1 Rappels

La réalisation parfaite de toute topocinèse ou morphocinèse dépend de la maîtrise individuelle des équilibres statique et dynamique respectivement (André-Thomas, 1940 / Mesure *et al.*, 1997 / Perrot *et al.*, 1998b / Hugel *et al.*,1999) et implique que les sportifs développent des facultés de régulation de l'équilibre tant physiologiques que biomécaniques ainsi qu'une perception psycho-cognitive appropriée (et) spécifique de la discipline.

Un contrôle postural adapté requiert alors la codification des signaux sensoriels perçus pendant l'action afin d'acquérir, d'améliorer ou de corriger la représentation interne (ou mentale) du modèle à exécuter (Handford *et al.*, 1997).

Cependant, le contrôle optimal de l'équilibre lors de la réalisation de toute activité ou habileté motrice dépend essentiellement des synergies musculaires impliquées dont la finalité consiste à minimiser les déplacements du centre de gravité durant (1) le maintien de la position orthostatique, (2) les processus d'orientation et de locomotion et (3) l'exécution de gestuelles, figures ou techniques sportives spécifiques (Winearls, 1972 / Barrault, 1991a / Crémieux *et al.*, 1995 / Perrot *et al.*, 1998b).

La stratégie sensori-motrice la plus appropriée à la tâche et les aptitudes et attitudes mentales du sujet reposent en outre sur les informations sensorielles perçues et intégrées lors d'expériences individuelles antécédentes comme l'apprentissage sportif (Proteau, 1992 / Tenenbaum *et al.*, 1993 / Handford *et al.*, 1997 / Perrin *et al.*, 1998).

Il s'avère en fait que l'entraînement sportif, quel qu'il soit, améliore, à long terme, les performances d'équilibration tant statiques que dynamiques consécutivement

au développement de nouveaux programmes moteurs (Mouchnino *et al.*, 1992 / Golomer *et al.*, 1995 / Perrin *et al.*, 1998 / Perrot *et al.*, 1998b / Hugel *et al.*, 1999) qui permettent aux pratiquants d'atteindre leurs possibilités physiques maximales à bon escient et au bon moment (Mesure & Crémieux, 1990).

Les morphocinèses inhérentes à la pratique du Ballet Classique, générées à partir d'un état d'équilibre statique jusqu'à la réalisation d'enchaînements chorégraphiques dynamiques complexes, suggèrent que cet *art* est une activité physique pour laquelle maîtriser sa posture est essentiel (Mouchnino *et al.*, 1992 / Golomer *et al.*, 1995 / Hugel *et al.*, 1999). Dans le cadre du Judo, les adversaires n'ont d'autre alternative que contrôler efficacement leur équilibre dynamique, les techniques de cet *art* martial étant essentiellement fondées sur les déplacements permanents de chaque judoka dans le but de perturber l'état d'équilibre de l'adversaire de manière à le faire chuter. Par conséquent, lors des *randori*, c'est-à-dire des combats, chaque judoka apprend à utiliser des situations dynamiques instables pour les tourner à son avantage (Barrault, 1991a).

Il devient dès lors intéressant de comparer entre elles de telles disciplines sportives (Danse et Judo) dont nous savons qu'elles améliorent le contrôle postural, mais selon des modalités différentes (Crémieux & Mesure, 1992 / Mesure *et al.*, 1994 / Mesure *et al.*, 1995 / Crémieux *et al.*, 1995).

En effet, les danseurs classiques s'entraînent ou évoluent sur sol dur, dans un environnement stable, devant un miroir ou sur scène, avec une recherche de référentiels spatiaux visuels continue (Hugel *et al.*, 1999). La réalisation de chaque figure et le maintien de chaque posture (lors d'un Ballet, par exemple) reposeraient donc exclusivement sur les afférences visuelles (Soechting & Berthoz, 1979). A l'opposé, les judoka, sur tapis mous, tentent à projeter leur adversaire au sol au moyen d'oppositions front à front et/ou avant-bras à avant-bras souvent « violentes ». Ainsi, en Judo, tous les mécanorécepteurs musculaires, articulaires et cutanés sont stimulés du fait des

modifications permanentes de posture, d'appui et de contact avec le sol ou le partenaire. Les stimuli proprioceptifs apparaissent donc comme étant essentiels en Judo, les différentes situations rencontrées en combat (recherche de saisie, surpassements, contres, poursuite du *randori* au sol, ...) nécessitant en outre une commutation rapide d'une entrée sensorielle vers une autre. Enfin, ces deux *arts*, pratiqués habituellement pieds nus (bien que le port de chaussons s'imposent parfois en Danse pour réaliser certaines performances d'équilibre sur pointe), développent une meilleure perception extéroceptive, cette dernière étant impliquée dans la construction interne du schéma corporel.

Dès lors, le but de notre étude consiste à apprécier l'incidence de la pratique du Judo ou de la Danse sur le contrôle de l'équilibre, c'est-à-dire le choix raisonné des stratégies sensori-motrices induites par apprentissage. Sachant en outre que ces deux disciplines concourent à améliorer les facultés d'équilibration du pratiquant, il devient pertinent de déterminer laquelle de ces deux activités sportives conduit aux meilleures performances posturales, en comparant entre eux des danseurs de Ballet Classique et des judoka de niveau haut, les sportifs étant de surcroît comparer à des sujets témoins sains ne pratiquant aucune activité physique.

VIII-2 Sujets

Dix-sept danseurs professionnels du Ballet National de Nancy et de Lorraine, sélectionnés dans un contexte national et international, ont accepté de participer à notre étude.

Trente et un judoka de haut niveau, participant tous à des tournois fédéraux nationaux ou internationaux, ont également pris part à cette enquête. Dix-huit d'entre eux étaient Ceinture Noire, les 13 autres étant Ceinture de Couleur.

Quarante sujets sains ont formé le groupe témoin. Aucun d'entre eux ne pratiquait d'activités physiques à un niveau suffisamment élevé pour que celui-ci soit susceptible de modifier leur contrôle postural.

Aucune pathologie d'ordre neurologique ou orthopédique (instabilité fonctionnelle ou mécanique consécutive à des lésions ligamentaires, articulaires ou musculaires), ni dermatose plantaire n'a pu être décelée chez chacun d'entre eux dans les trois derniers mois.

VIII-3 Materiel & Procedure

Dans le cadre de l'examen de la statique des sujets, les déplacements du centre de pression des pieds (CPP) sont enregistrés durant 20 secondes, en condition YO et YF. Les paramètres de longueur (L) parcourue par les positions successives du CPP au cours de l'enregistrement, de surface (S) couverte lors de ces déplacements ainsi que les oscillations antéropostérieures et latérales sont recueillis. L'obtention de valeurs faibles aux paramètres L et S est une indication de la stabilité du sujet. La quantité d'énergie dépensée par le sujet pour réguler son état d'équilibre statique (coefficient XLS) et le quotient de Romberg sont également appréciés.

Lors de l'investigation dynamique, le sujet est soumis à un mouvement d'oscillations sinusoïdales lentes du support, dans le plan antéropostérieur, de $\pm 4°$ d'amplitude, à la fréquence de 0,5 Hz. Les déplacements linéaires du CPP et leur transformée de Fourier ont été enregistrés une 1ère fois pour chaque individu testé 20 secondes en conditions YO, puis 20 secondes YF.

VIII-4 STATISTIQUES

L'analyse de la variance (ANOVA) a été utilisée pour comparer judoka, danseurs et témoins dans le cadre de notre étude statique et le test du χ^2 pour comparer les performances de régulation posturale dynamique des 3 groupes de sujets.

VIII-5 RESULTATS

Lors de l'investigation statique menée en condition YO, l'analyse de la variance fait apparaître des différences significatives ($p<0,01$) entre les trois groupes évalués (judoka, danseurs, témoins), et ce, pour 3 des 6 paramètres étudiés (tableau IX). Une influence positive de la pratique d'activités physiques et sportives sur la fonction d'équilibration est donc révélée, les sportifs étant meilleurs que les témoins (judoka>danseurs>témoins).

Tableau IX : moyennes des paramètres posturographiques caractéristiques des populations de judoka, de danseurs et de témoins, obtenues lors de l'épreuve statique menée en condition yeux ouverts.

	Longueur /s (cm)	Surface /s (cm^2)	XLS	Oscillations A/P (cm)	Oscillations latérales (cm)	AP/Lat
Judoka	0,74±0,17	0,20±0,17	0,13±0,11	0,13±0,06	0,08±0,04	2,18±1,44
Danseurs	0,83±0,15	0,24±0,10	0,17±0,08	0,12±0,04	0,10±0,06	1,89±1,48
Témoins	0,87±0,18	0,31±0,11	0,23±0,10	0,13±0,05	0,10±0,07	2,08±1,76
	$F = 4,88$ **	$F = 5,86$ **	$F = 8,19$ **	$F = 0,12$ NS	$F = 1,21$ NS	$F = 0,19$ NS

Analyse de la variance : ** $p<0,01$, * $p<0,05$, NS non significatif

Les valeurs des paramètres L, S et XLS recueillies après occlusion palpébrale indiquent également des différences significatives ($p<0,01$) entre judoka, danseurs, et témoins, bien que la hiérarchie observée précédemment soit à présent modifiée (tableau X).

En effet, si les judoka sont toujours les sujets les plus performants dans le maintien d'un état d'équilibre stable, les danseurs ne parviennent plus, quant à eux, à maîtriser efficacement leur posture orthostatique après la perte de l'afférence visuelle, leurs résultats en termes de faculté de régulation posturale étant inférieurs à ceux des témoins, d'où judoka>témoins>danseurs. L'analyse du quotient de Romberg révèle en outre que les danseurs (QR=2,04±0,55) dépendent plus de la vision pour maintenir la position érigée immobile que les judoka (QR=1,43±0,30) et les témoins (QR=1,46±0,52), ($p<0,01$).

Tableau X : moyennes des paramètres posturographiques caractéristiques des populations de judoka, de danseurs et de témoins, obtenues lors de l'épreuve statique menée en condition yeux fermés.

	Longueur /s (cm)	Surface /s (cm^2)	XLS	Oscillations A/P (cm)	Oscillations latérales (cm)	AP/Lat
Judoka	1,13±0,31	0,36±0,31	0,36±0,44	0,23±0,11	0,09±0,05	3,46±3,47
Danseurs	1,71±0,63	0,68±0,52	0,86±0,88	0,26±0,13	0,20±0,13	2,38±2,85
Témoins	1,26±0,54	0,46±0,26	0,47±0,32	0,28±0,21	0,09±0,04	4,21±3,62
	F = 8,28 **	F = 10,31 **	F = 5,70 **	F = 0,77 NS	F = 18,43 **	F = 1,89 NS

Analyse de la variance : ** $p<0,01$, * $p<0,05$, NS non significatif

L'étude posturographique dynamique avec oscillations lentes ne conduit pas, quant à elle, aux mêmes résultats en fonction du groupe d'appartenance du sujet. En effet, si 100% des sportifs et 95% des témoins sont capables de maintenir leur état d'équilibre stable (tracé de type 1) en condition YO, peu d'entre eux parviennent à reproduire la même performance YF (77% des judoka, 41% des danseurs et 40% des témoins). Le test du χ^2 révèle une différence de coordination sensori-motrice significative ($p<0,05$) entre les 3 groupes. Ainsi les judoka réalisent les meilleures performances dynamiques en situation YF.

VIII-6 Discussion

Dans cette étude visant à comparer le contrôle postural de sportifs (danseurs & judoka) et celui de sujets témoins sédentaires, nos résultats indiquent que seuls les judoka sont parvenus à maintenir leur état d'équilibre stable en toute circonstance, c'est-à-dire avec ou sans (1) informations visuelles et/ou (2) mouvements du support. Les performances topocinétiques réalisées par les judoka confirment la redistribution des processus cognitifs et réflexes impliqués dans le maintien de la posture et développés par la pratique de cet art martial (Barrault, 1991a / Perrin *et al.*, 1998 / Perrot *et al.*, 1998).

Ainsi, l'utilisation d'une stratégie sensori-motrice particulière, impliquée dans la régulation des équilibres statique et dynamique, dépendrait du choix de signaux sensoriels (visuels, vestibulaires ou proprioceptifs) privilégiés pour détecter les divergences entre la posture souhaitée et celle réellement adoptée, tout en demeurant influencée par diverses expériences individuelles préalables (Horak & Nashner, 1986 / Massion, 1992).

Bien que l'utilisation d'informations sensorielles redondantes soit donc nécessaire pour pallier les perturbations de l'équilibre, et ce, indépendamment ou non de l'intention du sujet, il apparaît que les patrons dominants, impliqués dans la régulation sensori-motrice de la posture, demeurent individuels (Amblard & Crémieux, 1976). Ces différences semblent être induites par l'entraînement sportif (Mesure *et al.*, 1997). Nos résultats confirment que la Danse ou le Judo, généralement pratiqués pieds nus, tendent à améliorer les mécanismes de la fonction d'équilibration incriminés dans le maintien de la posture orthostatique, en condition YO.

Dans ces 2 disciplines sportives, le pied, du fait de son innervation fonctionnelle particulière (Enjalbert *et al.*, 1993 / Delagoutte & Mainard, 1997), constitue, à part entière, un organe sensoriel de l'équilibration capable de fournir aux CNS des

informations relatives tant aux contraintes externes (relation avec le sol) qu'internes (sens de position) essentielles au contrôle central de tout acte moteur (Okubo *et al.*, 1980 / Magnusson *et al.*, 1990 / Judet, 1993).

D'après Bessou *et al.* (1996) et Kavounoudias *et al.* (1998), les mécanorécepteurs plantaires de type 1 (décrits ailleurs) fournissent aux CNS des renseignements sur les détails des déformations cutanées créées par l'appui podal et sur la localisation précise des limites de cet appui. Ce sont des récepteurs superficiels dont la densité est maximale au niveau de la pulpe des orteils. Les postures adoptées par les danseurs lors des chorégraphies (pointe, demi-pointe) tendent donc à stimuler tout particulièrement cette zone du pied ; ainsi, la sollicitation quasi-exclusive de ces capteurs et l'amélioration de la sensibilité extéroceptive, liées à l'apprentissage du Ballet, permettraient donc d'expliquer les différences observées entre danseurs et témoins lors de l'épreuve statique menée en condition YO.

Contrairement au Ballet Classique, lors des *randori* de Judo, ce sont davantage les mécanorécepteurs plantaires de type 2, distribués uniformément sur toute l'étendue de la plante des pieds, qui fournissent préférentiellement aux CNS des signaux sensoriels caractéristiques des contraintes mécaniques externes imposées par les conditions de support telles que les forces gravitationnelles, le forces de réaction et les forces de cisaillement entre la peau et le sol. La stimulation exclusive de ces capteurs, répartis uniformément sous un pied qui « s'enfonce » dans le tapis de mousse (tatami), permettrait ainsi aux judoka de mieux apprécier leurs conditions de support, et par conséquent d'améliorer leurs facultés d'équilibre vis-à-vis de témoins ou d'autres sportifs.

De plus, dans les deux disciplines, les mécanorécepteurs podaux désignés ci-dessus peuvent aisément contrôler les contractions rapides et précises des muscles du

pied, assurant sa stabilité, et celle du corps en règle générale, d'autant plus que la stimulation plantaire s'intensifie (Enjalbert *et al.*, 1996 / Bessou *et al.*, 1996).

De ce fait, ces organes sensoriels plantaires contribuent largement au maintien de la position debout ainsi qu'à l'orientation et l'organisation globale du corps (Kavounoudias *et al.*, 1998), les afférences vestibulaires et visuelles n'acquièrant en fait elles-mêmes de signification, dans la fonction d'équilibration, qu'à la condition que les CNS puissent disposer d'une information sur la position de la tête par rapport au tronc et du tronc par rapport aux pieds (Bessou *et al.*, 1996).

La pratique pieds nus d'activités physiques et sportives permet donc aux athlètes, comparativement aux sujets témoins, d'apprécier plus facilement les variations de la distribution de la pression au niveau des pieds et donc de mieux maîtriser leur contrôle postural (Okubo *et al.*, 1980 / Magnusson *et al.*, 1990 / Borsa *et al.*, 1997), suggérant par conséquent que la proprioception joue un rôle important dans la régulation de la station verticale (Bles & De Wit, 1976 / Delagoutte & Mainard, 1997 / Perrin *et al.*, 1998 / Perrot *et al.*, 1998b).

Néanmoins, cette remarque ne demeure valable, chez les danseurs, que pour les épreuves réalisées en condition yeux ouverts. En effet, après occlusion palpébrale, et du fait même que l'apprentissage du Ballet Classique ne développe que des facultés d'équilibration spécifiques de la Danse et qui ne sont pas utilisables dans d'autres situations de la vie au quotidien (Hugel *et al.*, 1999), les performances des danseurs en termes de régulation des équilibres statique et dynamique sont inférieures à celles des témoins.

La vision est donc l'afférence préférentielle de la fonction d'équilibration chez les danseurs de Ballet (Crémieux & Mesure, 1992 / Crémieux *et al.*, 1995), ces derniers, visuels-dépendants, étant de surcroît moins prompts à commuter d'un système sensoriel à un autre (proprioception), bien que le contrôle de la posture et la rigidité corporelle

parfois requise lors des chorégraphies soient essentiellement assurés par une bonne coordination des muscles antagonistes et antigravitaires.

L'amélioration du contrôle de l'équilibre statique en condition yeux ouverts, liée à l'apprentissage de la Danse, paraît donc être la conséquence d'une meilleure maîtrise d'une stratégie d'équilibration spécifique fondée essentiellement sur les informations visuelles, et à un degré moindre, sur les signaux extéroceptifs.

A l'opposé, chez les témoins, le contrôle de la position orthostatique semble dépendre davantage de l'évaluation multisensorielle de la chaîne posturale, sans prévalence d'une entrée sensorielle en particulier (Debu & Woollacott, 1988 / Mesure *et al.*, 1997)

Dans une situation dynamique d'affrontement de deux judoka, tous les récepteurs musculaires, articulaires et cutanés sont stimulés du fait des modifications permanentes de posture, d'appui et de zones de contact avec le sol et le partenaire, de positions et d'angles articulaires et d'activité et de tension musculaires. Ainsi, le contrôle rigoureux de la posture, déterminant pour la précision et l'efficacité des techniques spécifiques de cet art martial, dépend fortement de l'intégrité des afférences proprioceptives.

En outre, (1) des contacts permanents, pieds posés à plat, avec le sol lors des déplacements, (2) une longueur de pas faible, (3) un écartement des pieds important dans le plan sagittal, (4) une durée relative de l'appui unipodal réduite (Bril, 1996), et (5), la saisie du kimono du partenaire avec les deux mains sont des spécificités comportementales et motrices qui pourrait être interprétées comme caractéristiques de la solution adoptée par les judoka pour minimiser leur déséquilibre en *randori*.

Les zones d'appui préférentielles des judoka, telles que les mains (face palmaire) et les pieds (face plantaire), permettent donc une perception consciente (impliquée dans le schéma corporel) des états mobiles et immobiles de différents segments du corps, et

ce, indépendamment des signaux rétiniens. Ainsi, la peau, grâce à sa double matrice d'analyse horizontale et verticale qui prend en considération toutes les contraintes internes et externes auxquelles est soumis le sujet, est un remarquable système de transfert d'informations afférentes statiques, dynamiques et cinématiques caractéristiques de la mobilité corporelle (Rabischong, 1996). Les judoka de haut niveau, entraînés à percevoir les moindres déplacements de leur adversaire durant les *randori*, réagissent donc instantanément au déséquilibre par une action d'une logique essentiellement pratique résultant de la programmation centrale des ajustements posturaux et fondée sur l'expérience (Dichgans & Diener, 1989 / Perrin *et al.*, 1998 / Perrot *et al.*, 1998a et b).

L'amélioration du contrôle de l'équilibre, liée à la pratique du Judo, paraît être la conséquence d'une meilleure maîtrise des stratégies d'équilibration originelles propres à chacun d'entre nous, et plus particulièrement de la stratégie de coordination sensori-motrice dite *de cheville* (Nashner, 1985 / Horak & Nashner, 1986) fondée essentiellement à partir des informations somatosensorielles (Mesure *et al.*, 1997 / Perrin *et al.*, 1997 / Perrin *et al.*, 1998). Nos résultats corroborent en outre ceux de Vranken & Willens (1976) pour lesquels les perceptions visuelles n'ont qu'une importance mineure dans la régulation automatique de la posture en cas de déstabilisation lente quantifiée.

Enfin, il convient également de noter que les personnes âgées dépendent de manière prépondérante de l'afférence visuelle pour maintenir leur état d'équilibre stable (Pyykkö *et al.*, 1988 / Straube *et al.*, 1988), par rapport aux signaux proprioceptifs dont le rôle semble s'amenuiser avec l'âge (Schiano *et al.*, 1988), alors que la pratique courante et continue d'activités physiques et sportives permet de maintenir à un niveau constant le rôle du canal somatosensoriel chez les sujets les plus âgés, comme l'ont montré Perrin *et al.* (1999). Les danseurs classiques (sportifs visuels-dépendants) et les

personnes âgées (sujets visuels-dépendants) privilégient donc des stratégies de coordination sensori-motrice fondées essentiellement sur les signaux rétiniens ; ces dernières sont particulièrement adaptées pour toutes les épreuves menées YO, mais ne permettent pas aux différents sujets ni de conserver un état d'équilibre stable après occlusion palpébrale, ni de commuter efficacement d'une entrée sensorielle vers une autre.

VIII-7 Conclusion

Nos résultats confirment que l'œil, en tant qu'entrée de la fonction d'équilibration, est l'organe sensoriel privilégié par les danseurs de Ballet Classique pour réguler leur état d'équilibre vis-à-vis des témoins. De plus, et pour les seules épreuves menées en condition yeux ouverts, les différentes positions des pieds inhérentes à la réalisation de techniques et figures spécifiques de la Danse semblent favoriser conjointement l'utilisation de stratégies d'équilibration (secondaires) fondées sur les signaux plantaires. Cette étude indique aussi que l'apprentissage du Judo conduit, en toute circonstance, aux meilleures performances en termes de régulation posturale, cet art martial permettant aux combattants de privilégier la proprioception comme étant la composante essentielle du contrôle postural au quotidien, tout en favorisant la commutation des entrées sensorielles entre elles lorsque celle-ci s'impose. Enfin, indépendamment de la discipline, la stratégie sensori-motrice la plus appropriée à la tâche semble reposer sur une afférence particulière et sur l'information sensorielle sélectionnée et intégrée au cours de la pratique sportive comme l'analyse des examens posturographiques des pratiquants de ces deux *arts* semble l'indiquer.

L'entraînement au Judo conduit donc à une optimisation de la régulation posturale par le biais d'une meilleure perception sensorielle, d'une intégration centrale plus rapide des données proprioceptives et extéroceptives et par un contrôle moteur performant et adapté. L'efficacité topocinétique et morphocinétique des judoka repose donc en partie sur l'intégrité des afférences et efférences proprioceptives. Cependant, le Judo, sport de combat, est pourvoyeur de traumatismes plus ou moins graves au niveau du membre inférieur. Leurs conséquences sur la fonction d'équilibration restent en fait à déterminer.

-IX- PROTOCOLE 5 : TRAUMATOLOGIE DU JUDOKA ET CONTRÔLE POSTURAL

Ce travail a fait l'objet d'un article, en langue Anglaise, soumis à publication et ***réexpédié après révisions***.

IX-1 Rappels

La pratique sportive permet l'acquisition de nouvelles facultés d'adaptations physiologiques, biomécaniques et psychologiques propres à la discipline considérée, tout en accroissant le rôle de la proprioception par le biais du développement généralisé et harmonieux de l'ensemble des tissus du système locomoteur. Cependant, des gestuelles sportives, intensément réalisées ou subies, peuvent conduire à diverses lésions ou pathologies traumatiques.

Ainsi, l'appareil locomoteur paie un lourd tribut à la pratique sportive (Setton & Pécout, 1994). Les facteurs étiologiques à rechercher systématiquement devant une pathologie traumatique inhérente à la pratique du Judo sont représentés par (1) une erreur d'échauffement, (2) des contraintes anormales itératives, (3) une surcharge de l'activité sportive, (4) une altération du pouvoir amortissant du tapis (tatami), (5) des exercices et chutes sur sol dur, (6) des affections individuelles prédisposantes (troubles statiques, neuromusculaires, ...), (7) une modification rapide et récente du poids et (8) des perturbations réactionnelles psychiques (motivation, vigilance, pression liée à l'événement, ambiance familiale et sportive, ...), (Mc Ginty *et al.*, 1991 / Barrault, 1991b / Shoilev, 1992 / Danowski & Chanussot, 1996 / Buchwalter & Lane, 1997).

En outre, l'ensemble des pathologies traumatiques des membres inférieurs et du rachis interfère sur la stratégie d'équilibration (Pélissier *et al.*, 1993 / Perrin *et al.*, 1997). En effet, toute altération des structures stabilisatrices musculaires et capsulo-ligamentaires conduit à une instabilité fonctionnelle ou mécanique du segment lésé, à une déafférentation proprioceptive partielle ou totale et à une perte de sensibilité de la structure incriminée ainsi qu'à une régulation inadéquate du contrôle postural (Tropp *et*

al., 1985 / Shoilev, 1992 / Pintsarr *et al.*, 1996 / Lephart *et al.*, 1997 / Melham *et al.*, 1998), l'imperfection de l'acte moteur étant la conséquence de la dépréciation des mécanismes de feedback sensoriel (Borsa *et al.*, 1997).

Les conséquences sur les différentes composantes de la fonction d'équilibration des pathologies traumatiques liées à la pratique du Judo ont donc été appréciées à partir d'examens posturographiques. Ceux-ci ont visé à apprécier les qualités d'équilibre des judoka aux antécédents traumatiques (JAT) comparativement à celles de judoka sains (JS), c'est-à-dire exempts de toute pathologie du membre inférieur.

IX-2 Sujets

Parmi les 31 judoka qui ont participé à cette étude, 19 d'entre eux (JAT) ont présenté, au cours de leur carrière sportive, diverses pathologies traumatiques liées aux exigences de la discipline lors des entraînements et des compétitions (voir tableau 1, page 22).

L'anamnèse de la population des JAT nous a donc conduit à différencier trois sous-groupes en fonction des accidents traumatiques et des moyens prophylactiques utilisés pour renforcer le canal proprioceptif de l'élément anatomique lésé.

Le 1er groupe (SG 1) rassemble 6 JAT pour lesquels le port de contentions adhésives souples pendant de brèves périodes temporelles a suffi pour induire efficacement l'analgésie, l'indolence et la guérison des pathologies, toutes bénignes, localisées à la cheville dans 5 cas.

Le 2ème groupe (SG 2) est composé de 6 JAT présentant des traumatismes, bénins, nombreux et divers (articulaires, musculaires, ...) et localisés aux différents étages du membre inférieur (pied, cheville, tibia, genou, fémur).

Enfin, le 3eme groupe (SG 3) est constitué de 7 JAT dont le traitement des pathologies (graves) a reposé, dans tous les cas, sur le port initial de contentions rigides,

puis sur une rééducation fonctionnelle et proprioceptive de l'élément anatomique lésé. Une intervention chirurgicale s'est parfois révélée nécessaire.

IX-3 Materiel & Procedure

Dans le cadre de l'examen de la statique des judoka, les déplacements du centre de pression des pieds (CPP) sont enregistrés durant 20 secondes, en condition YO et YF. Les paramètres de longueur (L) parcourue par les positions successives du CPP au cours de l'enregistrement, de surface (S) couverte lors de ces déplacements ainsi que les oscillations antéropostérieures et latérales sont recueillis. L'obtention de valeurs faibles aux paramètres L et S est une indication de la stabilité du sujet. La quantité d'énergie dépensée par le sujet pour réguler son état d'équilibre statique (coefficient XLS) et le quotient de Romberg sont également appréciés.

Lors de la 1ère investigation dynamique, le judoka est soumis à un mouvement d'oscillations sinusoïdales lentes du support dans le plan antéropostérieur, de $\pm 4°$ d'amplitude, à la fréquence de 0,5 Hz. Les déplacements linéaires du CPP et leur transformée de Fourier ont été enregistrés une 1ère fois pour chaque individu testé 20 secondes en conditions YO, puis 20 secondes YF.

La 2ème investigation posturographique dynamique, rapide, a permis d'enregistrer par électromyographie intégrée de surface l'activité de 2 muscles antigravitaires antagonistes, le muscle *Triceps Surae* (TS) et le muscle *Tibialis Anterior* (TA) impliqués dans les réactions posturales.

Les conséquences des accidents traumatiques sur le contrôle postural statique et dynamique du judoka ont été appréciées en comparant la population des JAT à celle des JS, mais également en comparant les 3 sous-groupes de JAT entre eux.

IX-4 STATISTIQUES

L'analyse de la variance et les tests de Mann-Whitney, de Student-Fisher et du χ^2 ont été utilisés pour comparer les performances d'équilibre statique et dynamique réalisées par les différentes populations de judoka (JAT vs JS / SG1 vs SG2 vs SG3) en condition YO et YF.

IX-5 RESULTATS

Lors des investigations statiques menées en condition YO, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre JAT et JS, et ce, quels que soient les paramètres étudiés (tableau XI), excepté pour les oscillations antéropostérieures.

Tableau XI : médianes des paramètres posturographiques caractéristiques des populations de judoka sains (JS) et de judoka aux antécédents traumatiques (JAT) obtenues lors de l'épreuve statique menée en condition yeux ouverts.

	Longueur /s (cm)	Surface /s (cm^2)	XLS	Oscillations A/P (cm)	Oscillations latérales (cm)	AP/Lat
JS	0,74	0,19	0,13	0,14	0,08	2,30
JAT	0,71	0,12	0,09	0,12	0,07	1,72
	z = -1,04 NS	z = -1,51 NS	Z = -1,73 NS	z = -2,1 *	z = -2,4 NS	z = -1,22 NS

Test U de Mann-Whitney : * $p<0,05$, NS non significatif

Cependant, après occlusion palpébrale, des différences hautement significatives ont été observées entre ces 2 populations de judoka, les JAT paraissant moins perturbés par la perte de l'afférence visuelle (tableau XII, Fig. 8), comme l'indiquent les valeurs du quotient de Romberg (JS : 1,67 / JAT : 1,32 / z=-2,62 / $p<0,01$).

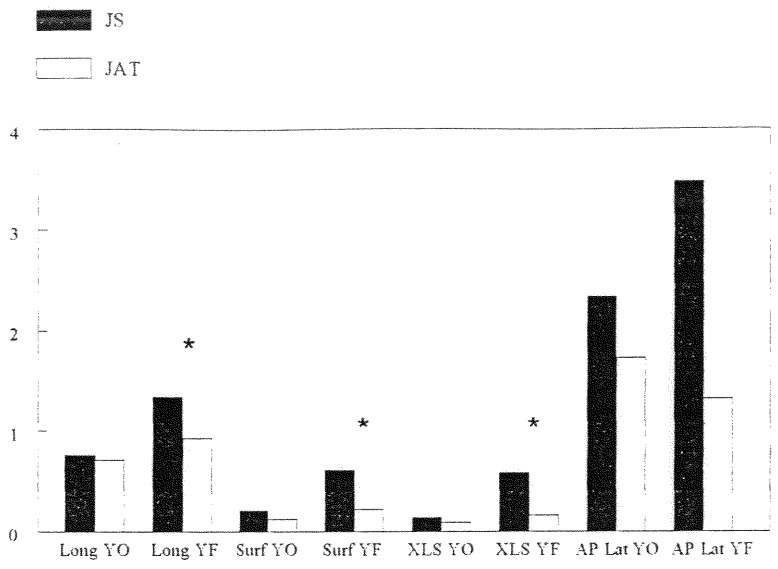


Fig. 8 :

Valeurs moyennes des paramètres de longueur (Long) et de surface (Surf) parcourues par le centre de pression des pieds, de dépense d'énergie (XLS) et d'inclinaison préférentielle (AP/Lat) des judoka sains (JS) et des judoka aux antécédents traumatiques (JAT) lors des épreuves statiques menées en condition yeux ouverts (YO) et yeux fermés (YF). * $p<0,05$.

Tableau XII : médianes des paramètres posturographiques caractéristiques des populations de judoka sains (JS) et de judoka aux antécédents traumatiques (JAT) obtenues lors de l'épreuve statique menée en condition yeux fermés.

	Longueur /s (cm)	Surface /s (cm^2)	XLS	Oscillations A/P (cm)	Oscillations latérales (cm)	AP/Lat
JS	1,34	0,61	0,58	0,31	0,09	3,48
JAT	0,93	0,22	0,16	0,17	0,07	3,03
	z = -2,73 **	z = -2,73 **	z = -3 **	z = -2,52 **	z = -1,3 NS	z = -0,96 NS

Test U de Mann-Whitney : ** $p<0,01$, * $p<0,05$, NS non significatif.

Par ailleurs, l'étude des valeurs du paramètre L uniquement, obtenues en condition YO, permet de comparer les 3 sous-groupes de JAT entre eux (hiérarchie inter-groupes) et, de plus, de mettre en évidence les conséquences sur le contrôle de l'équilibre statique des différentes pathologies traumatiques (hiérarchie intra-groupe).

En effet, l'analyse statistique des valeurs moyennes de longueur par seconde (0,57±0,08 cm/s), (0,71±0,03 cm/s) et (0,88±0,13 cm/s), obtenues respectivement pour les groupes 1, 2 et 3 de JAT, révèle une différence inter-groupe très significative ($p<0.001$). Il apparaît en outre que les valeurs du paramètre L s'ordonnent à la fois au sein d'un même groupe (hiérarchie intra-groupe), mais également pour l'ensemble de la population de JAT (Fig. 9). Cette constatation demeure valable pour l'investigation menée YF bien que les différences observées (0,98±0,26 cm/s), (1,04±0,09cm/s) et (1,07±0,11 cm/s), ne soient plus significatives.

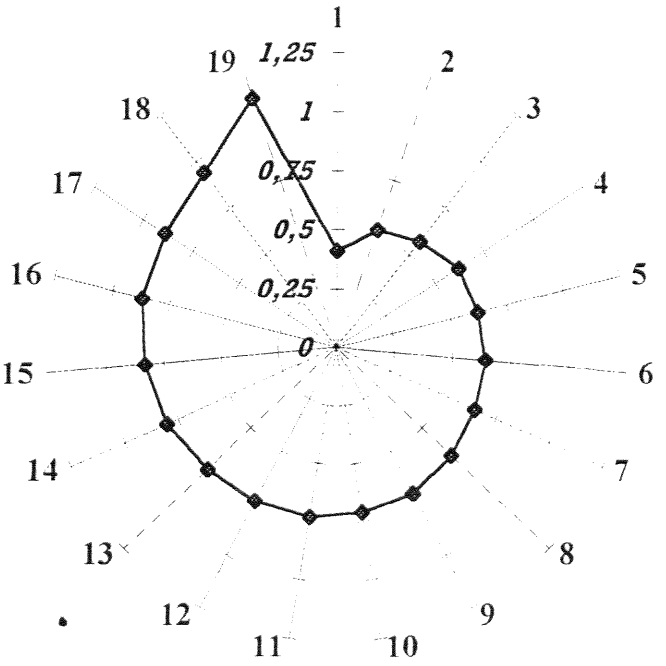


Fig. 9 : Longueur par seconde (cm) des déplacements du centre de pression des pieds obtenue chez les trois groupes de judoka aux antécédents traumatiques lors de l'épreuve statique menée en condition yeux ouverts. *Groupe 1* : sujets 1 à 6 ; *Groupe 2* : sujets 7 à 12 ; *Groupe 3* : sujets 13 à 19.

L'étude posturographique dynamique avec oscillations lentes ne conduit pas, quant à elle, aux mêmes résultats en fonction du groupe d'appartenance du judoka. En effet, si tous les sujets sont capables de maintenir leur état d'équilibre stable (tracé de type 1) en condition YO, peu d'entre eux parviennent à reproduire la même performance YF (79% des JAT, 66,6% des JS). Ainsi les JAT réalisent les meilleures performances dynamiques en situation YF (p=0,001). La hiérarchie évoquée plus haut semble donc se confirmer (JAT>JS en termes de faculté de régulation de l'équilibre). Enfin, seul 2 binômes de JAT, appartenant respectivement aux groupes SG 2 et SG 3, ne sont pas parvenus à conserver leur état d'équilibre stable après occlusion palpébrale.

La seconde investigation dynamique (EMG), quant à elle, ne révèle aucune différence significative, et ce, indépendamment du groupe de judoka considéré (tableaux XIIIa et XIIIb).

Tableau XIIIa : valeurs moyennes des latences (ms) des réponses de latence courte (RLC), moyenne (RLM) et longue (RLL) enregistrées chez les judoka aux antécédents traumatiques (JAT) et chez les judoka sains.

	RLC	RLM	RLL
	Latence (ms)	Latence (ms)	Latence (ms)
JAT	32,55±2,59	87,1±5,53	108,65±7,22
Judoka sains	32,37±1,74	86,72±6,34	114±13,64
	NS	NS	NS

Test *t* de Student-Fisher : NS non significatif.

Tableau XIIIb : valeurs moyennes des latences (ms) des réponses de latence courte (RLC), moyenne (RLM) et longue (RLL) enregistrées chez les 3 sous-groupes (SG1, SG2 et SG3) de judoka aux antécédents traumatiques.

	RLC	RLM	RLL
	Latence (ms)	Latence (ms)	Latence (ms)
SG1	32,85±2,92	87,9±2,73	107,9±5,38
SG2	34,15±2,49	88,5±5,92	110,6±7,47
SG3	31,41±2,21	85±4,32	107,4±5,12
	NS	NS	NS

Analyse de la variance : NS non significatif.

IX-6 Discussion

La localisation, la fréquence, ou la diversité des traumatismes et le traitement physiothérapique utilisé pour restaurer l'intégrité mécanique et fonctionnelle de l'élément anatomique lésé, ont une incidence faible sur les facultés de régulation posturale, alors que la gravité de cette pathologie, liée à la pratique du Judo, est le paramètre le plus préjudiciable à la fonction d'équilibration.

En fait, l'entraînement sportif, quel qu'il soit, conduit à l'acquisition de nouveaux programmes et enchaînements moteurs, à l'amélioration des facultés d'intégration des CNS ainsi qu'à l'optimisation de l'état d'équilibre du pratiquant, sous certaines conditions d'apprentissage difficiles (Hu & Woollacott, 1994a / Perrin *et al.*, 1998 / Perrot *et al.*, 1998b). D'autre part, les positions du CPP demeurent fortement influencées par divers facteurs tels que (1) les caractéristiques biomécaniques et fonctionnelles du système postural, (2) le type d'informations sensorielles privilégié à partir duquel sont fondées les stratégies de coordination sensori-motrice individuelles, (3) l'état psychophysiologique et émotionnel du sportif et (4) les facultés d'adaptation du sujet aux épreuves et contraintes environnementales (Litvinenkova & Hlavacka,

1972 / Pedotti, 1992 / Mesure *et al.*, 1994 / Perrin & Perrin, 1996 / Handford *et al.*, 1997 / Perrot *et al.*, 1998a).

Dans le cadre de la pratique du Judo, l'entraînement au combat sur sol mou permet à chaque adversaire d'affiner ses qualités extéro-proprioceptives par le biais d'une stimulation permanente des divers récepteurs cutanés, d'une activation généralisée des fuseaux neuromusculaires et d'une modification du tonus musculaire, favorisant ainsi l'intégration de l'activité motrice dans son ensemble fonctionnel (Enbom *et al.*, 1988). Les qualités proprioceptives apparaissent donc déterminantes dans la performance du judoka (Barrault, 1991c).

Cependant, les traumatismes capsulo-ligamentaires et musculaires, associés aux modifications ostéo-arthritiques qu'ils engendrent, induisent une destruction des structures anatomiques renfermant les mécanorécepteurs (Lephart *et al.*, 1997 / Buckwalter & Lane, 1997). La perte d'afférences proprioceptives ainsi constatée, liée à la diminution du nombre de récepteurs, conduit à une diminution de sensibilité des segments lésés dont les conséquences sont, en outre, (1) une instabilité fonctionnelle et mécanique du système postural (le tissu cicatriciel étant de moins bonne qualité mécanique que le tissu originel), (2) des positions corporelles anormales, (3) une altération des réponses réflexes posturales et (4) des valeurs stabilométriques particulièrement élevées (Gross, 1987 / Tropp & Odenrick, 1988 / Shoilev, 1992 / Foidart-Dessale *et al.*, 1993 / Danowski & Chanussot, 1996 / Pintsarr *et al.*, 1996 / Borsa *et al.*, 1997). Il est par ailleurs établi, qu'en condition YO, des sportifs au passé traumatique articulaire présentent des valeurs significativement plus élevées pour le paramètre S que celles du groupe témoin (Perrin *et al.*, 1997). Lors des épreuves statiques, la proprioception semble donc jouer un rôle important dans la régulation de la station verticale (Bles & De Wit, 1976).

D'après nos résultats, les JAT parviennent à maîtriser leur état d'équilibre tant statique que dynamique aussi bien, sinon mieux, que les JS auxquels ils ont été comparés. L'obtention de valeurs faibles aux paramètres L et S des déplacements du CPP des JAT lors des épreuves statiques est, néanmoins, un résultat qui diverge de ceux des travaux précédemment cités (Foidart-Dessale *et al.*, 1993 / Pintsarr *et al.*, 1996 / Borsa *et al.*, 1997).

Cependant, et bien qu'aucune valeur stabilométrique aberrante n'ait été recueillie lors des investigations posturographiques statiques (YO et YF) des JAT, il apparaît toutefois que la gravité et la diversité des traumatismes, entre autres, ont des conséquences posturales différentes (mises en évidence par les hiérarchies inter-individuelles et inter-groupes).

En effet, les lésions anatomiques bénignes - prises isolément - (SG 1) ne semblent pas altérer, à long terme, les fonctions mécaniques et proprioceptives de l'élément concerné (absence de séquelles), et ce, que le traumatisme touche les phalanges, le calcanéum ou l'articulation tibio-astragalienne. En revanche, des pathologies diverses et nombreuses du membre inférieur (entorses, tendinopathies, contusions et déchirures musculaires, ...), mêmes bénignes, induisent une dégradation des facultés de régulation de l'équilibre statique, sans pour autant conduire à des déplacements du CPP anormalement importants (SG 2). Seuls les judoka du SG 3, dont le traitement thérapeutique des pathologies traumatiques graves a reposé sur le port de contentions rigides et sur une rééducation fonctionnelle et proprioceptive adéquate (kinésithérapie), éprouvent quelques difficultés à maintenir de façon optimale leur état d'équilibre orthostatique stable, bien qu'autorisés à reprendre leur entraînement depuis plus de 3 mois. Par conséquent, des lésions sévères, nombreuses et variées, ne permettent pas au sportif de recouvrer totalement son état initial de performance (Melham *et al.*, 1998).

Ainsi, la gravité de la pathologie, liée à la pratique sportive, est davantage préjudiciable à la fonction d'équilibration que la localisation, la fréquence ou la diversité des traumatismes.

Par ailleurs, le rôle postural du genou dans le maintien de la station érigée immobile est apprécié, l'intégrité fonctionnelle et mécanique de cette articulation permettant en effet aux JAT du SG 1 de mieux assurer leur équilibre orthostatique comparativement aux judoka des sous-groupes 2 et 3 respectivement.

Les pathologies traumatiques musculaires et ostéo-articulaires ne semblent pas, par ailleurs, altérer les facultés de régulation posturale dynamique ni les stratégies de coordination sensori-motrice des JAT, leurs performances étant, à titre d'exemple, les meilleures lors de l'épreuve dynamique d'oscillations sinusoïdales lentes réalisée en condition YF.

Dès lors, et bien qu'une déficience du contrôle proprioceptif soit manifeste chez les sportifs aux antécédents traumatiques (Mc Ginty *et al.*, 1991 / Danowski & Chanussot, 1996), il semblerait que les forces de réaction et les propriétés viscoélastiques des tissus musculaires, articulaires et cutanés au niveau de la cheville soient généralement suffisantes pour contrebalancer les oscillations corporelles (Nashner *et al.*, 1989 / Horak *et al.*, 1990 / Nardone *et al.*, 1990 / Do *et al.*, 1991 / Konradsen *et al.*, 1997), l'entrée vestibulaire suppléant l'entrée somesthésique en l'absence d'informations visuelles interprétables (YF), (Kapteyn, 1972 / Amblard & Crémieux, 1976 / Horak *et al.*, 1994 / Perrin *et al.*, 1997). Un entraînement multisensoriel est donc nécessaire pour améliorer le contrôle postural en l'absence d'informations proprioceptives pertinentes (Hu & Woollacott, 1994a).

Cependant, le Judo, du fait de sa pratique pieds nus sur sol mou, et tout en augmentant le risque de blessure, accroît principalement les sensations podales (Brondani, 1991 / Barrault, 1991c), l'extéroception étant davantage susceptible

d'acquisition que le système labyrinthique. La plante des pieds, lien indispensable entre l'individu et son support, est donc une source capitale d'informations pour le système de régulation de l'équilibre (Magnusson *et al.*, 1990 / Enjalbert *et al.*, 1993 / Trilles *et al.*, 1995 / Enjalbert *et al.*, 1996 / Delagoutte & Mainard, 1997).

D'autre part, les enchaînements gestuels des judoka génèrent des variations de la distribution de la pression au niveau des pieds, la stimulation des baro- et mécanorécepteurs contribuant activement au contrôle postural (Okubo *et al.*, 1980 / Magnusson *et al.*, 1990). Les déplacements des judoka et les variations permanentes de leurs appuis modifient donc sans cesse les sollicitations sur les récepteurs cutanés en contact direct ou indirect (tapis de mousse) avec le sol, provoquant ainsi des trains de potentiel d'action en modulation de fréquence, véhiculés le long des nerfs sensitifs vers les CNS (Okubo *et al.*, 1980 / Barrault, 1991c / Borsa *et al.*, 1997). Ces décharges phasiques afférentes cutanées plantaires activent alors les réflexes polysynaptiques spinaux ainsi que les boucles réflexes supraspinales et cérébrales impliquées dans le maintien de l'équilibre (Kleiber *et al.*, 1990 / Do *et al.*, 1990 / Do *et al.*, 1991). Ces dernières associent (1) les récepteurs labyrinthiques de l'oreille interne, mis à contribution pour permettre au judoka de maintenir son équilibre et d'apprécier les déplacements de son corps (Barrault, 1991a), et (2) l'aire dorso-caudale du noyau de Deiters, dévolue au contrôle des positions et relations des membres inférieurs et du tronc. Associée au système vestibulaire et au tronc cérébral, elle participe, par biofeedback, à la régulation motrice des segments corporels sus-cités (De Wit, 1972).

L'amélioration de l'équilibre, à la fois pendant et après l'entraînement, par apprentissage et maîtrise de la locomotion, semble donc résulter de la modification de nombreux mécanismes neuronaux impliqués dans la fonction posturale, consécutivement à une amélioration de la sensibilité des récepteurs somatiques et vestibulaires et/ou des processus d'intégration sensorielle (Hu & Woollacott, 1994b).

Tous ces arguments ne permettent cependant pas d'expliquer la hiérarchie entre JAT et JS, les 2 populations participant au même type d'entraînement.

Cette apparente discordance peut résulter du fait qu'une déficience du contrôle proprioceptif accroît la vigilance des sujets récemment blessés puisque ceux-ci adoptent des postures inhabituelles (Whittington *et al.*, 1976 / Mc Ginty *et al.*, 1991 / Iso-Ahola, 1992). Les CNS au niveau desquels est générée la commande motrice assurent donc la prise de conscience des positions et gestuelles corporelles (Kelso, 1995 / Lephart *et al.*, 1997 / Handford *et al.*, 1997). Cet accroissement de la vigilance et de l'attention sélective de la part des JAT, dans le but initial de protéger l'articulation ou le groupe musculaire lésés, conduit au développement de nouvelles stratégies de régulation posturale (par commutation d'une entrée sensorielle à une autre ou par un changement radical de garde ou de techniques), et au remodelage du système nerveux central, en termes de compensation comme en termes de schéma corporel (remaniement de la posture en fonction d'une représentation mentale plus élaborée), le port de contentions souples assurant de surcroît un renforcement proprioceptif (Calmels *et al.*, 1993) nécessaire à la mise en place de ces nouveaux programmes centraux.

Dès lors, l'utilisation des réseaux nerveux corticaux permet la réalisation de nouveaux ajustements et enchaînements moteurs (répétés, acquis et intégrés) pour lesquels l'intervention de la conscience n'est plus, à plus ou moins long terme, obligatoirement nécessaire (Lephart *et al.*, 1997). Ainsi, l'acquisition par les JAT de nouvelles habiletés sensori-motrices pourrait conduire à des performances supérieures (Whittington *et al.*, 1976 / Iso-Ahola, 1992 / Handford *et al.*, 1997).

L'apprentissage extéro-proprioceptif, par un renforcement entre autres de la sensibilité plantaire, scapulaire et brachiale en Judo, et la qualité des informations sensorielles traitables par le système permettent de telles fonctions : avec les répétitions, progressivement, par un entraînement régulier, seul ou associé à son partenaire, le

judoka affine sa technique gestuelle, la programmation de l'activité devenant de plus en plus automatisée et ajustée (Barrault, 1991a). Les JAT se sont montrés les plus aptes à commuter rapidement d'un canal sensoriel à un autre. La hiérarchie établie (JAT>JS) résulte alors de la plus grande faculté d'adaptation sensorielle et cognitive des JAT à de nouvelles contraintes (environnementales ou liées aux pathologies traumatiques).

IX-7 Conclusion

Bien que des pathogénies soient inhérentes à la pratique du Judo, il n'en demeure pas moins vrai que cette activité physique martiale permet au pratiquant d'acquérir des qualités certaines en matière de régulation posturale (centrale et périphérique). L'efficacité motrice du judoka repose en réalité sur le fait que le Judo se pratique à deux, chaque sujet contribuant à la progression technique de son partenaire (accroissement de la stabilité, optimisation des ajustements posturaux, perception du moindre déplacement, ...) par le biais d'affrontements intenses forgeant à la fois le corps (développement musculaire généralisé et harmonieux, renforcement de la trame osseuse, accroissement de la souplesse articulaire, ...) et « l'esprit » (vigilance, attention sélective, stratégie de prise de décision, intention, ...), (Iso-Ahola, 1992 / Kelso, 1995).

Nos résultats indiquent que l'apprentissage du Judo, sport extrêmement riche en stimulations proprioceptives et extéroceptives, conduit le sujet à privilégier le canal somatosensoriel comme vecteur de la fonction posturale, les pathologies traumatiques semblant conduire, quant à elles, à l'amélioration des facultés de commutation sensorielle chez les JAT.

Si l'ensemble des lésions citées dans le cadre de cette étude n'est donc pas préjudiciable à la pratique optimale du Judo, par le biais d'une régulation posturale assurée, il n'en demeure pas moins essentiel de souligner la prépondérance des mesures de prévention à respecter dans les sports de contact, soient (1) le port de protection(s),

(2) le respect des règles, de l'adversaire et des consignes de sécurité, (3) l'aménagement des abords du tatami, ... (Trilles, 1991 / Danowski & Chanussot, 1996 / Buckwalter & Lane, 1997).

Ainsi l'apprentissage du Judo contribue à augmenter les facultés d'adaptation sensori-motrice des combattants en s'appuyant sur les processus cognitifs et réflexes sollicités dans l'action et intrinsèquement liés au type d'afférences sensorielles privilégiées.

-X- CONCLUSION GENERALE

L'ensemble de ces travaux se proposait de vérifier si l'entraînement spécifique au Judo était susceptible d'optimiser le contrôle postural, tant statique que dynamique, chez des sujets expérimentés, en essayant de montrer le rôle respectif des différentes entrées sensorielles de la fonction d'équilibration. L'analyse de chacun des paramètres étudiés a en fait révélé que l'apprentissage du Judo améliore le contrôle de l'équilibre (au propre comme au figuré) par une maîtrise supérieure de son corps dans l'espace.

La prépondérance des déplacements antéropostérieurs par rapport aux déplacements latéraux, mise en évidence pour chacun des tests statiques et pour toutes les populations étudiées (judoka, danseurs, témoins), peut s'expliquer par le nombre de degrés de liberté articulaires impliqués, plus important dans le plan sagittal (articulations tibio-astragalienne, tibio-fémorale, coxo-fémorale, vertébrale, ...) que dans le plan frontal. Toutefois, et uniquement chez les judoka les plus lourds testés en position de garde, les oscillations latérales sont supérieures aux oscillations antéropostérieures. Ceci peut être corrélé au type de projections utilisées, et propres à chaque catégorie de poids, à savoir que les judoka de plus de 80 kg, du fait de leur gabarit et/ou de leur masse, adhèrent plus facilement aux mouvements de balayage ou fauchage - dans le plan latéral - alors que les judoka plus légers utilisent davantage en compétition les mouvements d'épaule ou de hanche - dans le plan antéropostérieur.

Le coefficient XLS indique, quant à lui, que la quantité d'énergie dépensée pour maintenir un état d'équilibre stable est réduite chez les judoka comparativement à leurs témoins, et ce, indépendamment des contraintes imposées par les différents protocoles. L'apprentissage du combat permet donc aux judoka de mieux gérer leur dépense d'énergie en toute circonstance.

L'ensemble des tests posturographiques, statiques et dynamiques, réalisés en condition YF, corrobore ces faits et révèle en outre, comme l'ont déjà démontré Mesure & Crémieux (1992) avec leur propre modèle expérimental, que les judoka ne sont pas particulièrement perturbés par l'occlusion palpébrale, contrairement aux différents sujets auxquels ils ont été confrontés (danseurs, témoins).

Néanmoins, cette constatation, déduite à partir de la normalité du quotient de Romberg, ne demeure valable que pour la position imposée (orthostatique stable) au cours de ces épreuves, et ne peut être généralisée à d'autres postures, à l'exception de celles rencontrées sur tatami, à l'entraînement comme en compétition. En effet, les zones d'appui préférentielles des judoka – en garde -, telles que les mains (face palmaire) et les pieds (face plantaire), permettent une perception consciente (impliquée dans le schéma corporel) des états mobiles et immobiles de différents segments du corps, et ce, indépendamment des signaux rétiniens. En fait, progressivement, le judoka devient capable de répondre « automatiquement » à diverses stimulations proprioceptives, avec justesse et promptitude. Par conséquent, le Judo peut être pratiqué sans information visuelle, comme semblent l'imposer certains entraîneurs au cours des séances d'*uchi-komi* (rapides répétitions des tous premiers stades d'une technique martiale) ou de *kakari-geiko* (développement par la confrontation souple de l'esprit offensif ou défensif du judoka) ; ces exercices dynamiques, pour lesquels la déstabilisation du partenaire est générée au niveau du tronc et non plus du sol, demeurent néanmoins à explorer. Par ailleurs, il s'avère que les personnes malvoyantes, amblyopes ou aveugles peuvent pratiquer un Judo presque complet et bénéficier de ses bienfaits physiques, psychologiques et sociaux (Barrault *et al.*, 1991 / Crémieux *et al.*, 1995).

Ainsi les pratiquants d'arts martiaux adoptent-ils la stratégie sensori-motrice la plus adaptée aux contraintes imposées par les caractéristiques de la tâche, en se fondant

davantage sur le canal somatosensoriel (Brondani, 1991 / Barrault, 1991a / Mesure *et al.*, 1994 / Crémieux *et al.*, 1995 / Mesure *et al.*, 1997 / Perrot *et al.*, 1998). Nos résultats corroborent en outre ceux de Vranken & Willens (1976) pour lesquels les perceptions visuelles n'ont qu'une importance mineure dans la régulation automatique de la posture en cas de déstabilisation lente quantifiée.

Ceci confirme une fois encore que, parmi les afférences de la fonction d'équilibration, la proprioception est celle qui (1) est la plus susceptible d'acquisition ou d'éducation par la pratique d'activités physiques et sportives et (2) contribue le plus efficacement à l'amélioration du contrôle postural chez les judoka.

Il apparaît par ailleurs que ces sportifs, dont les facultés d'équilibration sont les plus performantes, sont ceux chez lesquels la relation entre les processus psychophysiologiques liés à la maturation sous l'effet de l'ontogenèse et ceux rapport avec un entraînement sportif long et intensif a pu exister dans la mesure où leur pratique s'effectue depuis l'enfance ou l'adolescence.

Par conséquent, les CNS ont dû adapter progressivement le modèle des morphocinèses ou topocinèses à accomplir à l'épreuve, en cherchant à réduire au minimum les éventuelles erreurs dans la réponse motrice (Nashner, 1976). La réalisation de tout acte moteur n'est donc jamais initiée tant qu'elle n'est pas définie centralement (Berstein, 1967 / Mouchnino *et al.*, 1992), le caractère multidéterminé de la performance dépendant à la fois de l'efficacité des processus cognitifs (stratégies de prise de décision et prédiction des modifications environnementales) et réflexes (réactions posturales et anticipation) sollicités dans l'action (Brisswalter & Legros, 1996).

Nous pouvons donc supposer que l'équilibration dépend, au delà du système conservatif fondé sur le schéma corporel originel, de nouveaux réseaux nerveux adaptatifs construits à partir des spécificités de l'entraînement (compétition ou

technique / maîtrise de la latéralisation / enchaînements moteurs particuliers et rééducation proprioceptive à la suite d'un accident traumatique / échauffement et travail individuels ou en groupe, ...). Ces nouvelles connexions auraient alors pour conséquence une amélioration de la performance en termes de régulation posturale et motrice. Cela se traduit entre autres, comme nous l'avons montré, par des contractions musculaires anticipées. Il en résulte que les ajustements posturaux tendent à minimiser les perturbations de l'équilibre (Massion, 1993 / Béraud & Gahéry, 1995), la bonne qualité de la performance reposant ainsi sur une préparation mentale, posturale et/ou motrice précoce plus adaptée (Olsen, 1956 / Gahéry & Massion, 1981 / Brisswalter & Legros, 1996). L'anticipation est donc une caractéristique du Judo.

Toutes ces conclusions, bien qu'établies à partir des résultats obtenus lors d'examens posturographiques menés chez des judoka masculins, pourraient - en partie - être généralisées aux femmes. En effet, il s'avère d'une part que le Judo féminin ne se différencie pas de la pratique masculine (Barrault et al., 1991) et d'autre part qu'il n'existe pas systématiquement de différences significatives, lors de l'analyse des paramètres posturographiques, entre hommes et femmes (Bessineton et al., 1975) ; le cas échéant, les sportives entraînées sont davantage performantes, en termes de régulation posturale, que leurs homologues masculins (Mesure *et al.*, 1994). Ces hypothèses restent néanmoins à vérifier avec le modèle « Judo ».

Par sa pratique, le Judo contribue donc à améliorer les facultés d'adaptation et de compensation neurophysiologiques et sensori-motrices du combattant - impliquées dans la fonction d'équilibration -, optimise la perception et l'intégration des données sensorielles, développe les capacités d'anticipation du pratiquant et lui permet de « réagir » de façon performante à toute nouvelle contrainte, favorise la maîtrise de soi et de ses émotions, transforme l'agressivité en combativité, impose le respect d'autrui et celui de la hiérarchie, permet de lutter contre l'isolement ou le handicap, contribue à

l'intégration de l'individu au sein de la société et développe des qualités morales intimement liées à l'histoire des arts martiaux et leurs origines japonaises. Si « l'esprit » du Judo habite le pratiquant, alors tous ces atouts s'extérioriseront, non pas seulement sur le tatami, mais dans la vie au quotidien.

Sport de compétition, sport de loisir, moyen d'éducation physique, intellectuelle et sociale, moyen d'entretien corporel, philosophie, le Judo est tout cela à la fois. Cette richesse implique un certain nombre de conséquences psychophysiologiques ou pathologiques, que cette thèse a tenté de rassembler.

- XI- BIBLIOGRAPHIE

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1 SCIENCES BIBLIOTHÈQUE

Alderson GJ. Variables affecting the perception of velocity in sport situation. *In*: Reading In Sport Psychology. HTA Whiting (Eds) London : 116-55, 1972.

Allum JHJ. Organization of stabilizing reflex responses in tibialis anterior muscles following ankle flexion perturbations of standing man. *Brain Res* ; 264 : 297-301, 1983.

Allum JHJ. Posturography systems: current measurement concepts and possible improvement. *In* : Disorder and Posture and Gait. Th Brandt (Eds) : 16-28, 1990.

Allum JHJ, Honegger F, Schiks H. Vestibular and proprioceptive modulation of postural synergies in normal subjects. *J Vest Res* ; 3 : 59-85, 1993.

Allum JHJ, Honegger F, Acuna H. Differential control of leg and trunk muscle activity by vestibulo-spinal and proprioceptive signals during human balance corrections. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; 115 : 124-9, 1995.

Allum JHJ, Gresty M, Keshner E, Shupert C. The control of head movements during human balance corrections. *J Vest Res* ; 7, 2/3 :189-218, 1997.

Alund M, Larsson, Ledin T, Ödkvist L, Möller C. Dynamic posturography in cervical vertigo. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; Suppl. 481 : 601-2, 1991.

Amblard B, Crémieux J. Rôle de l'information visuelle du mouvement dans le maintien de l'équilibre postural chez l'homme. *Agressologie* ; 17, C : 25-36, 1976.

Amblard B, Crémieux J, Marchand A, Carblanc A. Lateral orientation and stabilisation of human stance. *Exp Brain Res* ; 61 : 21-37, 1985.

André-Thomas. Equilibre et équilibration. Masson (Eds) Paris : 567p., 1940.

Annett J, Kay H. Skilled performance. *Occup Psych* ; 30 : 112-7, 1956.

Baron JB. Tonic postural activity and motor imagination. *Agressologie* ; 13, C : 95-9, 1972.

Barrault D. Principales qualités du judoka. *In* : D Barrault, JC Brondani, D Rousseau. Médecine du Judo. Masson (Eds) Paris : 15-8, 1991a.

Barrault D. Examen d'aptitude. *In* : D Barrault, JC Brondani, D Rousseau. Médecine du Judo. Masson (Eds) Paris : 18-23, 1991b.

Barrault D. Qualités proprioceptives du Judoka. *In* : D Barrault, JC Brondani, D Rousseau. Médecine du Judo. Masson (Eds) Paris : 37-42, 1991c.

Béraud P, Gahéry Y. Les ajustements posturaux précoces liés aux coups de pied en boxe française savate et leur modulation en fonction des paramètres du mouvement. *Sci Mot* ; 26 : 33-41, 1995a.

Béraud P, Gahéry Y. Relationships between the force of voluntary leg movements and the assiocated postural adjustments. *Neurosci Lett* ; 194, 3 : 177-80, 1995b.

Béraud P, Gahéry Y. Posturo-kinetic effects on kicking movements of a lack of initial ground support under the moving leg. *Neurosci Lett* ; 226, 1 : 5-8, 1997.

Berger W, Trippel M, Discher M, Dietz V. Influence of subjects' height on the stabilization of posture. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; 112 : 22-30, 1992.

Bernstein N. Coordination and regulation of movements. New York : Pergamon press, 1967.

Berthoz A, Mellwill-Jones G. Adaptative mechanisms in gaze control. Elsevier (Eds) Amsterdam, 1985.

Berthoz A, Droulez J, Vidal PP, Yoshida K. Neural correlates of horizontal VOR cancellation during rapid eye movements in the cat. *J Physiol*, London , 1989.

Berthoz A. Coopération et substitution entre le système saccadique et les « réflexes » d'origine vestibulaire : faut-il réviser la notion de « réflexe »? *Rev Neurol* ; 145, 8-9 : 513-26, 1989.

Bessineton JC, Bizzo G, Pacifici M, Baron JB. Statokinésigramme, taille, poids, sexe, reproductibilité. *Agressologie* ; 17, B : 49-54, 1976.

Bessou P, Costes-Salon C, Dupui Ph, Montoya R, Pages B. Analyse de la fonction d'équilibration chez l'Homme. *Association des Physiologistes*, Toulouse : A103, 1987.

Bessou M, Dupui Ph, Séverac A, Bessou P. Le pied, organe de l'équilibration. *In* : Ph Villeneuve. Pied, équilibre et posture. Frison-Roche (Eds) Paris : 21-32, 1996.

Bizzi E. Strategies of eye-head coordination. *Prog Brain Res* ; 50 : 795-803, 1979.

Bles W, De Wit G. Study of the effects of optic stimuli on standing. *Agressologie* ; 17, C : 1-5, 1976.

Bonnet M, Gurfinkel S, Lipchits MJ, Popov KE. Central programming of lower limb muscular activity in standing man. *Agressologie* ; 17, B : 35-42, 1976.

Borsa PA, Lephart SM, Irrang JJ, Safran MR, Fu FH. The effects of joint position and direction of joint motion on proprioceptive sensibility in anterior cruciate ligament-deficient athletes. *Am J Sports Med* ; 25, 3 : 336-40, 1997.

Bril B. Apprendre à marcher, ou l'apprentissage d'un équilibre dynamique. *In* : Ph Villeneuve. Pied, équilibre et posture. Frison-Roche (Eds) Paris : 33-41, 1996.

Brisswalter J, Legros P. Interactions entre les processus physiologiques et cognitifs : modèles théoriques et approche méthodologique. *Science & Sports* ; 11 : 71-80, 1996.

Brondani JC. Pied et cheville du Judoka. *In* : D Barrault, JC Brondani, D Rousseau. Médecine du Judo. Masson (Eds) Paris : 147-54, 1991.

Brun V, Pélissier J, Dhoms G, Enjalbert M, Codine P, Founau H. Evaluations clinique et instrumentale de la posture. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert. Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson (Eds) Paris ; 26 : 123-34, 1993.

Buckwalter JA, Lane NE. Athletics and osteoarthritis. *Am J Sports Med* ; 25, 6 : 873-81, 1997.

Buser P, Imbert M. Neurophysiologie fonctionnelle. Collection méthodes. Hermann (Eds) Paris : 465 p, 1975.

Calmels P, Escafit M, Le Marchand M, Domenach M, Minaire P. Evaluation posturographique des effets proprioceptifs d'une orthèse de cheville chez des sujets volontaires. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert. Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson (Eds) Paris ; 26 : 269-76, 1993.

Carpenter-Smith T, Futamura RG, Parker DE. Inertial acceleration as a measure of linear vection : an alternative to magnitude estimation. *Perception and Psychophysics* ; 57, 1 : 35-42, 1995.

Claussen CF, Schneider D, Marcondes LG, Patil NP. A computer analysis of typical CCG patterns in 1021 neuro-otological patients. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; Suppl. 468 : 235-8, 1989.

Claussen CF. Vestibular compensation. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; Suppl. 513 : 33-6, 1994.

Clément G, Gurfinkel VS, Lestienne F, Lipshits MI, Popov KE. Adaptation of postural control to weightlessness. *Exp Brain Res* ; 45 : 126-32, 1984.

Clément G, Lathan C. Postural reactions induced by vertical motion of visual scenes and the effects of weightlessness. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; 118 : 466-473, 1998.

Collard M. Voies vestibulaires : de la structure à la fonction. *Rev Prat (Paris)* ; 44, 3 : 295-8, 1994.

Commandré FA, Loubière R, Fornaris E, Denis F, Argenson C, Coste J. Lésions musculaires de l'athlète, traumatiques et microtraumatiques. *Médecine du Sport* ; 70, 5 : 197-206, 1996.

Conti P, Beaubaton D. Utilisation des informations visuelles dans le contrôle du mouvement ; étude de la précision des pointages chez l'homme. *Le travail humain* ; 39 : 19-32, 1976.

Cordo PJ, Nashner LM. Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. *J Neurophysiol* ; 47, 2 : 287-302, 1982.

Crémieux J, Mesure S. Equilibre postural statique et pratique de la danse ou du judo. *III journées de la Recherche en APS.* Actio (Eds) Marseille : 275-9, 1992.

Crémieux J, Perrin Ph. Mesure S. Posture, équilibre et activités physiques et sportives. *In* : H Lamendin, D Courteix. Biologie et Pratique Sportive. Masson (Eds) Paris : 98-113, 1995.

Crosbie J, Shepherd RB, Squire TJ. Postural and voluntary movement during reaching in sitting: the role of the lower limbs. *J Hum Mov Studies* ; 28, 3 : 103-26, 1995.

Danowski RG, Chanussot JC. Traumatologie du sport (4ème édition). Masson (Eds) Paris : 120-347, 1996.

Delagoutte JP, Mainard D. Les pertes de substance cutanée du pied : généralités. *Méd Chir Pied* ; 13, 1 : 3-6, 1997.

Denis G, Vuillemin A, Perrin Ph. Evaluation du rôle de la proprioception dans l'équilibration selon les activités physiques et sportives. *Ann Kinésithér* ; 23, 7 : 344-7, 1996.

De Wit G. Analysis of the stabilometric curves. *Agressologie* ; 13, C : 79-83, 1972.

Dichgans J, Diener HC. The contribution of vestibulo-spinal mechanisms to the maintenance of human upright posture. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; 107 : 338-45, 1989.

Diener HC, Dichgans J. On the role of vestibular and somatosensory information for dynamic postural control in humans. *Prog Brain Res.* O Pompeiano and JHJ Allum (Eds). Elsevier Science Publishers BV ; 76 : 253-62, 1988.

Dietz V, Horstmann GA, Berger W. Involvement of different receptors in the regulation of posture. *Neurosci Lett* ; 94 : 82-7, 1988.

Di Fabio RP, Emasithi A, Paul S. Validity of visual stabilization conditions used with computerized dynamic platform posturography. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; 118 : 449-454, 1998.

Do MC, Bussel B, Brenière Y. Influence of plantar cutaneous afferents on early compensatory reactions to forward fall. *Exp Brain Res* ; 79 : 319-24, 1990.

Do MC, Roby-Brami A. The influence of a reduced plantar support surface area on the compensatory reactions to a forward fall. *Exp Brain Res* ; 84 : 439-43, 1991.

Do MC, Nouillot P, Bouisset S. Is balance or posture at the end of a voluntary movement programmed ? *Neurosci Lett* ; 130 : 9-11, 1991.

Ekblom B. External and internal factors influencing physical performance. *Med Sport Sci* ; 26 : 90-7, 1987.

Enbom H, Magnusson M, Pyykkö I, Schalen L. Presentation of a posturographic test with loading of the proprioceptive system. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; Suppl. 455 : 58-61, 1988.

Enjalbert M, Rabishong P, Micaleff JP, Peruchon E, Viel E, Eledjam JJ, Pélissier J. Sensibilité plantaire et équilibration. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert. Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson (Eds) Paris ; 26 : 9-23, 1993.

Enjalbert M, Rabishong P, Micaleff JP, Peruchon E, Pélissier J. Sensibilité plantaire et équilibre. *In* : Ph Villeneuve. Pied, équilibre et posture. Frison-Roche (Eds) Paris : 43-59, 1996.

Fahle M. Human pattern recognition : parallel processing and perceptual learning. *Perception* ; 23 : 411-27, 1994.

Feldenkrais M. Manuel pratique de Jiu Jitsu : la défense du faible contre l'agresseur. Chiron (Eds) Paris : 158p., 1944.

Foidart-Dessalle M, Perizonius M, Debeche M, Crielaard JM, Delhez L. Bilan posturographique de jeunes sportifs victimes d'une entorse de cheville de gravité moyenne et soumis à une rééducation proprioceptive. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert. Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson (Eds) Paris ; 26 : 277-83, 1993.

Frandin K, Sonn U, Svantesson U, Grimby G. Functional balance tests in 76-years-olds in relation to performance, activities of daily living and platform tests. *Scand J Rehab Med* ; 27 : 231-41, 1995.

Fukuda T. Vertical writing with eyes covered. *Acta otolaryngol (Stockh)* ; 50 : 26-36, 1958.

Fukushima H, Hinoki M. Role of the proprioceptors in the performance of stepping and the theory of the tonic neck and/or tonic lumbar reflex. *Pract Otol* ; 76 (Suppl. 1) : 646-57 (in Japanese with English abstract), 1983.

Fukushima H, Hinoki M. Role of the cervical and lumbar proprioceptors during stepping. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; Suppl. 419 : 91-105, 1985.

Furman JM. Role of posturography in the management of vestibular patients. *Otolaryngol Head Neck Surg* ; 112, 1 : 8-15, 1997.

Gagey PM. Huit leçons de posturologie. *Association Française de Posturologie*. Paris, 1986.

Gagey PM. Principes de l'évaluation clinique du tonus postural. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert. Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson (Eds) Paris ; 26 : 115-23, 1993.

Gahéry Y, Massion J. Coordination between posture and movement. *TINS* ; 81 : 199-202, 1981.

Ganancia M. Etude des variations de la posture en fonction de la vigilance et de l'activité chez des fillettes de 5 à 11 ans normales et handicapées visuelles. *Agressologie* ; 13, B : 81-90, 1972.

Gantchev G, Draganova N, Dunev S. Role of the visual feedback in postural control. *Agressologie* ; 22, A : 59-62, 1981.

Gilhodes JC, Kavounoudias A, Roll R, Roll JP. Orientation et régulation de la posture chez l'homme : deux fonctions de la proprioception musculaire? *In* : Ph Villeneuve. Pied, équilibre et posture. Frison-Roche (Eds) Paris : 3-13, 1996.

Golomer E, Dupui Ph, Bessou P. Spectral frequency analysis of dynamic balance in healthy and injured athletes. *Arch Int Physiol Bioch Biophys* ; 102 : 225-9, 1994.

Golomer E, Favory E, Grapton X, Monod H. Evaluation quantitative des oscillations spontanées chez des sujets féminins non entraînés et entraînés à l'équilibre. *Science & Sports* ; 10 : 165-7, 1995.

Gross MT. Effects of recurrent lateral ankle sprains on active and passive judgements of joint position. *Phys Ther* ; 67 : 1505-9, 1987.

Gurfinkel VS, Lipshits MI, Mori S, Popov KE. Postural reactions to the controlled sinusoidal displacement of the supporting platform. *Agressologie* ; 17, B : 71-6, 1976.

Guyot JP. Rappel d'anatomie et de physiologie du système vestibulaire. *Rev Méd Suisse Romande* ; 113 : 665-9, 1993.

Habersetzer R. Le Karaté : technique Wado-ryu. Flammarion (Eds) Paris : 157p., 1968.

Handford C, Davids K, Bennett S, Button C. Skill acquisition in sports: some applications of an evolving practice ecology. *J Sports Sci* ; 15 : 621-40, 1997.

Horak FB. Nashner LM. Central programming of postural movements : adaptation to altered support-surface configuration. *J Neurophysiol* ; 55, 6 : 1369-81, 1986.

Horak FB, Nashner LM. Dietz HC. Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. *Exp Brain Res* ; 82 : 167-177, 1990

Horak FB. Shupert CL. Dietz V. Horstmann G. Vestibular and somatosensory contributions to responses to head and body displacements in stance. *Exp Brain Res* ; 100 : 93-106, 1994.

Horstmann GA, Dietz V. The contribution of vestibular input to the stabilization of human posture. A new experimental approach. *Neurosci Lett* ; 95 : 179-84, 1988.

Houk JC. Participation of reflex mechanisms and reaction time process in the compensatory adjustments to mechanical disturbance. *In* : Cerebral Motor Control In Man : Long Loop Mechanisms. Desmedt JE (Eds) Karger Basel ; 4, 1978.

Hu MH, Woollacott MH. Multisensory training of standing balance in older adults : 1- postural stability and one-leg stance balance. *J Gerontol* ; 49, 2 : M52-61, 1994a.

Hu MH, Woollacott MH. Multisensory training of standing balance in older adults : 2- kinematic and electromyographic postural responses. *J Gerontol* ; 49, 2 : M62-71, 1994b.

Hugel F, Cadopi M, Kohler F, Perrin Ph. Postural control of ballet dancers: a specific use of visual input for artistic purposes. *Int J Sports Med* ; 20 : 86-92, 1999.

Hulliger M. Fusimotor control of proprioceptive feedback during locomotion and balancing: can simple lessons be learned for artificial control of gait? *Prog Brain Res* ; 97 : 173-80, 1993.

Igarashi M, Himi T. Kulecz WB, Patel S. The role of saccular afferents in vertical optokinetic nystagmus in primates : a study in relation to optokinetic nystagmus microgravity. *Arch Otorhinolaryngol* ; 244 : 143-6, 1987.

Inogai T, Habersetzer R. Judo pratique : du débutant à la ceinture noire. Amphora (Eds) Paris : 334p., 1996.

Isableu B. Ohlmann T, Crémieux J, Amblard B. Selection of spatial frame of reference and postural control variability. *Exp Brain Res* ; 114 : 584-9, 1997.

Ishizaki H, Pyykkö I, Aalto H, Starck J. Repeatability and effect of instruction of body sway. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; Suppl. 481 : 589-92, 1991.

Iso-Ahola SE. Mental training. . *In* : Medicine in sports training and coaching. J Karnoven, PWR Lemon, I Iliev (Eds) Basel, Karger ; 35 : 215-34, 1992.

Judet T. Biomécanique du pied. *J Traumatol Sport* ; 10 : 195-8, 1993.

Kapteyn TS. Data processing of posturographic curves. *Agressologie* ; 13, B : 29-34, 1972.

Kavounoudias A, Roll R, Roll JP. The plantar sole is a "dynamometric map" for human balance control. *NeuroReport* ; 9 : 3247-52, 1998.

Kerr B, Condon M, McDonald LA. Cognitive spatial processing and the regulation of posture. *J Exp Psych* ; 11: 617-22, 1985.

Keshner EA, Woollacott MH, Debu B. Neck, trunk and limb muscle responses during postural perturbations in humans. *Exp Brain Res* ; 71 : 455-66, 1988.

Kleiber M, Horstmann A, Dietz V. Body sway stabilization in human posture. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; 110 : 168-74, 1990.

Konradsen L. Voigt M, Hojsgaard C. Ankle inversion injuries : the role of the dynamic defense mechanism. *Am J Sports Med* ; 25, 1 : 54-8, 1997.

Kowler E. Cognitive expectations, not habits, control anticipatory smooth oculomotor pursuit. *Vision Res* ; 29, 9 : 1049-57, 1989.

Lajoie Y, Teasdale N, Bard C, Fleury M. Attentionnal demands for static and dynamic equilibrium. *Exp Brain Res* ; 97 : 139-44, 1993.

Lasserre R. Atemis et Ju Jitsu : manuel pratique-techniques secrètes. Judo (Eds) Toulouse : 286 p, 1956.

Lavignolle B, Bruniquel L, Puymirat E, Baujet A, Barat M, Senegas J. Vertige, instabilité après traumatisme cervical bénin. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert. Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson (Eds) Paris ; 26 : 236-46, 1993.

Lavisse D, Deviterne D, Divry M, Perrin Ph. Mental information processing in motor skill acquiring by able-bodied and motor-handicapped subjects. *J Hum Mov Studies* ; 29 : 149-69, 1995.

Ledin T, Odkvist M. Visual influence on postural reactions to sudden anteroposterior support surface movements. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; 111 : 813-9, 1991.

Leigh JR, Huebner P, Gordon JL. Supplementation of human VOR by visual fixation and smooth pursuit. *J Vest Res* ; 4,5 : 347-53, 1994.

Le Marchand M, Calmels P, Domenach M, Minaire P. Biofeedback postural : techniques et indications. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert. Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson (Eds) Paris ; 26 : 148-52, 1993.

Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, Fu FH. The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am J Sports Med* ; 25, 1 : 130-7, 1997.

Lestienne F, Berthoz A, Mascot JC, Koitcheva V. Effets posturaux induits par une scène visuelle en mouvement linéaire. *Agressologie* ; 17, C : 37-46, 1976.

Lestienne F, Gurfinkel V, Levik Y, Perrin Ph. Posture et gestuelle en microgravité : un outil d'investigation pour la physiologie sensori-motrice. *Méd Aéro Spa* ; 33 : 92-7, 1994.

Litvinenkova V, Hlavacka F. Projection of the body gravity centre and postural regulation. *Agressologie* ; 13, D : 71-4, 1972.

Lund S, Broberg C. Effects of different head positions on postural sway in man induced by a reproductible vestibular error signal. *Acta Physiol Scand* ; 16 : 143-59, 1983.

Magnusson M, Enbom H, Johansson R, Wiklund J. Significance of pressure input from the human feet in lateral postural control. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; 110 : 321-7, 1990.

Mc Ginty JB, Sarmiento A, Hensinger R *et al.* Athletic training and sports medicine (2nd edition). American Academy of Orthopaedic Surgeons (Eds) Park Ridge : 1027 p, 1991.

Maigne JY. Vertiges et rachis cervical. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert. Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson (Eds) Paris ; 26 : 233-6, 1993.

Marsden CD, Merton PA, Morton HB. Human postural responses. *Brain* ; 104 : 513-34, 1981.

Massion J, Viallet D. Posture et préparation du mouvement. *Rev Neurol* ; 146, 10 : 536-42, 1990.

Massion J. Movement, posture and equilibrium : interaction and coordination. *Progress in Neurobiology* ; 38 : 35-56, 1992.

Massion J. Positionnement de la tête et du tronc, équilibre et mouvement. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert. Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson (Eds) Paris ; 26 : 24-32, 1993.

Massion J. Postural control system. *Curr Opin Neurobiol* ; 4 : 877-87, 1994.

Melham TJ, Sevier TL, Malnofski MJ, Helfst RHJr. Chronic ankle pain and fibrosis successfully treated with a new noninvasive augmented soft tissue mobilization technique (ASTM): a case report. *Med Sci Sports Exerc* ; 30, 6: 801-804, 1998.

Mergner T, Hlavacka F, Schweigart G. Interaction of vestibular and proprioceptive inputs. *J Vest Res* ; 3 : 41-57, 1993.

Mesure S, Crémieux J. The effect of judo training on postural control assessed by accelerometry. *In* : Proceeding of the Xth International Symposium on Disorders of Posture and Gait. Th Brandt (Eds) Stuttgart, New York : 302-6, 1992.

Mesure S, Crémieux J. Contrôle de l'équilibre postural et effet de l'entraînement sportif. *Cinésiol* ; 31 : 228-34, 1992.

Mesure S, Pellas F, Delarque A, Crémieux J. Contrôle visuel de la posture et entraînement. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert. Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson (Eds) Paris ; 26 : 33-41, 1993.

Mesure S, Bonnet M, Crémieux J. L'entraînement sportif peut-il influencer le contrôle postural statique? *Sci Mot* ; 21 : 39-47, 1994.

Mesure S, Crémieux J, Amblard B. Les stratégies et performances posturales sensori-motrices : effet de l'entraînement. *Ann Kinésithér* ; 22, 4 : 151-63, 1995.

Mesure S, Amblard B, Crémieux J. Effect of physical training on head-hip co-ordinated movements during unperturbated stance. *Neuroreport* ; 8, 16 : 3507-12 , 1997.

Moes R, Perrot C, Denis G, Perrin Ph. Contrôle postural lors d'une gestuelle spécifique chez le karatéka. *Arch Phys Biochem* ; 104, 5 : 622, 1996.

Mouchnino L, Aurenty R, Massion J, Pedotti A. Coordination between equilibrium and head-trunk orientation during leg movement : a new strategy built up by training. *J Neurophysiol* ; 67 : 1587-98, 1992.

Naito E. Controllability of motor imagery and transformation of visual imagery. *Perceptual and Motor Skills* ; 78 : 479-87, 1994.

Nardone A, Giordano A, Corra T, Schieppati M. Responses of leg muscles in humans displaced while standing. *Brain* ; 113 : 65-84, 1990.

Nashner LM. Adapting reflexes controlling the human posture. *Exp Brain Res* ; 26 : 59-72, 1976.

Nashner LM, Berthoz A. Visual contribution to rapid motor responses during postural control. *Brain Res* ; 150 : 403-7, 1978.

Nashner LM, Cordo PJ. Relation of automatic postural responses and reaction-time voluntary movements of human leg muscles. *Exp Brain Res* ; 43 : 395-405, 1981.

Nashner LM. Strategies for organization of human posture : vestibular and visual control on posture and locomotor equilibrium. *In* : M Igarashi, FO Black (Eds) Karger Basel : 1-8, 1985.

Nashner LM, Shupert CL, Horak FB, Black FO. Organization of posture controls: an analysis of sensory and mechanical constraints. *Prog Brain Res* ; 80 : 411-8, 1989.

Newell KM. Constraints on the development of coordination. *In* : MG Wade, HTA Whiting. Motor Skill Acquisition. Martinus Nijhoff (Eds) Dordrecht, 1986.

Njiokiktjien Ch. The influence of vision on the vestibulospinal reflex. *Agressologie* ; 13, C : 91-4, 1972.

Nouillot P, Bouisset S, Do MC. Do fast voluntary movements necessitate anticipatory postural adjustments even if equilibrium is unstable? *Neuroscience letters* ; 147 : 1-4, 1992.

Ogata M, Sekitani T, Hirata T, Okuzono T, Kanaya K, Tahara T. Compensatory process of vestibular neuronitis. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; Suppl. 481 : 436-9, 1991.

Okubo J, Watanabe I, Baron JB. Study on influences of the plantar mechanoreceptor on body sways. *Agressologie* ; 21, D : 61-9, 1980.

Olsen E. Relationship between psychological capacities and success in college athletics. *Res Quart* ; 27 : 78-89, 1956.

Paulus M, Straube A, Brandt T. Visual stabilisation of posture physiological stimulus characteristics and clinical aspect. *Brain* ; 107 : 1143-63, 1984.

Pedotti A. Electrophysiological kinesiology. Proceedings of the ISEK'92 congress. Florence, June 29-July 2, 1992.

Pélissier J, Brun V. Enjalbert M. Posture, équilibration : quelques repères pour le rééducateur. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert. Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson (Eds) Paris ; 26 : 1-9, 1993.

Perrin C, Conraux C, Collard C, Freyss G, Sauvage JP. L'équilibre en pesanteur et impesanteur. *Société Française d'Oto-Rhino-Laryngologie et de pathologie cervicofaciale*. Arnette (Eds) Paris : 413 p, 1987.

Perrin C. L'homme et ses espaces : Plasticité et limites de l'équilibration. Presses Universitaires de Nancy : 165 p, 1991.

Perrin C. Fonction d'équilibration, paradigme et épistémologie. *JFORL* ; 43, 5 : 305-10, 1994.

Perrin Ph, Lestienne F. Mécanismes de l'équilibration humaine : exploration fonctionnelle, application au sport et à la rééducation. Masson (Eds) Paris : 163 p, 1994.

Perrin Ph, Perrin C, Boura M, Uffholtz H, Conraux C. Posturographie statique et dynamique : application à une population de jeunes sportifs. *Ann Oto-Laryng (Paris)* ; 106 : 463-71, 1989.

Perrin Ph, Vitte E, Pozzo Th. Equilibration dans les sports acrobatiques. *Cinésiol* ; 30 : 277-85, 1991a.

Perrin Ph, Perrin C, Courant Ph, Béné MC, Durupt D. Posture in basketball players. *Acta Oto-rhino-laryngologica Belg* ; 45 : 341-7, 1991b.

Perrin Ph, Boura M, Uffholtz H, Vitte E, Perrin C. Intérêt de la posturographie statique et dynamique chez les sportifs. *In* : Recherches en Activités Physiques et Sportives -3- Les performances motrices. Aix-Marseille et Actio (Eds), sous la Direction de M Laurent, JF Marini, R Pfister et P Therme : 415-25, 1992.

Perrin Ph, Jeandel C, Perrin C, Courant Ph. Contribution de la posturographie statique et dynamique à l'étude du vieillissement physiologique de l'équilibration. *Rev d'ONO* ; 19-20 : 95-9, 1993.

Perrin Ph, Perrin C. Exploration des afférences sensorielles et du contrôle moteur de l'équilibration par la posturographie statique et dynamique. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* ; 113 : 133-46, 1996.

Perrin Ph, Perrin C. Schneider D. Béné MC. Exploration of the role of labyrinthic functions on balance control using static posturography. *Neurootology Newsletter* ; 2, 2 : 54-9, 1996.

Perrin Ph, Béne MC, Perrin C, Durupt D. Ankle trauma significantly impairs posture control – A study in basketball players and controls. *Int J Sports Med* ; 18 : 387-92, 1997.

Perrin Ph, Schneider D, Deviterne D, Perrot C, Constantinescu L. Training improves the adaptation to changing visual conditions in maintaining human posture control in a test of sinusoidal oscillation of the support. *Neurosci Lett* ; 245 : 155-8, 1998.

Perrin Ph, Perrot C, Deviterne D, Denis G, Schneider D. Intérêt de la crâniocorpographie dans l'évaluation des afférences somatosensorielles. *Revue STAPS* ; 46-47 : 53-64, 1998.

Perrin Ph, Gauchard G, Perrot C, Jeandel C. Effects of physical and sports activities on balance control of elderly people. *Br J Sports Med* ; 33 : 121-6, 1999.

Perrot C, Moes R, Vançon G, Perrin Ph. Rôle des afférences visuelles dans le contrôle postural chez les pratiquants de Boxe Française. *Arch Phys Biochem* ; 104, 5 : 624, 1996.

Perrot C, Moes R, Deviterne D, Perrin Ph. Adaptations posturales lors de gestuelles spécifiques aux sports de combat. *Science & Sports* ; 13 : 64-74, 1998a.

Perrot C, Deviterne D, Perrin Ph. Influence of training on postural and motor control in a combative sport. *J Hum Mov Studies* ; 35 : 119-36, 1998b.

Pintsaar A, Brynhildsen J, Tropp H. Postural corrections after standardised perturbations of single limb stance: effect of training and orthotic devices in patients with ankle instability. *Br J Sports Med* ; 30 : 151-5, 1996.

Proteau L. On the specificity of learning and the role of visual information for movement control. *In* : L Proteau, D Elliott. Vision and motor control. Elseiver (Eds) Amsterdam : 67-102, 1992.

Pyykkö I, Aalto H, Hytonen, Starck J, Jantti P, Ramsay H. Effect of age on postural control. *In :* B Amblard, A Berthoz, F Clarac. Posture and gait : development, adaptation and modulation. Excerpta Medica (Eds) Amsterdam, New York, Oxford : 95-104, 1988.

Pyykkö I, Aalto H, Seidel H, Starck J. Hierarchy of different muscles in postural control. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; Suppl. 468 : 175-80, 1989.

Pyykkö I, Aalto H, Starck J, Ishizaki H. Postural stability on moving platform oscillating at high frequencies. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; Suppl. 481 : 572-5, 1991.

Pyykkö I, Aalto H, Starck J, Ishizaki H. Postural stabilization on a moving platform oscillating at high frequencies. *Avia, Space Environ Med* : 300-5, 1993.

Rabischong P. Rôle statokinésimétrique de la peau. *In* : Ph Villeneuve. Pied, équilibre et posture. Frison-Roche (Eds) Paris : 15-20, 1996.

Rémy-Néris O, Azouvi Ph, Jokic C, Monteil I. Bussel B. Principes de la rééducation posturale : les vicariances. *In* : J Pélissier, V Brun, M Enjalbert. Problèmes en Médecine de Rééducation. Masson (Eds) Paris ; 26 : 142-7, 1993.

Renström PAFH. Effects of training, inactivity, remobilization and prevention of sport injuries. *Médecine du Sport* ; 70, 4 : 141-50, 1996.

Ripoll H. Stratégies oculomotrices impliquées dans l'exécution des habiletés sportives de précision. *In :* G Azémar, D Beaubaton, A Durey et collaborateurs. Neurosciences du Sport. INSEP (Eds) : 301-28, 1987.

Roll JP, Vedel JP, Gilhodes JC, Ribot E. Proprioceptive sensory coding of motor activities in man. *In* : Sensorimotor Plasticity. S Ron, R Schmid, M Jeannerod (Eds) Paris INSERM : 283-304, 1986.

Roll JP, Roll R. La proprioception extra-oculaire comme élément de référence posturale et de lecture spatiale des données rétiniennes. *Agressologie* ; 28 : 905-12, 1987.

Roll R, Velay JL, Roll JP. Influences conjuguées de la proprioception extraoculaire et cervicale dans les activités visuellement orientées chez l'homme. *Rev d'ONO* ; 14 : 31-7, 1991.

Ron S, Berthoz A, Gur S. Model of coupled or dissociated eye-head coordination. *J Vest Res* ; 4, 5 : 383-90, 1994.

Rossetti Y, Tadary B, Prablanc C. Optimal contributions of head and eye positions to spatial accuracy in man tested by visually directed pointing. *Exp Brain Res* ; 97 : 487-96, 1994.

Schiano A, Marchetti S, Bardot P, Sambuc R, Bardot A, Serratrice G. L'évolution de la sensibilité avec l'âge : étude de tests cliniques quantitatifs. *Ann de Réadapt et Méd Phys* ; 31 : 309-18, 1988.

Schulmann DL, Godfrey B, Fisher AG. Effect of eye movements on dynamic equilibrium. *Phys Ther* ; 67 : 1054-9, 1987.

Setton D, Pécout C. L'entorse grave de le cheville chez le sportif. *Science & Sports* ; 9 : 12-5, 1994.

Shick ML. Control of walking and running by means of electrical stimulation of the mid-brain. *Biofizyka* ; 4 : 659-66, 1966.

Shoilev D. Etiology, general treatment and rehabilitation of sports injuties. *In* : Medicine in sports training and coaching. J Karnoven, PWR Lemon, I Iliev (Eds) Basel, Karger ; 35 : 104-14, 1992.

Sieb RA. Proposed mechanisms for cerebellar coordination, stabilization and monitoring of movements and posture. *Med Hypothe* ; 28 : 225-32, 1989.

Soechting JF, Berthoz A. Dynamic role of vision in the control of posture in man. *Exp Brain Res* ; 36 : 551-61, 1979.

Straube A, Botzel K, Hawken M, Paulus W, Brandt T. Postural control in the elderly : differential effects of visual, vestibular and somatosensory input. *In :* B Amblard, A Berthoz, F Clarac. Posture and gait : development, adaptation and modulation. Excerpta Medica (Eds) Amsterdam, New York, Oxford : 105-14, 1988.

Tarantola J, Nardone A, Tacchini E, Schieppati M. Human stance stability imroves with the repetition of the task: effect of foot position and visual condition. *Neurosci Lett* ; 228 : 75-8, 1997.

Tenenbaum G, Yuval R, Elbaz G, Bar-Eli M, Weinberg R. The relationship between cognitive characteristics and decision making. *Can J Appl Phys* ; 18 : 48-62, 1993.

Tokita T, Miyata H, Matsuoka T, Taguchi T, Shimada R. Correlation analysis of the body sway in standing posture. *Agressologie* ; 17, B : 7-14, 1976.

Tokita T, Miyata H, Fujiwara H. Postural response induced by horizontal sway of a platform. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; Suppl. 406 : 120-4, 1984.

Tokita T, Miyata H, Takagi K, Ito Y. Studies on vestibulo-spinal reflexes by examination of labyrinthine-evoked EMGs of lower limbs. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; Suppl. 481 : 328-32, 1991.

Toupet M, Gagey PM, Heuschen S. Vestibular patients and aging subjects lose use of visual input and extend more energy in static postural control. *In* : B Vellas, M Toupet, L Rubenstein, JL Albarède, Y Christen. Falls, balance and gait disorders in the elderly. Elseiver (Eds) Paris : 183-98, 1992.

Toupet M, Gagey PM, Heuschen S. Modification du contrôle postural chez les personnes âgées et les vertigineux : peu d'information visuelle et plus d'énergie. *La Revue Gériatrie* ; 18, 2 : 73-82, 1993.

Trilles F. Prévention des accidents par un tapis optimal. *In* : D Barrault, JC Brondani, D Rousseau. Médecine du Judo. Masson (Eds) Paris : 206-17, 1991.

Trilles F, Lacouture P, lamendin H. Interactions du sportif avec son environnement matériel de pratique. *In* : H Lamendin, D Courteix. Biologie et Pratique Sportive. Masson (Eds) Paris : 114-9, 1995.

Tropp H, Odenrick P, Gillquist J. Stabilometry in functional and mechanical instability of ankle joint. *Int J Sports Med* ; 6 : 180-2, 1985.

Tropp H, Odenrick P. Postural control in single-limb stance. *J Orthop Res* ; 6 : 833-9, 1988.

Tzekov T. Correlation between the reaction time and the amplitude of the H-reflex of the muscle involved in the response. *Agressologie* ; 13, D : 25-30, 1972.

Udo M. Central program for stepping. *Med Sci* ; 26 : 420-32 (in Japanese) , 1975.

Van Parys JAP, Njiokiktjien Ch. Romberg's sign expressed in a quotient. *Agressologie* ; 17, B : 95-100, 1976.

Vidal PP, Berthoz A, Millavoye M. Difference between eye closure and visual stabilization in the control of posture in man. *Aviat Space Environ Med* ; 53 : 166-78, 1982.

Vitte E. Le Poncin Charachon D. Freyss G. Exploration instrumentale des vertiges : quand et comment? *Rev Prat (Paris)* ; 44, 10 : 302-7, 1994.

Vranken M. Willems EJ. Le rôle de l'information visuelle dans les réactions posturales. *Agressologie* ; 17, C : 7-10, 1976.

Wei G, Lafortune SH, Ireland DJ, Jell RM. Human vertical optokinetic nystagmus and after-response, and their dependance upon head orientation with respect to gravity. *J Vest Res* ; 4 : 37-47, 1994.

Westheimer G. Spatial vision. *Ann Rev Psychol* ; 35 : 201-26, 1984.

Whittington F, Clément P, Petit Y, Drivet JP, Helal H, Bizzo G, Baron JB. Corrélations entre l'activité tonique posturale et l'efficacité gestuelle chez les sportifs. Application à l'aviron. *Agressologie* ; 17, C : 47-51, 1976.

Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement. A Wiley-Interscience Publication. New York : 227 p, 1990.

Winearls J. Posture: its function in efficient use of the human organism as a total concept. *Agressologie* ; 13, B : 99-102, 1972.

Yardley L, Lerwill H, Hall M, Gresty M. Visual destabilisation of posture in normal subjects. *Acta Otolaryngol (Stockh)* ; 112 : 14-21, 1992.

Zarzecki P, Asanuma H. Proprioceptive influences on somatosensory and motor cortex. *Prog Brain Res* ; 50 : 113-9, 1979.

-XII- ANNEXES

INFLUENCE OF TRAINING ON POSTURAL AND MOTOR CONTROL IN A COMBATIVE SPORT

C. PERROT[1], D. DEVITERNE[2] AND PH. PERRIN[1,3,4]

[1] *UFR STAPS - Faculté du Sport*

[2] *Laboratoire de Biologie et Physiologie du Comportement - URA CNRS 1293, Faculté des Sciences; Université Henri Poincaré - Nancy 1*

[3] *Laboratoire d'Exploration Fonctionnelle, Service ORL, CHU de Nancy;*

[4] *INSERM U420, Faculté de Médecine; Vandoeuvre-lès-Nancy, France*

SUMMARY

The practice of combative sports has positive effects on both the development of muscular skeletal tissues and control of the locomotor system. Martial arts, because of their finalities, moreover contribute to improve balance control, in order to avoid falls during fights. This implies that the subject develops new sensorimotor strategies and mental abilities based on afferences selected during competitions. Our study planned therefore to appreciate possible differences in postural reactions consecutive to the random upward tilt of a force platform, between Judoists performing the test alone or associated to their partner and athletic controls not initiated to martial arts. Surface electromyography of Triceps Surae (TS) and Tibialis Anterior (TA) muscles were recorded simultaneously and revealed a significant group effect. Judo learning allows fighters to restore their posture faster than controls after destabilization. The muscular activity was simultaneous and similar for pairs of homolog postural muscles, whatever the group of sportsmen. When the test was performed with 2 Judoists "en garde", the TA contraction no longer appeared essential, as shown by a delay in the motor stabilizing order, while TS responses remained unchanged. The largest sensitivity of the TA muscle to variations of the experimental conditions seems to be connected to a more important control of gait by higher nervous centers, triggered by Judo practice. This control allows suitable and adaptable corrections and adjustments in Judoists. Rapid delicate judgements and cognitive processing seem therefore to rely on neural mechanisms implied in the regulation of standing posture.

0306-7297/98/0900-0119 $22.00 ©1998 TEVIOT SCIENTIFIC PUBLICATIONS

INTRODUCTION

A new central programming of postural adjustments and movements governs all our physical interactions with the environment and ensures our balance, making it appropriate in all circumstances (Cordo and Nashner, 1982; Horak and Nashner, 1986). The posture, defined by biomechanical positions, arrangements and relationships of each of our corporal segments (Crémieux et al, 1995), is not only the result of the unconscious organization of the different adjacent corporal segments in relation with the body in its totality. Posture control is also involved in precise voluntary movements and in automatic gestures and is improved by sport-specific activities which require an optimal control of balance such as martial arts, dance or acrobatic sports. The high balance skills of experts in these sports suggests that long-term training builds up new motor programs (Mouchnino et al, 1992) which allow sportsmen to reach their maximal physical possibilities by a favorable exercise action (Mesure and Crémieux, 1990).

Sports and physical activity also have positive effects on both human muscular skeletal tissues and the locomotor system. Physical training improves muscle strength; tendons and ligaments increase in tensile strength, resistance, elasticity stiffness and total weight as collagen fibers thicken and crosslinks increase in number (Renström, 1996). Harmonious and symmetrical muscular mass hypertrophy is undoubtedly a characteristic of fighting sports, including Judo, whatever the weight category. Moreover, the techniques of this martial art are mainly based on constant displacements aiming at disturbing the balance of the opponent in order to make him fall. Judo therefore necessitates the sportsman to efficiently control his dynamic balance. Then during fights (randori) each Judoist learns to use unstable dynamic situations to turn them to his advantage (Barrault et al, 1991).

Athletic learning and training to randori leads Judoists first to privilege and/or to select directly some sensory inputs, but also to adopt or develop new mental and motor abilities according to the afferents selected (Lephart et al, 1997) as preponderant by the subjects. In other words, precise control of the posture, depending on the choice of the sensorimotor strategy most appropriate to the situation, is often determinant for the precision and the efficency of all movements (Barrault et al, 1991).

Among the different sensory afferences involved in balance control, the somatosensory system is most susceptible to improvement by physical and athletic activity practice. Proprioception is a complex regulatory system in which information from different joints, spindles and receptor organs contributes to the appreciation of instantaneous positions of corporal segments (Nardone et al, 1990; Rémy-Néris et al, 1993). Among mechanoreceptors, muscle spindles play the most significant role in motor adaptation (Hulliger, 1993).

Therefore, in Judo, during face to face randori, front to front and forearm to forearm oppositions contribute to make the fighter conscious

CORRESPONDENCE:
Prof. Philippe P. Perrin MD PhD
Université Henri Poincaré - Nancy 1
Equilibration et Performance Motrice
Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Techniques
des Activités Physiques et Sportives - Faculté du Sport
30 rue du Jardin Botanique
54 600 Villers-lès-Nancy
France
Tel: (+33) 3 83 90 56 00
Fax: (+33) 3 83 90 28 42
E-mail: Philippe.Perrin@staps.u-nancy.fr

KEY WORDS:
motor skill learning
posture control
sensorimotor strategy
sportsmen

ABBREVIATIONS:

LLR	long latency reponse
MLR	medium latency response
SLR	short latency response
TA	Tibialis Anterior
TS	Triceps Surae

REPRINTS: *prices on request from*

Teviot-Kimpton Publications
1 St Colme Street
Edinburgh EH3 6AA
United Kingdom
Fax: (+44) 131 226 5435

of his dynamic balance in order to maintain his posture while he attempts to project his adversary to the ground; this precarious dynamic balance necessitates permanent organized postural muscle response synergies (Keshner et al, 1988; Lavignolle et al, 1993; Crosbie et al, 1995). High level Judoists, because of the finality of their discipline, can be expected to react (which implicates postural adjustments) more rapidly than other sportsmen (Barrault et al, 1991). In this study, we used electromyographic (EMG) recordings of 2 graviceptive leg muscles to verify the role of proprioception in Judo, on the basis of an optimal and adapted stabilizing reaction consecutive to randomized support perturbations.

Subjects and Experimental Paradigm

Twenty Judo experts (mean age 25.6±6.63 years, range 18-42 years) participating in national and international athletic tournaments, were submitted to postural control investigation. All gave informed consent prior to the study. Of the 20 subjects who were consecutively asked to perform the posturographic tests, 15 were Black Belts (1st, 2nd and 3rd Dan) and 5 were Color Belts (blue, brown). A minimum number of 5 years of practice (20 years for the best competitors) and no mechanical or functional instability consecutive to ligamentous, articular or muscle trauma or reinjury in the past 6 months were two main conditions imposed by the protocol. No obvious retinal lesion, secondary to intense efforts or to vascular stranglings, neither neurological pathology was detected in these subjects.

Thirty other healthy sportsmen (mean age 27.1±7.91 years, range 22-46 years) formed the control group. Twice a week, all practiced regular sports (athletics, cycling, horse-riding, football, golf, swimming, rugby, tennis) but none had previous training in Judo. These subjects presented no recent locomotor system pathology.

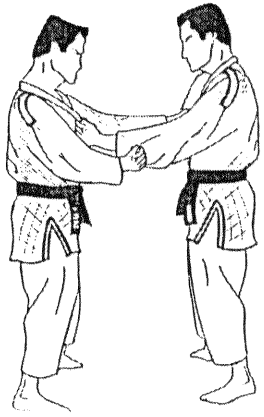
The subjects, standing upright with arms along the body, were instructed to stand on a movable force platform (Toennies GmbH, Freiburg, Germany) and to stare straight ahead at a white dot 2m away, at eye level, while the platform destabilized them backward. Randomized platform perturbations consisted of a sudden 4° toe-up rotation (upward tilts) around an axis parallel to a line passing through the ankle joints, at a velocity of 50°/sec. Eight trials were performed in all subjects. Surface EMGs of Triceps Surae (TS) and Tibialis Anterior (TA) muscles were recorded simultaneously. Muscle mean responses were calculated from eight trial series for each subject. The same instructions given to the 2 groups of athletes induce sufficiently similar behaviors that interindividual comparisons were possible (Perrin et al, 1996).

Muscle responses are usually characterized according to the latency of their onset (Nardone et al, 1990). Eight bipolar electrodes positioned 2cm apart allowed recording of 3 muscle responses. The first two responses, respectively the short latency response (SLR) and the medium latency response (MLR), appear to be connected with the activity of the TS muscle (without any stabilizing effect in our tests) and are considered as the myotatic and the polysynaptic reflexes. The third response occuring with a long latency (LLR) in TA plays an important role in minimizing body sway. Indeed, this reactional postural adjustment reflex, involving long loop pathways, contributes in restoring equilibrium after upward tilts.

We compared the latencies of the 3 responses as well as their amplitude in the 2 groups of sportsmen.

Finally, it is conceivable that the Kumikata (or the fundamental prehension of the Kimono jacket, ie, Judogi) which is a characteristic of Judo may play a role in both postural set and muscle response parameters while tilting. Two Judoists "en garde" were therefore instructed to grasp their partner's Judogi lapel with their right hand at the level of the clavicle, their left hand seizing the right sleeve of their partner's Kimono jacket under the elbow (Figure 1), as the same

Figure 1: The Kumikata: two Judoists "en garde"



randomized perturbations as above were performed. The second bilateral surface EMG records allow us to quantify lower limb muscle activity in Judoists "en garde", ie, to appreciate the role of proprioception when grasping the Judogi with upper limbs. All electrodes, pasted in front of the TS and the TA during the first EMG investigation, were not pulled off at the end of the former, the 2nd test (Judoists "en garde") beginning in succession.

Statistics

We used Student's t tests to compare the evolution of mean results between high level Judoists and other sportsmen not involved in Judo. The mean values were pondered by a factor taking into account the size and the dispersion (variance) of samples. A 0.05 significance level was used for all analysis.

FIGURE 2: Averaged recordings (8 trials) of rectified EMGs from the Tibialis Anterior (TA) and Triceps Surae (TS) on both legs (left: l; right:r) consecutively to rapid tilts of the platform (Stim:4°, 50°/sec) while high level judoist performed the test alone

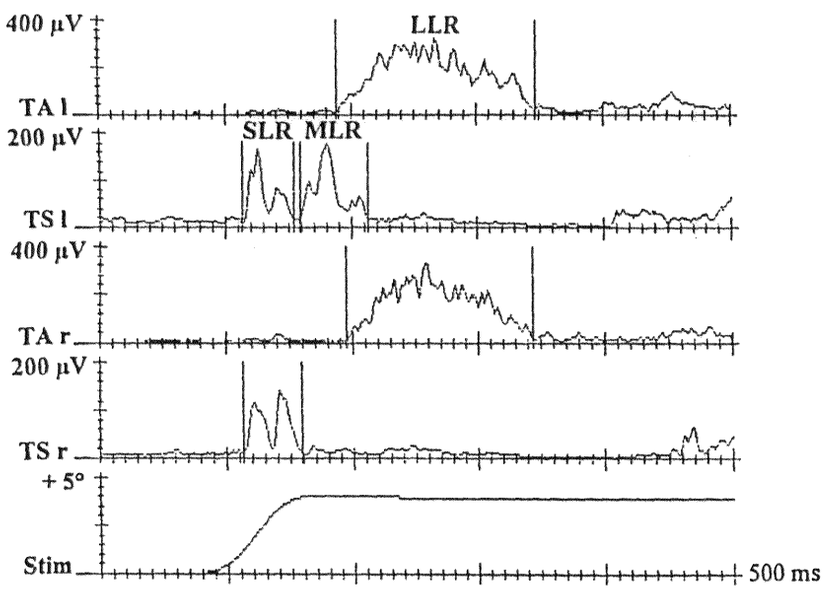
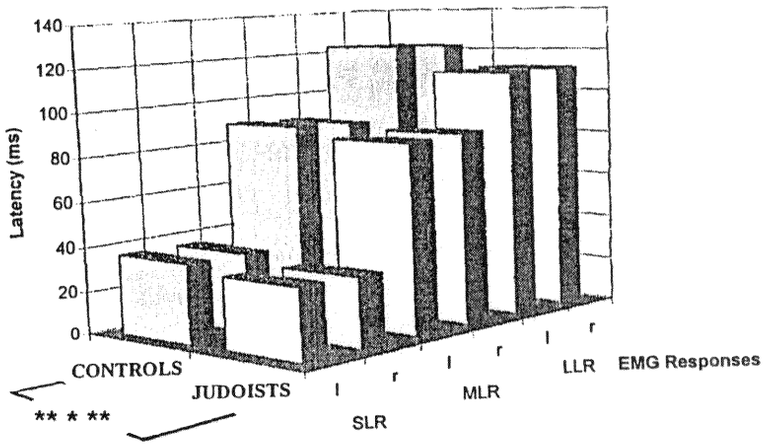


FIGURE 3: Mean latencies of Electromyographic responses relative to the short latency response (SLR), medium latency response (MLR) and long latency response (LLR) recorded on both legs (left: l; right: r) in Judoists (white bars) and controls (grey bars)



Statistical significance: ** p<.01, * p<.05

RESULTS

Comparison of the EMG latencies showed that SLR usually appears for Judoists in the TS 30msec after the stimulus onset with similar results for both legs (32.95±2.5msec and 32.37±2.29msec for the left leg and the right leg respectively). The MLR recorded in the same muscle (88.1±5.43msec/85.7±5.19msec) and the LLR of the TA muscle (111.5±9.48msec/111.5±10.16msec) were similar for both legs in Judoists in upright position (Figure 2). In the control group, similar responses were also recorded in both legs for homolog muscles (SLR: 37.63± 1.61msec/37.5±2.22msec; MLR: 90.17±5.45msec/89.1±5.26msec; LLR: 123.56±12.34msec/122.46±10.58msec). However, muscle contraction onsets in controls were significantly delayed as compared to those observed in Judoists (Figure 3). The analysis of the mean latency

between the stimulus onset and the obvious burst (activation) of each TS and TA reveals a significant group effect (Table 1).

The second EMG investigation, performed with Judoists "en garde", also showed similar responses for both legs (Figure 4). Comparison of the latency responses after the prehension of the Judogi showed similar SLR and MLR respectively for a Judoist alone and then associated to his partner. However, the LLR of the TA muscle contraction was significantly ($p<0.01$) longer for subjects "en garde" (Figure 5, Table 2).

The second criterion analyzed in our study was the amplitude, ie, the intensity, of the muscular contraction. The amplitude of the 3 EMG responses were compared in the same condition as above. Similar responses were again observed for both legs whatever the group of sportsmen while the amplitude of the SLR in controls was significantly higher than that of Judoists ($p<0.05$) (Table 1).

FIGURE 4: Averaged recordings (8 trials) of rectified EMGs from the Tibialis Anterior (TA) and Triceps Surae (TS) on both legs (left: l; right: r) consecutively to rapid tilts of the platform (Stim: 4°, 50°/sec) after grasping of the Judogi

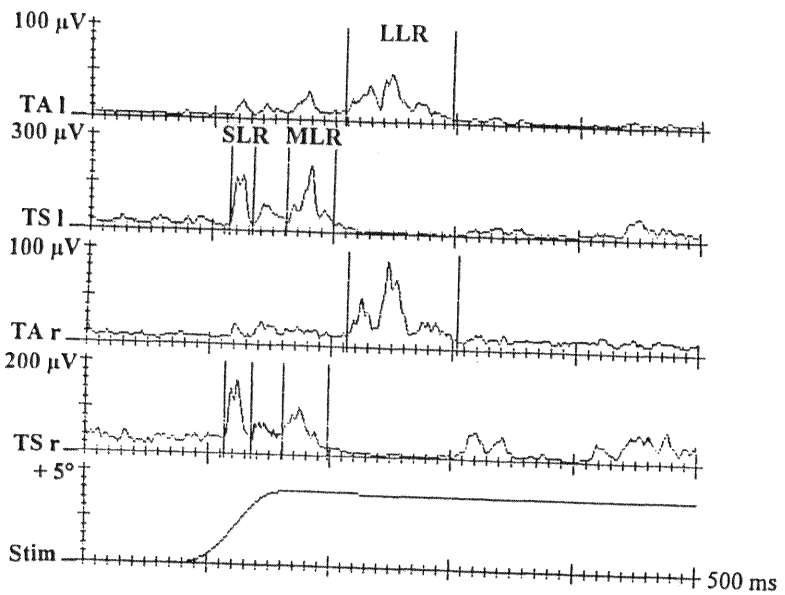


TABLE 1: Mean values of both latency (msec) and amplitude (µV) of the 3 muscular responses (SLR, MLR and LLR) recorded in Judoists and controls

	Triceps Surae				Tibialis Anterior	
	SLR		MLR		LLR	
	latency** (msec)	amplitude* (µV)	latency* (msec)	amplitude (µV)	latency** (msec)	amplitude (µV)
Judoists	32.66 ±2.28	103.61 ±85.34	86.93 ±5.31	149.53 ±106.6	111.5 ±10.11	311.42 ±140.8
Controls	37.5 ±2.2	141.14 ±86.81	89.66 ±5.4	135.86 ±115.9	123.01 ±12.46	334 ±130.27

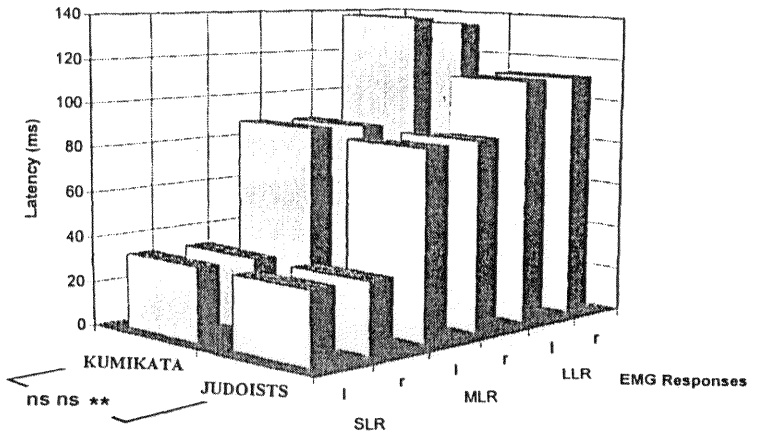
Statistical significance: **p<.01, *p<.05

TABLE 2: Mean values of both latency (msec) and amplitude (µV) of the 3 muscular responses (SLR, MLR and LLR) recorded in solely Judoists and after seizure of the Judogi (Kumikata)

	Triceps Surae				Tibialis Anterior	
	SLR		MLR		LLR	
	latency (msec)	amplitude (µV)	latency (msec)	amplitude (µV)	latency** (msec)	amplitude** (µV)
Judoists	32.66 ±2.28	103.61 ±85.34	86.93 ±5.31	149.53 ±106.6	111.5 ±10.11	311.42 ±140.8
Kumikata	32.74 ±2.2	110.55 ±71.56	87.23 ±5.29	137.12 ±115.9	135.71 ±12.46	102.95 ±77.53

Statistical significance: **p<.01, *p<.05

FIGURE 5: Mean latencies of Electromyographic responses relative to the short latency response (SLR), medium latency response (MLR) and long latency response (LLR) recorded on both legs (left: l; right: r) in Judoists alone (white bars) and durig kumikata (grey bars)



Statistical significance: **p<.01, *p<.05

During Kumikata, the amplitude of the SLR and of the MLR remained identical whether the Judoist was alone or associated with his partner during tilts (Table 2). However, a significantly shorter LLR amplitude ($p<0.01$) was noted when analyzing the stabilizing TA motor response after prehension (LLR: 311.42±140.77μV/102.95±77.53μV), the parameter being then divided by 3 (Figure 6).

DISCUSSION

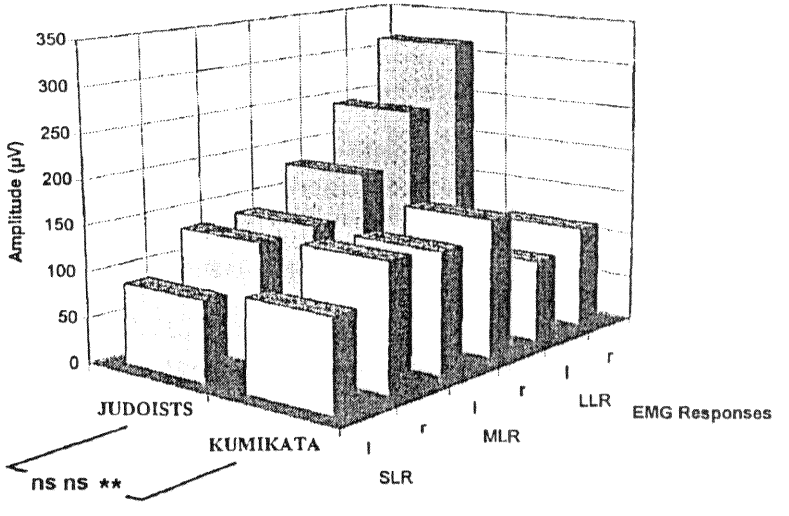
Long athletic learning and training allow the sportsman to acquire new voluntary or automatic motor skills, to improve mental abilities and sensory integration, to increase sensitivity at the receptor level in all sensory systems and thus to improve balance control and motor responses particulary under the more difficult training conditions (Hu and Woollacott, 1994; Perrin et al, 1998).

Our data demonstrated different muscular responses respectively between Judoists and controls, and during different Judo postural set, in a context of deliberate destabilization. The muscular activity measured during randomized destabilization tests was therefore simultaneous and quite similar for pairs of homolog postural muscles and for defined experimental conditions.

However, all postural adjustment and skilful motor performance usually require the acquisition of environmental cues and internal information which originate from the body itself. Then, in our study, the organized axial synergies which implied higher nervous centers compensate the backward flexion of the trunk by a pelvis antepulsion to avoid the fall. These specific central and then peripheral regulations serve to decrease perturbations during automatic movement or voluntary sport gestures (Béraud and Gahery, 1997). Postural adjustments are not therefore stereotyped but adaptable (Massion, 1992; Nouillot et al, 1992) either by antecontrol (ie, programmation) or by retrocontrol (ie, reflex). The former necessarily implicates the motor learning notion.

Comparative to other athletic and physical activities, Judo, or "art of imbalance", by its training, therefore allows the experts to restore

FIGURE 6: Mean amplitudes of Electromyographic responses relative to the short latency response (SLR), medium latency response (MLR) and long latency response (LLR) recorded on both legs (left: l; right: r) in Judoists alone (grey bars) and during kumikata (white bars)



Statistical significance: **p<.01, *p<.05

precociously their posture after destabilization. All improvement in motor coordination and appropriate postural reactions to imbalance (ie, anticipation) should be in fact due to the plasticity and the flexibility of neuronal structures and central circuits implied in postural adjustments; these nervous structures are the vestibular nuclei (on which vestibular nerves, cerebellar tracts and cervical proprioceptive pathways converge), the cerebellum (receiving inputs from spinocerebellar, motor cortex and visual loci), the cortex, the brain stem and the spinal cord (Rémy-Néris et al, 1993). It has been demonstrated too that the vermis, located at cerebellum level, plays a fundamental role in postural regulation, ensuring in addition bilateral simultaneous graviceptive muscle activation (Bonnet et al, 1976). The stabilizing TA contraction caused by the reactional postural ajustement reflex and produced precociously in response to tilts for Judoists, implies therefore pre-established pathways (engrams) and results from an improvement of integration mechanisms of sport specific sensory informations.

It seems also plausible that an increase of conduction velocity along efferent ways implied in balance control (as the vestibulospinal and the reticulospinal tracts) could have been envisaged. Indeed, obvious anticipated muscle activity, which is acquired by sport training and thus programmed to counteract the effects of the perturbation, is modulated and adjusted by the vestibulospinal system (Dichgans and Diener, 1989; Mouchnino et al, 1992; Horak et al, 1994).

Relatively precocious activation of distal muscles in Judoists also reflects the functional importance of generating ankle torques, whose role is essential to correct actual or anticipated dysequilibrium (Allum, 1983; Tropp and Odenrick, 1988; Horak et al, 1994) because this articulation ensures the mobility and the stability of the foot during displacements and specific sport skills (as well as flexion-extension movements around the tibio-astragalian frontal axis).

In addition, although athletic and physical activities have their own specificities, each gesture necessitates simultaneous and multimodal afferent inputs integration. It is noticed too that quick subconscious mechanisms, that allow a detection of imbalance for adjusting equilibrium, depend on the anatomical location of sensory receptor organs as well as on their dynamic characteristics (Lephart et al, 1997). In the purpose of this experimentation, preponderant sensory information relative to the upward tilts is provided by spindles and plantar receptors, the vestibular system succeeding no longer in ensuring its equilibrium safeguard role in urgent cases because of the rapidity of the destabilization.

The facilitation to integrate proprioceptive cues appears as the essential component for a practice (movements realization), which requires a good antagonistic postural muscle coordination (Bonnet et al, 1976; Barrault et al, 1991). The delay appearing in SLR after the stimulus onset, in control group compared to martial art experts, is therefore compensated by an increase in TS contraction intensity.

Proprioception, resulting from learning or sport training and controlled by the motor order which modulates gamma pathways activation and the presynaptic interneurons, appears therefore determinant in the performance of the Judoist (Barrault et al, 1991). If we consider the results obtained in dynamic tests by high level Judoists compared to those of other sportsmen, it appears that stabilizing motor activation is more automated and adjusted for martial arts competitors. The ability of Judo experts to anticipate upcoming events seems based on a more appropriate sensorimotor control depending on perceptual learning (Tenenbaum et al, 1993; Fahle, 1994) and allowing rapid and delicate judgements.

During randori, when the situation is more complex and changes rapidly because athletes are exposed to dynamic movements of opponent in a restricted area, an exceptionally focused attention is required. Selective attention helps elite Judoists to develop superior anticipatory skills (Tenenbaum et al, 1993). It is well known that quality of performance is associated with faster reaction time; performance improves as a function of training (Fahle, 1994; Lavisse et al, 1995).

Thus, by their easier adaptation to the task(s) and their mental representation of the fixed purpose which is certainly more rapid and adequate than in controls, concurrent to fight training, Judoists identify cue patterns, select few afferent signals and concentrate directly on relevant sensory informations to avoid imbalance. At last, they also activate short term memory in planning the fight and set up strategies (Tenenbaum et al, 1993). In other words, elite Judoists judge the suitability of external and internal informations for postural support and then decide whether to use them or not (Marsden et al, 1981) to reach an optimal solution.

Cognitive processing and postural regulation seem therefore to require common neural mechanisms (Kerr et al, 1985). These information processing skills are believed to enable an athlete to operate skilfully during competition (Tenenbaum et al, 1993; Lavisse et al, 1995). An experienced Judoist is thus capable of predicting environmental condition variations and preparing suitable actions in advance.

However anticipated activation of a Judoist's TA muscle remains valid only for a subject performing the test alone (Marsden et al, 1981; Nouillot et al, 1992). Indeed, the Kumikata delays the contraction onset of the stabilizing muscle, without ever affecting its antagonist (Table 2) and therefore limits the functional importance of the lower limbs muscles implied in the rapid posture correction.

A marked rearrangement of the TA response (in both latency and amplitude) is observed; interestingly, only the TS maintains the main characteristics of its responses (Kleiber et al, 1990; Nardone et al, 1990). Variations of TA contraction intensity consecutive to the prehension of the Judogi (then limiting the backward disequilibrium by a forward traction of the partner) are correlated to the amplitude of the destabilization, although the velocity of the stimulus is preserved. In this new experimental condition, the contraction of the TA no longer appears essential.

Muscular reactional responses are therefore strongly influenced and differently modulated by both the type of destabilization and the postural set chosen (Diener and Dichgans, 1988; Nardone et al, 1990). The largest sensitivity of the TA to experimental conditions appears to be connected to a more important control of gait by higher centers, as has been suggested by Horak et al (1994). Judo learning would develop therefore new integrative and mental abilities ensuring a best regulation of equilibrium; the dynamic training conditions of this martial discipline allow the sportsmen to react instantaneously to the imbalance by a suitable motor (re)action, as the result of central programming of postural adjustments based on experience (Dichgans and Diener, 1989).

Conclusion

Judo learning and training bring about a harmonious and generalized muscular development, an optimisation of body scheme and subjective perception, and an effective balance control by improvement of both motor performance and perception of the body in its surroundings; the continuous stimulation of all body proprioceptive receptors during fights in addition allows Judoists to appreciate the position of each of their corporal segments, in order to adapt each instant of a randori (Barrault et al, 1991). High level Judoists are therefore able to adjust the postural strategy more appropriately to the actual or imposed task. Finally, the finding of this report also reveals (1) that the relationship between the earlier reaction time and the sensorimotor skills really exists, (2) that the TA muscle authorizes an anticipated restoration of equilibrium, (3) that the TA activity depends on both experimental conditions and higher nervous centers, and (4) that the prehension of the Judogi suggests a modification of the origin of proprioceptive inputs selected, the latter commuting from the lower limbs to the upper ones. Motor control of stance in dynamic situations requires unremitting adjustments and counteradjustments of position to maintain equilibrium which depends on upper nervous centers. Nevertheless, such postural corrections seem primarily based upon the ankle's central role. Judo learning therefore makes rapid corrections possible by increasing foot stability to exert torque in contact with the surface.

References

Allum, J. H. J. (1983).
Organization of stabilizing reflex responses in tibialis anterior muscles following ankle flexion perturbations of standing man.
Brain Research, 264: 297-301.

Barrault, D., Brondani, J. C. and Rousseau, D. (1991).
Médecine du Judo.
Paris: Masson.

Beraud, P. and Gahery, H. (1997).
Posturo-kinetic effects on kicking movements of a lack of initial ground support under the moving leg.
Neuroscience Letters, 226(1): 5-8.

BONNET, M., GURFINKEL, V. S., LIPCHITS, M. J. AND POPOV, K. E. (1976).
Central programming of lower limb muscular activity in the standing man.
Agressologie, 17(B): 35-42.

CORDO, P. J. AND NASHNER, L. M. (1982).
Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements.
Journal of Neurophysiology, 47(2): 287-302.

CRÉMIEUX, J., PERRIN, PH. AND MESURE, S. (1995).
Posture, équilibre et activités physiques et sportives.
In Biologie et Pratique Sportive.
(Edited by H. Lamendin and D. Courteix) Paris: Masson, pp. 98-113.

CROSBIE, J., SHEPHERD, R. B. AND SQUIRE, T. J. (1995).
Postural and voluntary movement during reaching in sitting: the role of the lower limbs.
Journal of Human Movement Studies, 28(3): 103-126.

DICHGANS, J. AND DIENER, H. C. (1989).
The contribution of vestibulospinal mechanisms to the maintenance of human upright posture.
Acta Otolaryngologica (Stockholm), 107: 338-345.

DIENER, H. C. AND DICHGANS, J. (1988).
On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans.
Progress in Brain Research, 76: 253-262.

FAHLE, M. (1994).
Human pattern recognition: parallel processing and perceptual learning.
Perception, 23: 411-427.

HORAK, F.B. AND NASHNER, L.M. (1986).
Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configuration.
Journal of Neurophysiology, **55**(6): 1369-1381.

HORAK, F. B., SHUPERT, C. L., DIETZ, V. AND HORSTMANN, G. (1994).
Vestibular and somatosensory contributions to responses to head and body displacements in stance.
Experimental Brain Research, 100: 93-106.

HU, M. H. AND WOOLLACOTT, M. H. (1994).
Multisensory training of standing balance in older adults: I. Postural stability and one-leg stance balance.
Journal of Gerontology, 49(2): M52-M61.

HULLIGER, M. (1993).
Fusimotor control of proprioceptive feedback during locomotion and balancing: can simple lessons be learned for artificial control of gait?
Progress in Brain Research, 97: 173-180.

KERR, B., CONDON, M. AND MCDONALD, L. A. (1985).
Cognitive spatial processing and the regulation of posture.
Journal of Experimental Psychology, 11(5): 617-622.

KESHNER, E. A., WOOLLACOTT, M. H. AND DEBU, B. (1988).
Neck, trunk and limb muscle responses during postural perturbations in humans.
Experimental Brain Research, 71: 455-466.

KLEIBER, M., HORSTMANN, G. A. AND DIETZ, V. (1990).
Boby sway stabilization in human posture.
Acta Otolaryngologica (Stockholm), 110: 168-174.

LAVIGNOLLE, B., BRUNIQUEL, L., PUYMIRAT, E., BAUJET, A., BARAT, M. AND SENEGAS, J. (1993).
Vertige, instabilité après traumatisme cervical bénin.
In Problèmes en Médecine de Rééducation.
(Edited by J. Pélissier, V. Brun and M. Enjalbert) Paris: Masson, 26: pp. 236-246.

LAVISSE, D., DEVITERNE, D., DIVRY, M. AND PERRIN, PH. (1995).
Mental information processing in motor skill acquiring by able-bodied and motor- handicapped subjects.
Journal of Human Movement Studies, 29:149-169.

LEPHART, S. M., PINCIVERO, D. M., GIRALDO, J. L. AND FU, F. H. (1997).
The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries.
American Journal of Sports Medicine, 25(1): 130-137.

MARSDEN, C. D., MERTON, P. A. AND MORTON, H. B. (1981).
Human postural responses.
Brain, 104: 513-534.

MASSION, J. (1992).
Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination.
Progress in Neurobiology, 38: 35-56.

MESURE, S. AND CRÉMIEUX, J. (1990).
The effect of Judo training on postural control assessed by accelerometry.
In Proceeding of the Xth International Symposium on Disorders of Posture and Gait.
(Edited by Th. Brandt), Stuttgart, New York: G. Thieme Verlag, pp. 302-306.

MOUCHNINO, L., AURENTY, R., MASSION, J. AND PEDOTTI, A. (1992).
Coordination between equilibrium and head-trunk orientation during leg movement: a new strategy built up by training.
*Journal of Neurophysiology, **67**: 1587-1598.*

NARDONE, A., GIORDANO, A., CORRA, T. AND SCHIEPPATI, M. (1990).
Responses of leg muscles in humans displaced while standing: effects of types of perturbation and of postural set.
*Brain, **113**: 65-84.*

NOUILLOT, P., BOUISSET, S. AND DO, M. C. (1992).
Do fast voluntary movements necessitate anticipatory postural adjustments even if equilibrium is unstable?
*Neuroscience Letters, **147**: 1-4.*

PERRIN, PH., PERRIN, C., SCHNEIDER, D. AND BÉNÉ, M. C. (1996).
Exploration of the role of labyrinthic functions on balance control using static posturography.
*Neurology Newsletter, **2**(2): 54-59.*

PERRIN, PH., SCNEIDER, D., DEVITERNE, D., PERROT, C. AND CONSTANTINESCU, L. (1998).
Training improves the adaption to changing visual conditions in maintaining posture control in a test of sinusoidal oscillation of the support.
*Neuroscience Letters, **245**: 155-158.*

RÉMY-NÉRIS, O., AZOUVI, PH., JOKIC, C., MONTEIL, I. AND MINAIRE, P. (1993).
Principes de la rééducation posturale: les vicariances.
In Problèmes en Médecine de Rééducation.
*(Edited by J. Pélissier, V. Brun and M. Enjalbert), Paris: Masson, **26**: pp. 142-147.*

RENSTRÖM, P. A. F. H. (1996).
Effect of training inactivity, remobilization and prevention of sport injuries.
*Médecine du Sport, **70**(4): 141-150.*

TENENBAUM, G., YUVAL, R., ELBAZ, G., BAR-ELI, M. AND WEINBERG, R. (1993).
The relationship between cognitive characteristics and decision making.
*Canadian Journal of Applied Physiology, **18**(1): 48-62.*

TROPP, H. AND ODENRICK, P. (1988).
Postural control in single-limb stance.
*Journal of Orthopaedic Research, **6**: 833-839.*

Teviot-Kimpton Publications
1 St Colme Street

ELSEVIER

Neuroscience Letters 245 (1998) 155–158

Neuroscience Letters

Training improves the adaptation to changing visual conditions in maintaining human posture control in a test of sinusoidal oscillation of the support

Philippe Perrin[a,b,*], Dieter Schneider[c], Dominique Deviterne[d], Cyril Perrot[a], Lucie Constantinescu[c]

[a]Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (UFR STAPS), Université Henri Poincaré-Nancy 1, 30 rue du Jardin Botanique, 54 600 Villers-lès-Nancy, France
[b]Laboratoire d'Exploration Fonctionnelle, Service ORL, Centre Hospitalier Universitaire de Nancy, Vandoeuvre-lès-Nancy, France
[c]Neurootology, University of Würzburg, Würzburg, Germany
[d]Laboratoire de Biologie et Physiologie du Comportement, Centre National de la Recherche Scientifique, URA 1293, Faculté des Sciences, Université Henri Poincaré-Nancy 1, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

Received 22 December 1997; received in revised form 13 February 1998; accepted 27 February 1998

Abstract

Balance control relies on somesthetic, visual and vestibular afferences, their central processing, and adequate motor responses. We studied the consequences on postural control of the suppression of visual afferences by eye closure, during a dynamic posturographic test in six sportsmen and 14 non-sportsmen. Suppression of visual afferences during the test led to a prolongation of the pattern initially recorded with eyes open, followed by a transitory adaptive pattern, then a typical eyes closed pattern. Repetition of the test showed a progressively longer persistence of the eyes open pattern and disappearance of the adaptive one. This evolution was significantly faster in sportsmen. This progressively longer duration of the eyes open pattern may be explained by the intervention of short term memory. Our data further indicate that training improves adaptive posture control. © 1998 Elsevier Science Ireland Ltd.

Keywords: Balance control; Dynamic posturography; Adaptation; Short term memory; Training; Visual afferences; Proprioception

Posture control is a motor performance representing the behavioural expression of the strategy developed for maintaining balance. This strategy is elaborated from somesthetic, visual and vestibular afferences and their central processing, and depends on the quality of the motor effectors which initiate movements of the eyes and the body, aiming at compensating the disturbances [12]. These afferences continuously provide information on the movements of the body relative to the surroundings in a feedback mode. Furthermore, learning or experience and cognition will contribute to postural control by identifying threats to balance even before they happen, and in a feed forward mode, favour the maintenance of postural control [5,6,8].

This sequence of events and the resulting balance achieved can be extensively and precisely investigated through posturographic tests. Computerised analysis of body movements and muscle responses allow to determine the speed of balance adjustment and the strategies used by the individual studied [7,9,11]. These techniques can be applied in various conditions of stability and/or after removal of one or several of the afferences used for posture control.

Previous studies have shown that training of each of the three levels of the sensorimotor chain (i.e. somesthetic, visual and vestibular) may improve the maintenance of balance in abnormal conditions [4,14,18]. This could be related

* Corresponding author. Fax: +33 3 83902842; e-mail: philippe.perrin@staps.u-nancy.fr

0304-3940/98/$19.00 © 1998 Elsevier Science Ireland Ltd. All rights reserved
PII S0304-3940(98)00208-0

to a better appreciation and memorisation of the surroundings, especially for sportsmen commonly encountering situations of fast and unexpected displacement. Although numerous studies have compared posturographic performances achieved with eyes open or closed [3,9,12–14], there seems however to be very little information in the scientific literature regarding the remanence of eyes open conditions after eyes closure.

We used posturographic recordings to appreciate posture control alterations induced by eye closure, and investigated the effect of immediate and long term training on these adaptive dynamics by comparing normal individuals and skilled sportsmen practising combative sports.

Twenty healthy subjects, without any anamnestic equilibrium deficiencies, who had given their informed consent prior to the study, were submitted to posturographic tests. Six of these subjects were high performance sportsmen involved in combative sports (judo and karate). Ages in the whole group were ranging between 20 and 44 years, with a mean of 23.4 ± 4.8 years.

Dynamic posturographic tests were performed using a vertical force platform fitted with four strain gauges (Toennies GmbH, Germany). Alternative regular sinusoidal movements with a ±4° angle at 0.5 Hz frequency were applied to the platform, as developed by Diener and Dichgans [3]. In this condition, rotation of the platform makes the ankle joint the median rotation axis.

Recordings over time of the platform movements and of the anteroposterior displacement of each subject's centre of foot pressure (CFP), were obtained both as linear graphs and fast Fourier transformation (FFT). This mathematical approach allows us to interpret the variations of oscillations recorded over a period of time, either as a single peak or as series of peaks. In this way, two major types of recordings can be obtained [13,14] respectively characteristic of good balance control (Type I) and of difficulties in maintaining balance (Type II) (Fig. 1).

For each subject, typical eyes open and eyes closed recordings were collected by two consecutive 20 s tests performed first with eyes open (T1), then with eyes closed (T2). After 1 h, three 20 s tests were performed at 1 min intervals (T3, T4, T5), which comprised 10 s eyes open, followed by 10 s eyes closed without stopping the platform's oscillations. These tests allowed a dynamic appreciation of modifications following eyes closure. Finally, 10 min after the completion of T5, the initial sequence of T1 and T2 was repeated (T6, T7) in order to appreciate whether the intervening sequences of T3 to T5 had generated modified responses. The frequency of each subject's CFP oscillations was compared to that of the platform, and the amplitude of CFP displacements was measured. Pattern changing was identified as a sudden modification (>30%) of the frequency and/or amplitude within a recording (Fig. 2).

Data were analysed on a Macintosh computer and the statistical significance of comparisons between successive tests (Friedman, Wilcoxon), or between sportsmen and non-sportsmen (Mann–Whitney) was assessed with Statview software.

Regular recordings (Type I), in phase opposition with the movement of the platform and having a single frequency peak were seen more often (85%) when the test was performed with eyes open (T1). Irregular recordings (Type II) were obtained in 35% of the subjects when the test was performed with eyes closed (T2). One of the control subjects had a Type I graph with eyes open with oscillations of lower amplitude (0.51 instead of 1.87) compared to the others, and a Type II graph with eyes closed. This individual appeared to rely heavily but very efficiently upon visual afferences.

During T3, T4 and T5, we observed the progressively

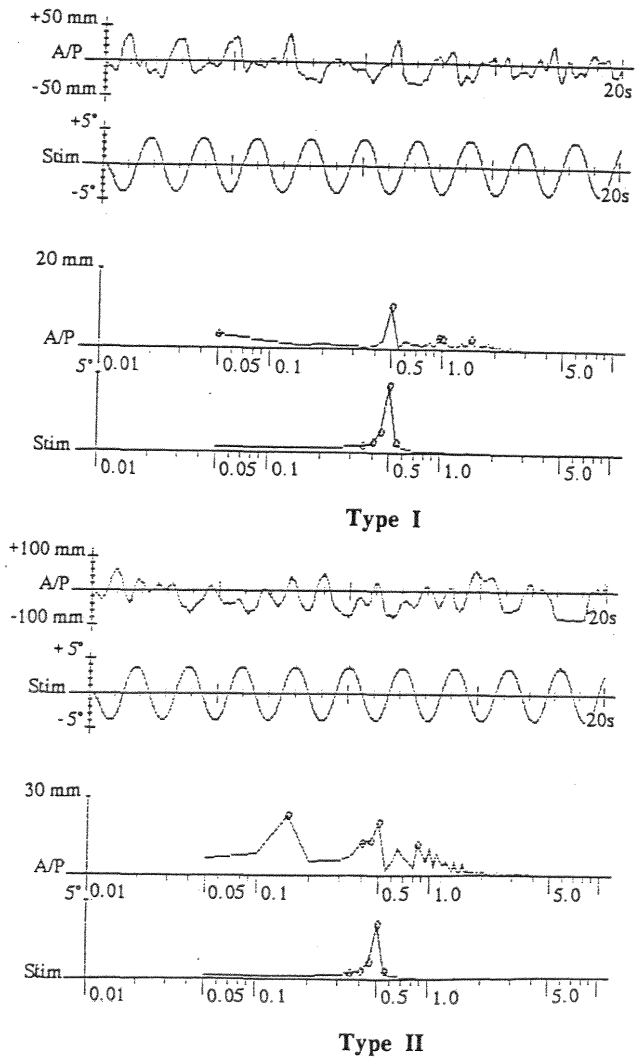


Fig. 1. Typical recordings of the sinusoidal movement of the platform (Stim) and of centre of foot pressure displacements (A/P) (upper part) and their Fast Fourier Transformation (FFT) (lower part). Type I: regular graphs where CFP movements have the same frequency and are in reversed phase with the movement of the platform. Type II: irregular graphs where the frequency recorded is different from that of the platform, and CFP movements irregular, alternatively in and out of phase with the platform's movement.

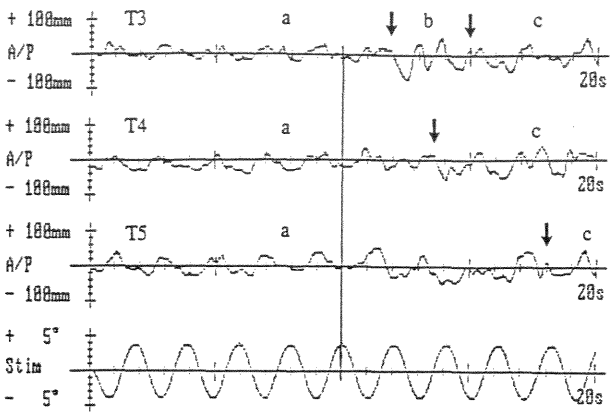


Fig. 2. Example of the evolution of posturographic recordings of antero-posterior CFP displacements (A/P) during tests 3 (T3), 4 (T4) and 5 (T5). (a) Eyes open pattern, (b) adaptation pattern, (c) eyes closed pattern. Stim: stimulus = platform movement.

longer persistence of an eyes open pattern when the subject closed his eyes and almost no eyes closed patterns were recorded in T5 (Fig. 3). The transition between an eyes open pattern and the expected eyes closed pattern involved a progressively shortening transition pattern, with extremely irregular displacements. As early as by T4, this adaptation pattern disappeared. For all subjects but two (90%), no eyes closed pattern was recorded in T5. The increment of duration of the eyes open pattern was statistically significant ($P < 0.001$) over time during the successive tests (Table 1).

This immediate training however appeared to be either short lasting, or only adapted to a dynamic transition from eyes open to eyes closed, as results obtained in T6 and T7 were similar to those recorded in T1 and T2, respectively.

Comparison of the performances of sportsmen and non-sportsmen evidenced differences in the baseline patterns recorded on T1, T2, T6 and T7. More sportsmen yielded Type I recordings (100% eyes open, 83% eyes closed) than non-sportsmen (79% eyes open, 58% eyes closed). Sportsmen also appeared to train faster than non-sportsmen during T3–T5. A statistically significant ($P < 0.03$) shorter-lasting adaptation pattern and a longer persistence of the eyes open pattern was noted in sportsmen at T3 (Table 2).

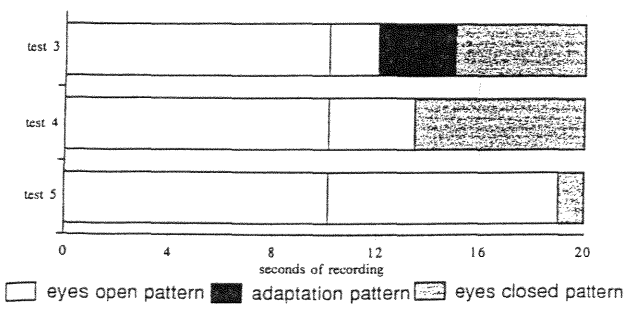


Fig. 3. Mean duration of the three types of patterns during tests 3, 4 and 5, for the whole population tested.

Table 1

Median duration (Med, in s) of eyes open (EO) pattern persistence and inferior and superior quartile values for T3, T4 and T5, for the whole population tested

	EO pattern persistence		
	Med (s)	Q_{inf}	Q_{sup}
T3	2.5	2.0	3.0
T4	4.0	3.0	5.0
T5	9.0	9.0	10.0

Q_{inf}, inferior quartile; Q_{sup}, superior quartile. Friedman test: $x^2 = 38.10$, $P < 0.0001$; Wilcoxon test, T3 and T4: $z = -3.72$, $P < 0.0001$; Wilcoxon test, T4 and T5: $z = -3.92$, $P < 0.0001$.

This study focused on the analysis of the immediate adaptation to new posture control conditions generated by eyes closure during an oscillation posturographic test. It demonstrated that repetition of the test acted as training, resulting in the progressively longer usage of an eyes open posture control strategy, and that previous training acquired by the practice of combative sports improved learning abilities. These data therefore allowed to approach the respective parts of long term and short term memory in the mental perception of the body scheme.

Persistence of the eyes open pattern after eyes closure suggests a response produced from memory. Postural control could therefore involve two components: a stable reference system based on past knowledge [4], and a dynamic correction process that intervenes when sudden disturbances are encountered [1,10]. Similar conclusions were derived from the work of Thomson [17], who used a completely different strategy, analysing the walking pattern of individuals closing their eyes while they marched towards a fixed target. This author described persistence of an accurate pattern for 8 s. Our data found a nearly similar persistence of the eyes closed pattern for 9 s as a median value for the whole group tested.

The progressively increased persistence of the eyes open pattern from T3 to T5 suggests the intervention of short term memory and, later, of a constructive process progressively developed as demonstrated in other models [2,8,15,16]. The stage of the adaptation pattern evidenced in this dynamic study can be considered as a phase of sensory reorganization prompted by the disappearance of visual afferences and leading to a new strategy similar to that spontaneously

Table 2

Median durations (Med, in s) of the adaptation pattern between sportsmen and non-sportsmen in T3

	Adaptation pattern duration		
	Med(s)	Q_{inf}	Q_{sup}
Sportsmen	2.5	2.0	3.0
Non-sportsmen	4.0	3.0	5.0

Q_{inf}, inferior quartile; Q_{sup}, superior quartile. Mann–Whitney test: $P = 0.003$.

adopted during T2, increasing the role of the remaining afferences, which are principally somatosensory.

Compared to the normal population, the highly trained athletes in combative sports tested here demonstrated a better postural adaptation, perhaps reflecting training in the use of all sensory inputs involved in maintaining equilibrium. They were also faster in switching between these inputs which suggests a better central integration. This can be also viewed as the result of sports practice as proprioception becomes more important than vision in balance control in their sports discipline [14]. These highly trained subjects integrated all essential information in the first stages of the action, while non-sportsmen learned progressively during the same action. Sportsmen therefore adopted the reaction most appropriate to the task, using both past knowledge (acquired in sport training) and short term memory (developed during the tests) very efficiently [17,18].

In conclusion, this study used an original human model of dynamic posturographic recording appreciating the ongoing rearrangements of posture control strategy upon removal of visual control in the course of the test. This allowed to demonstrate and quantify the persistence of short term memory, and an ability to improve it upon repetition of the test. Trained sportsmen, used to rely less on visual afferences than non-sportsmen, provided an excellent model to demonstrate that long term memory and training are also involved in the rearrangement of posture control strategies upon removal of visual input.

Philippe Perrin is affiliated to INSERM U420, Vandoeuvre les Nancy, France.

[1] Clément, G., Gurfinkel, V.S., Lestienne, F., Lipshits, M.I. and Popov, K.E., Adaptation of postural control to weightlessness, Exp. Brain Res., 45 (1984) 126–132.
[2] Crenna, P., Deat, A., Frigo, C., Massion, J. and Pedotti, A., Coordination between posture and axial movements: short and long term adaptation, Neuroscience, 22 (1987) S659.
[3] Diener, H.C. and Dichgans, J., On the role of vestibular and somatosensory information for dynamic postural control in humans. In O. Pompeiano and J.H.J. Allum (Eds.), Progress in Brain Research, Vol. 76, Elsevier, Amsterdam, 1988, pp. 253–262.
[4] Hlavacka, F., Mergner, T. and Schweigart, G., Interaction of vestibular and proprioceptive inputs for human self-motion perception, Neurosci. Lett., 138 (1992) 161–164.
[5] Iso-Ahola, S., Mental training. In J. Karvonen, P.W.R. Lemon and I. Iliev (Eds.), Medicine in Sports Training and Coaching, Vol. 35, Basel, Karger, 1992, pp. 215–234.
[6] Johansson, R., Magnusson, M. and Akesson, M., Identification of human postural dynamics, IEEE Trans. Biomed. Eng., 35 (1988) 858–869.
[7] Kleiber, M., Horstmann, G.A. and Dietz, V., Body sway stabilization in human posture, Acta Otolaryngol. (Stockh), 110 (1990) 168–174.
[8] Lavisse, D., Deviterne, D., Divry, M. and Perrin, Ph., Mental information processing in motor skill acquiring by able-bodied and motor-handicapped subjects, J. Hum. Mov. Studies, 29 (1995) 149–169.
[9] Ledin, T., Kronhed, A.C., Moller, C., Ödkvist, L.M. and Olsson, B., Effects of balance training in elderly evaluated by clinical tests and dynamic posturography, J. Vest. Res., 91 (1990) 129–138.
[10] Massion, J., Postural control system, Curr. Opin. Neurobiol., 4 (1994) 877–887.
[11] Nashner, L.M. and McCollum, G., The organization of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis, Behav. Brain Sci., 8 (1985) 135–172.
[12] Paulus, W., Straube, A. and Brandt, Th., Visual postural performance after loss of somatosensory and vestibular function, J. Neurol. Neurosurg. Psych., 50 (1987) 1542–1545.
[13] Perrin, Ph., Jeandel, C., Perrin, C. and Béné, M.C., Influence of visual control, conduction and central integration on static and dynamic balance in healthy older adults, Gerontology, 43 (1997) 223–231.
[14] Perrin, Ph., Béné, M.C., Perrin, C. and Durupt, D., Ankle trauma significantly impairs posture control: a study in basketball players and controls, Int. J. Sports Med., 18 (1997) 387–392.
[15] Tarantola, J., Nardone, A., Tacchini, E. and Schieppati, M., Human stance stability improves with the repetition of the task: effect of foot position and visual condition, Neurosci. Lett., 228 (1997) 75–78.
[16] Tenenbaum, G., Yuval, R., Elbaz, G., Bar-Eli, M. and Weinberg, R., The relationship between cognitive characteristics and decision making, Can. J. Appl. Physiol., 18 (1993) 48–62.
[17] Thomson, J.A., Is continuous visual monitoring necessary in visually guided locomotion? J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform., 9 (1983) 427–443.
[18] Vidal, P.P., Berthoz, A. and Millavoye, M., Difference between eye closure and visual stabilization in the control of posture in man, Aviat. Space Environ. Med., 53 (1982) 166–178.

Science & Sports 1998; 13: 64-74
© Elsevier, Paris

Article original

Adaptations posturales lors de gestuelles spécifiques aux sports de combat

C Perrot[1], R Moes[1*], D Deviterne[2], P Perrin[1, 3**]

[1]*Équilibration et performance motrice, UFR STAPS, université Henri-Poincaré–Nancy 1, 30, rue du Jardin Botanique, 54600 Villers-lès-Nancy;* [2]*laboratoire de biologie et physiologie du comportement, URA CNRS 1293, faculté des sciences, université Henri-Poincaré–Nancy 1, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy;* [3]*laboratoire d'exploration fonctionnelle, service ORL, centre hospitalier universitaire, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France*

(Reçu le 1er février 1997; accepté le 15 novembre 1997)

Résumé

Objectifs. – L'apprentissage sportif permet d'acquérir de nouvelles compétences topocinétiques, morphocinétiques et mentales. Les mécanismes d'intégration sensorielle et d'automatisation du geste divergent cependant selon les disciplines. Nous avons exploré l'hypothèse d'une éventuelle différenciation de l'adaptation posturale lors de la réalisation de gestuelles martiales spécifiques.

Sujets et méthodes. – Le contrôle postural de deux groupes de combattants (karatékas et pratiquants de boxe française) a été évalué en fonction du niveau ou du type d'expertise (novices, techniciens, compétiteurs), en position debout immobile sur une plate-forme et au cours de l'exécution d'un mouvement spécifique (*choku tsuki* ou chassé frontal).

Résultats et discussion. – Les déplacements du centre de pression des pieds liés aux mouvements, étudiés sur les statokinésigrammes et les stabilogrammes, indiquent que la pratique régulière et rigoureuse des sports de combat conduit à une amélioration de la régulation posturale. L'influence de l'entrée visuelle dans le maintien de l'équilibre statique diminue avec le niveau d'expertise du combattant, tout en demeurant primordiale dans la réponse motrice. Les techniciens des deux disciplines ont un contrôle postural plus performant que les compétiteurs et les novices.

Conclusion. – La stratégie d'adaptation posturale individuelle diffère donc en fonction du dessein pratique du combattant (technique ou compétition), l'entrée sensorielle privilégiée semblant devenir le vecteur du contrôle de l'équilibre au quotidien. © 1998, Elsevier, Paris.

posture / contrôle moteur / vision / sports de combat

Summary – Postural adaptations during specific combative sport movements.

Objective. – *Athletic learning and training allow sportsmen to acquire new mental and motor abilities. Nevertheless, sensory integration mechanisms and gesture automation differ according to the discipline practised. Our study planned to appreciate a possible differentiation in the realization of a characteristic martial movement, in relation to the subjects' level of expertise.*

Subjects and methods. – *Two groups of sportsmen (practicing karate or French boxing) were*

---

* Championne d'Europe FNSU de karaté.

** *Correspondance et tirés à part :* Philippe Perrin, même adresse.

submitted to postural control investigation; each had to execute a strike specific for his discipline on a static platform. The displacement of the center of foot pressure (CFP) consecutive to Choku Tsuki or frontal kick were recorded on statokinesigrams and stabilograms.
Results and discussion. *– Karate and French boxing technicians showed a better balance control than novices or competitors. The influence of visual afferences decreased with the fighters'level of expertise. However, visual information was necessary for postural readjustments in order to keep balance during self-generated motion. CFP displacements necessary for strike release and generated by the movement varied depending on the type of touch. Finally, postural adjustments minimized balance perturbations consecutive to voluntary movements.*
Conclusion. *– Combative sports training therefore seems to improve posture regulation, in terms of individual sensorimotor strategies as well as of kick speed. © 1998, Elsevier, Paris.*

posture / motor control / vision / fighting sports

Les principales lignes directrices de tout apprentissage sportif sont l'acquisition de programmes moteurs particuliers, l'automatisation du geste et le traitement optimal des informations sensorielles, sans lequel la réalisation parfaite de toute topocinèse ou morphocinèse ne pourrait être envisagée [18]. Ces trois composantes peuvent être évaluées par la posturographie. Tout bénéfice en termes de contrôle postural résulterait alors de divers processus adaptatifs, et plus précisément du modelage ontogénétique de l'équilibration. Cette fonction particulière implique à la fois les divers capteurs sensoriels, la perception, l'intégration centrale des informations afférentes et le contrôle de la mobilité de la chaîne pluri-articulaire, assurant en permanence la stabilité statique et dynamique du sportif, donc du pratiquant de sports de combat [26].

Différentes entrées sensorielles interviennent dans la régulation inconsciente du maintien de l'équilibre, parmi lesquelles l'oreille interne, la rétine, la proprioception des membres inférieurs et du rachis, et l'extéroception plantaire. Le traitement sélectif de ces informations permet une restauration rapide de l'équilibre en s'appuyant sur l'adéquation entre les synergies musculaires impliquées et la force de contraction développée.

Le contrôle fin de la posture, impliqué dans la stabilité du sujet, serait en fait construit à partir d'un système de référence (fondé sur le développement de l'individu et sur la représentation interne de la verticalité, ou schéma corporel) auquel s'ajoute un système dynamique correctif, par le biais d'une gamme de programmes moteurs réflexes [16]. La précision de la régulation dépend en outre des ajustements posturaux considérés comme des «éléments préprogrammés» et modifiables en fonction des stimuli périphériques [15].

Afin d'optimiser l'efficacité de l'exécution des mouvements mis en jeu au cours de la locomotion, de l'orientation et de la réalisation d'une gestuelle sportive caractéristique, l'homme utilise un ensemble de mécanismes sensorimoteurs maintenant l'équilibre en dépit des contraintes environnementales qui tendent à le perturber [24]. Notre étude se propose donc de vérifier si l'entraînement aux sports de combat (karaté, boxe française) est susceptible d'améliorer le contrôle postural du combattant.

En effet, dans les sports de combat, on attend des «pugilistes» (karatékas et boxeurs) qu'ils maîtrisent leur «puissance physique», leurs «activités musculaires toniques et motrices» (topocinèses et morphocinèses pendant l'exécution des katas), mais avant tout qu'ils parviennent à contrôler leur état d'équilibre afin d'éviter la chute. Nous pouvons donc supposer que des sports essentiellement axés sur les techniques de jambes puissent, par leur pratique, amener les combattants à développer, voire optimiser, leur contrôle postural. Celui-ci dépendrait donc de mécanismes qui ne sont pas définitivement stabilisés au cours de l'ontogenèse et qui sont susceptibles de perfectionnement.

Des épreuves de posturographie statique, réalisées en condition yeux ouverts (YO) ou yeux fermés (YF), viseront à tester cette hypothèse en comparant débutants et pugilistes confirmés.

De ce fait, pour une stratégie de coordination sensorimotrice donnée [12, 22] et après détection par les différents capteurs sensoriels des écarts à la posture verticale de référence, les temps de réaction aux stimulations extrapersonnelles pourraient être plus courts et entraîner une réaction et une correction posturales plus rapides.

En outre, la régulation posturale implique un ensemble de mécanismes sensorimoteurs automatiques et volontaires, la commande nerveuse motrice (faculté décisionnelle plus ou moins consciente, consécutive à la répétition des gestuelles données, et relative au niveau de pratique) permettant la distinction entre réflexes et mouvements intentionnels [13]. En conséquence, l'étude graphique d'une gestuelle martiale caractéristique du karaté, réalisée avec les membres supérieurs (*choku tsuki*), en condition YO et YF, pourrait nous permettre de différencier l'adaptation posturale des sujets experts (techniciens ou compétiteurs) de celle des débutants.

Enfin, la réalisation d'un chassé frontal ou «coup de pied défonçant» mettra en évidence la stratégie de régu-

lation posturale individuelle des boxeurs, liée à leur jambe d'appui préférentielle. En effet, en compétition, le combattant, bien que sachant attaquer ou se défendre avec les deux membres inférieurs, utilise souvent préférentiellement l'un pour l'appui et l'autre pour la frappe, la perturbation posturale liée à l'exécution du mouvement volontaire étant minimisée par les ajustements posturaux anticipatoires (APA). Ceux-ci résultent de la mise en jeu du réseau nerveux adaptatif correctif construit par apprentissage [17]. La stabilisation de l'orientation ou de la position de segments posturaux particuliers (tels que la tête et le tronc) qui servent de référentiels égocentriques pour un mouvement déterminé [21], le maintien de l'équilibre au cours du mouvement en minimisant les déplacements du CPP [24] et une participation au mouvement lui-même (facilitation) constituent les principales finalités de tout APA [3, 17].

Par conséquent, il existerait une stabilité optimale en situation statique monopodale (démontrée par la réalisation d'un chassé frontal et par la mise en évidence électromyographique des synergies musculaires).

Des études antérieures ont montré que l'entraînement sportif jouait un rôle important dans le contrôle postural par le biais de l'acquisition de nouvelles habiletés motrices propres à la nature de l'activité [18, 29]. Chaque performance motrice sous-tend donc l'existence de processus mécaniques volontaires ou automatiques capables de répondre instantanément au déséquilibre par une action d'une logique essentiellement pratique (modifications des appuis au sol, ajustements posturaux...). Le contrôle précis de la posture, qui dépend du choix de la stratégie sensorimotrice la plus appropriée à la situation vécue, est souvent déterminant pour la précision et l'efficacité d'une activité qui s'appuie sur la stabilité du corps [19].

Par conséquent, cette étude posturographique évalue:
- la maîtrise posturale et morphocinétique des sujets en fonction de leur niveau d'expertise;
- l'influence de l'ancrage visuel sur une cible fixe lors de la réalisation de gestuelles martiales caractéristiques;
- les stratégies posturales individuelles (latéralisation du CPP en fonction du type de frappe), dans l'optique de contribuer activement à l'amélioration de l'entraînement des combattants.

SUJETS, MATÉRIEL ET PROCÉDURE

Sujets

Dix-sept sujets, pratiquant le karaté ou la boxe française, ont accepté de participer à cette exploration fonctionnelle de l'équilibration. Ces sportifs ne présentent aucun trouble de l'équilibre d'origine orthopédique ou céphalique (absence de lésions cochléovestibulaires, visuelles ou centrales).

Six d'entre-eux, âgés de 18 à 30 ans, pratiquent le karaté Shotokan (école la plus ancienne en Europe). Parmi ceux-ci, deux sont experts en katas (techniciens, ceinture noire), deux en combat (compétiteurs, ceinture noire), et deux sont débutants (ceinture blanche). Les experts, dont l'ancienneté dans la pratique est supérieure à 6 ans, s'illustrent particulièrement lors de manifestations interrégionales, nationales et internationales.

Le contrôle postural de 11 pratiquants de boxe française, âgés de 19 à 42 ans, a également été évalué. Cet ensemble de boxeurs est composé de sept compétiteurs (C_1 à C_7, dont cinq entraîneurs) et de quatre techniciens (T_1 à T_4, dont trois titulaires d'un brevet d'État), aucun débutant n'ayant pris part à cette investigation. Ces athlètes participent aux compétitions interrégionales et nationales.

L'anamnèse de la population testée (karatékas et boxeurs) permet de supposer que chacun maîtrise sa spécialité et s'illustre tant en démonstration qu'en compétition, ce qui implique la maîtrise de soi (à la fois morphocinétique et mentale), l'acquisition perfectionniste d'habiletés motrices caractéristiques et l'aptitude aux combats, le *randori* faisant partie intégrante de l'entraînement de tous ces sportifs. Si ces pugilistes ont la pratique d'autres activités physiques (base-ball, gymnastique, musculation...), leur fréquence en est moindre et n'a jamais abouti à une participation à des compétitions fédérales.

Matériel et paramètres

Les épreuves de posturographie statique apprécient la qualité naturelle du sujet en matière d'équilibre. Les déplacements du centre de pression des pieds (CPP) sont enregistrés durant 20 secondes à l'aide d'une plate-forme de forces verticales munie de quatre jauges de contrainte (Toennies GmbH, Allemagne). Les positions successives du CPP au cours de l'enregistrement sont matérialisées par un statokinésigramme. Différents paramètres sont recueillis: la surface (S) décrite par les déplacements du CPP, la longueur (L) parcourue lors de ces déplacements, les oscillations antéropostérieures et latérales. L'obtention de valeurs faibles aux deux premiers paramètres est une indication de la stabilité du sujet *(figure 1)*.

De plus, le coefficient XLS = (4–L/4–S) x LS permet d'apprécier l'énergie mise en jeu dans le contrôle postural. La surface mesure la précision du système postural et la longueur l'énergie dépensée [33].

Le stabilogramme est une représentation graphique de l'amplitude des déplacements du CPP en fonction du temps d'enregistrement *(figure 2)*. Les stabilogrammes latéral et sagittal sont le reflet de la posture imposée aux sujets, ainsi que de ses écarts, lors des épreuves statiques.

Chaque test posturographique est effectué en condition YO et YF, permettant ainsi de quantifier le poids de l'entrée visuelle dans le contrôle de l'équilibre, par le quotient de Romberg (QR), qui correspond au rapport de la surface décrite par le CPP en condition YF sur celle obtenue YO [34] ou à celui des longueurs dans ces mêmes conditions [23, 28].

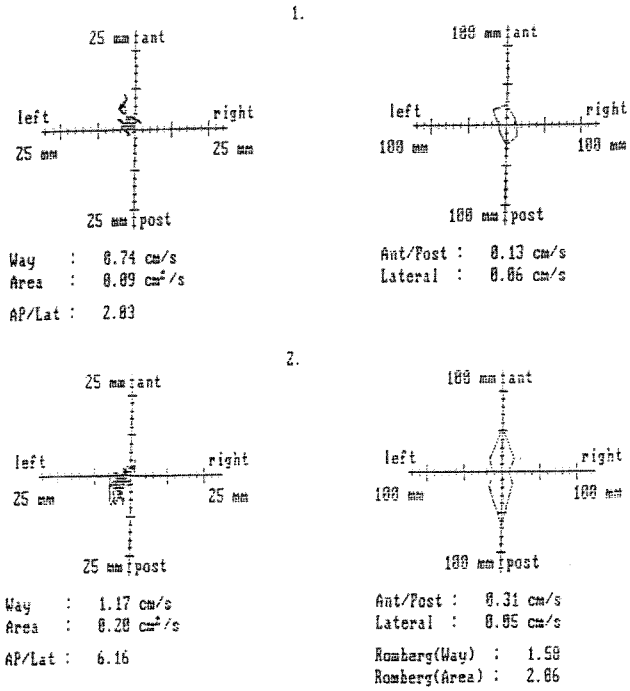


Fig 1. Statokinésigrammes enregistrés chez un karatéka (technicien) en conditions yeux ouverts (1) et yeux fermés (2). La représentation de type histogramme vectoriel en huit quadrants (à droite) permet une meilleure visualisation de la direction préférentielle des oscillations du corps.

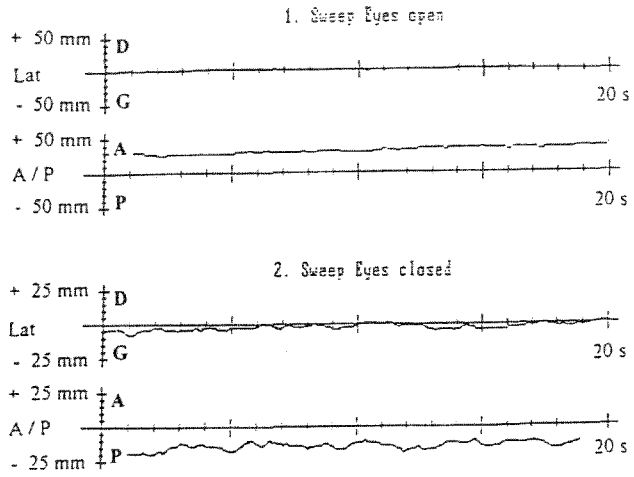


Fig 2. Stabilogrammes latéral (Lat) et antéropostérieur (A/P). Tracé enregistré en condition yeux ouverts (1) et yeux fermés (2).

Procédure

Deux épreuves posturographiques statiques (1er et 2e tests), communes à tous les sportifs, sont réalisées en appui bipodal sur la plate-forme, les bras le long du corps et le regard horizontal fixé sur une cible placée 2 m devant le sujet, en condition YO puis YF, l'enregistrement durant 20 secondes. Deux autres tests statiques (3e et 4e tests), variant selon la discipline pratiquée, apprécient les adaptations posturales des pugilistes lors de la réalisation de gestuelles martiales caractéristiques.

Karatékas

Les consignes, pour le 3e test (YO) et le 4e test (YF), imposaient aux sportifs la réalisation d'une double frappe directe poing droit-poing gauche (*choku tsuki*) à un top sonore, et ce, à partir de la position naturelle de garde (*hachiji dachi*). Le sujet, en garde, est debout, pieds légèrement écartés, talons sur une même ligne, bras gauche tendu devant à l'horizontale (main ouverte, de façon à favoriser le relâchement musculaire et à augmenter les vitesses de réaction et d'exécution) et poing droit armé et collé au niveau des côtes flottantes (en *hikité*).

Le *choku tsuki* est une frappe directe fondamentale, spécifique du karaté, figurant au programme d'entraînement de tous les sujets (quel que soit leur niveau d'expertise). Le mouvement est simple et reproductible, avec rotation du poignet sur une trajectoire rectiligne, le poing décrivant un mouvement de piston *(figure 3)*. Pendant toute la durée du test, le regard demeure fixé au niveau du plexus solaire d'un adversaire imaginaire de taille identique au sujet.

Un signal sonore à la 8e seconde indique au karatéka qu'il doit réaliser immédiatement la gestuelle, en cherchant à combiner de façon optimale force, vitesse et équilibre.

Boxeurs

La deuxième série de tests couple à la fois des épreuves statique et dynamique, des appuis uni- et bipodaux, le sujet étant contraint d'effectuer un chassé frontal à la demande de l'expérimentateur (à la 8e seconde du test). La finalité de cette expérience vise à établir une éventuelle différenciation dans la réalisation du mouvement entre les boxeurs différant par leur mode d'entraînement (technique ou compétition).

Les principales conditions assurant une exécution parfaite du chassé frontal nécessitent un transfert de tout le poids du corps sur la jambe d'appui (ne devant pas s'écarter de sa position initiale), de manière à pouvoir soulever le genou de la jambe de frappe le plus haut possible, tout en prenant soin de le faire passer entre les membres supérieurs en garde. Le pied suit, pendant une partie de la gestuelle, une trajectoire rectiligne et effectue un mouvement de piston *(figure 4)*. Il est primordial que la jambe soit complètement tendue, le talon correspondant au point de contact. Il faut aussitôt réarmer la jambe, après impact, afin de la soustraire du rayon d'action de l'adversaire, puis reposer le pied à terre dans la position de garde.

Le premier chassé est réalisé dans le vide, le pugiliste regardant droit devant lui la cible de son choix. Le second chassé est accompli dans les conditions de combat, c'est-à-dire avec contact, le boxeur heurtant du pied le bouclier tenu à distance

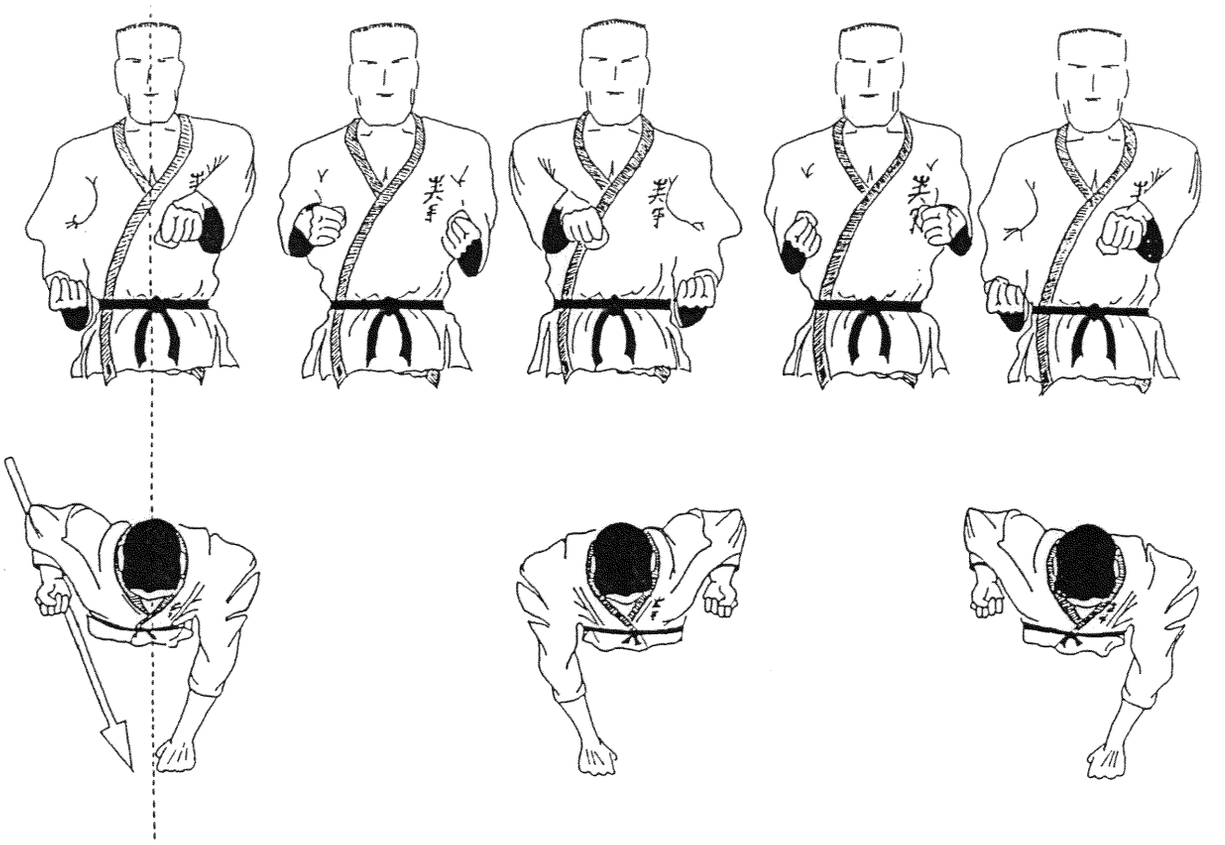


Fig 3. *Choku Tsuki.* Mouvement de rotation du poing sur une trajectoire rectiligne.

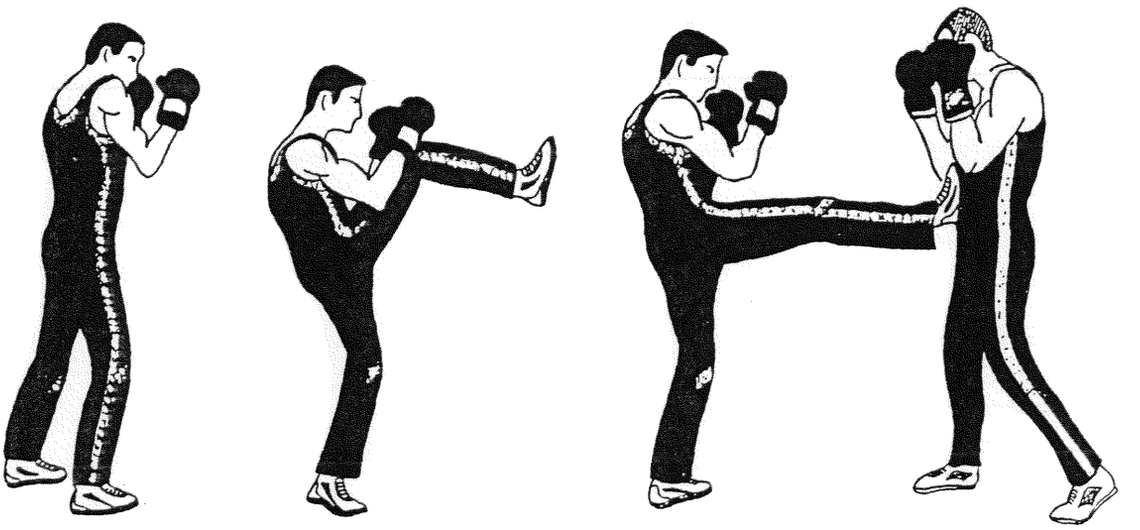


Fig 4. Chassé frontal.

Tableau I. Posturographie statique (durée d'enregistrement: 20 secondes). Évaluation du contrôle postural chez des pratiquants de boxe française et de karaté. Médianes des paramètres étudiés.

Paramètres posturographiques	*Boxe française*		*Karaté*	
	Yeux ouverts	*Yeux fermés*	*Yeux ouverts*	*Yeux fermés*
Antéropostérieure/s (cm)	0,12	0,20	0,14	0,27
Latérale/s (cm)	0,08	0,07	0,06	0,06
Antéropostérieure/latérale	1,46	2,82	1,99	4,30
Longueur/s (cm)	0,83	1,11	0,67	1,12
Surface/s (cm^2)	0,32	0,36	0,15	0,27
Coefficient XLS	0,23	0,37	0,08	0,26
QR-longueur	1,34		1,63	

de frappe. Le chassé frontal a été choisi non seulement pour son intérêt (frappe rapide et puissante), mais également pour des raisons pratiques (garder impérativement le pied d'appui sur l'empreinte prévue à cet effet sur la plate-forme) et d'espace (conditions expérimentales d'agencement de la pièce et du matériel).

Statistiques

Les effectifs réduits des différentes populations étudiées ont conduit à un traitement non paramétrique des données (calcul des médianes et test U de Mann et Whitney pour leurs comparaisons).

RÉSULTATS

Analyse des statokinésigrammes

Au repos, le rapport des oscillations antéropostérieures/latérales est supérieur à 1 dans tous les cas, quel que soit le niveau d'expertise des sujets (YO: 1,46 et 1,99; YF: 2,82 et 4,30 pour respectivement l'ensemble des boxeurs et des karatékas) *(tableau I)*.

Les karatékas semblent osciller davantage dans le plan sagittal que les boxeurs, en condition YO comme YF (l'occlusion palpébrale générant par ailleurs un doublement des valeurs mesurées chez tous les sujets), sans néanmoins que cette différence soit statistiquement significative (YO: U = 29,5, U' = 36,5, z = −0,35, NS; YF: U = 15,5, U'= 50,5, z = −1,76, p = 0,078).

L'étude du quotient de Romberg-longueur ne permet pas non plus de différencier boxeurs (QR = 1,34) et karatékas (QR = 1,63), quoique la tendance mise en évidence semble indiquer que les boxeurs dépendent moins des afférences visuelles que les karatékas (U = 16,5, U'= 49,5, z = −1,66, p = 0,097).

La comparaison des quotients de Romberg-longueur des karatékas experts (QR = 1,50) et débutants (QR = 1,84) n'a pas révélé non plus de différence significative entre ces deux sous-groupes.

Le coefficient XLS montre que la population des karatékas dépense moins d'énergie que celle des boxeurs en condition YO pour assurer la régulation de la posture statique (U = 7,5, U'= 58,5, z = −2,56, p = 0,01). Cette constatation n'est plus valable YF.

La représentation vectorielle des chassés frontaux exécutés par les boxeurs conduit à des résultats différents selon leur mode d'entraînement *(tableau II)*. En effet, que la frappe soit donnée dans le vide ou que le pied heurte le bouclier, les techniciens tendent à se déplacer vers l'avant (rapports AP/Lat respectivement de 1,07 et de 1,40) alors que les compétiteurs oscillent davantage dans le plan frontal (AP/Lat à 0,90 et 0,78). Cette différence comportementale est statistiquement significative lors de l'exécution du premier type de frappe (U = 2,0, U'= 26,0, z = −2,26, p = 0,023).

Les résultats les plus remarquables lors de l'exécution du chassé frontal sont cependant ceux du sujet compétiteur C_1 (Gant d'Argent Technique 1er degré): le rapport AP/Lat mesuré est de 1,86 et les valeurs de surface et de longueur (décrites par le CPP de C_1 au cours de l'épreuve avec contact) sont inférieures à celles observées pour les sujets T_1 à T_4 lorsqu'il leur était demandé de frapper dans le vide. L'appréciation de la dépense d'énergie conduit aux mêmes interprétations *(tableau II)*.

En outre, pour C_1, l'amplitude, le coefficient XLS et la durée d'appui unipodal sont plus faibles lors de la frappe avec contact que lors de celle exécutée dans le vide (respectivement −17, −89 et −25 %) *(tableau II)*. La représentation vectorielle des statokinésigrammes renforce ce constat puisque la surface décrite par le CPP de C_1 est plus petite en conditions réelles de combat (−18 %).

Des similitudes sont aussi observées dans la forme de ces mêmes surfaces, et cela, indépendamment du sportif et de son dessein pratique (compétition ou technique) *(tableau III)*.

Analyse des stabilogrammes

Les variations de l'amplitude des déplacements latéraux et antéropostérieurs du CPP, mesurés dans cette population de pugilistes (karatékas, boxeurs), sont minimes au cours des 20 secondes d'enregistrement du test mené

Tableau II. Étude instrumentale du chassé frontal par le statokinésigramme, en fonction du mode d'apprentissage de la boxe française et du type de frappe.

	*Chassé frontal dans le vide**			*Chassé frontal dans le bouclier***		
	Technique	*Compétition*		*Technique*	*Compétition*	
Antéropostérieure/s (cm)	0,67	0,61	(0,90)	0,82	0,58	(0,75)
Latérale/s (cm)	0,65	0,83	(0,87)	0,55	0,70	(0,40)
Antéropostérieure/latérale	1,07	0,90	(1,03)	1,40	0,78	(1,86)
Longueur/s (cm)	4,44	4,82	(5,44)	5,50	4,90	(4,15)
Surface/s (cm^2)	7,72	7,06	(6,96)	10,82	11,41	(5,70)
Coefficient XLS	3,70	7,84	(18,42)	12,06	6,50	(2,09)

* Condition d'entraînement; ** condition de combat; les valeurs entre parenthèses correspondent aux résultats du sujet compétiteur C_1.

Tableau III. Représentation vectorielle des 2 types de coup de pied (chassé frontal exécuté dans le vide ou avec frappe dans un bouclier).

Sujets	C_1	T_2	T_3
Représentation vectorielle d'un chassé frontal exécuté dans le vide			
Jambe d'appui	Droite	Droite	Gauche
Rapport AP/Lat	1.03	0.98	0.90
Représentation vectorielle d'un chassé frontal en conditions réelles de combat			
Jambe d'appui	Droite	Droite	Gauche
Rapport AP/Lat	1.86	1.61	1.84

YO. Le CPP décrit un tracé plus sinueux, sans augmentation de l'amplitude maximale toutefois, lors de l'occlusion palpébrale.

Néanmoins, le stabilogramme est davantage évocateur lorsqu'il décrit l'amplitude des déplacements du CPP avant, pendant, et après réalisation par le sportif de sa gestuelle spécifique.

Karatékas

Une étude préliminaire d'enregistrements simultanés vidéoscopiques du mouvement du sujet (*choku tsuki*) *(figure 3)* et des déplacements du CPP *(figure 5)* nous a permis d'apprécier leurs interactions. La gestuelle a ainsi été décomposée en sept phases correspondant:
- à la position de garde (phase 1);
- au déclenchement de la frappe droite (phase 2);
- à l'impact du premier coup (phase 3);
- au déclenchement de la frappe gauche (phase 4);
- à l'impact du second coup (phase 5);
- au retour en garde (phase 6);
- à la phase de restabilisation (phase 7) *(figure 5)*.

Ces sept composantes apparaissent constamment dans le décours du mouvement, quel que soit le niveau d'expertise du sujet testé.

La lecture qualitative (orientation) et quantitative (amplitude et durée) des stabilogrammes révèle une nette divergence posturographique entre experts et débutants: en position de garde, par exemple, le CPP des novices se projette en avant et à gauche, contrairement à celui des ceintures noires, qui est situé dans le quadrant postérieur droit. Le top audible à la 8e seconde marque le début de la phase 2. Le poing droit quitte sa position *hikité* et commence sa rotation (supination vers pronation) sur une trajectoire rectiligne. Dans tous les cas, le CPP du sujet oscille vers la droite tout en conservant approximativement sa position sagittale (relative à la condition de garde). L'extension maximale du bras droit conduit à des déplacements antérieurs droits du CPP plus marqués.

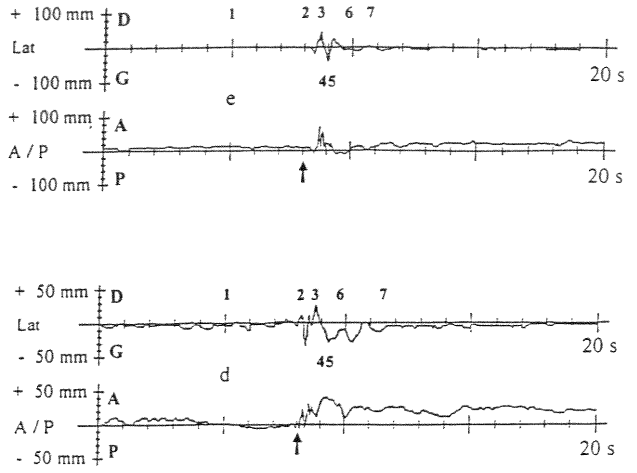


Fig 5. Stabilogrammes latéraux (Lat) et antéropostérieurs (A/P) recueillis lors de l'épreuve statique avec gestuelle *(choku tsuki)* réalisée en condition yeux ouverts par un karatéka expert en combat (e) et par un débutant (d). La flèche indique le top sonore. (1) position de garde ; (2) déclenchement de la frappe droite ; (3) impact du premier coup ; (4) déclenchement de la frappe gauche ; (5) impact du second coup ; (6) retour en garde ; (7) phase de restabilisation.

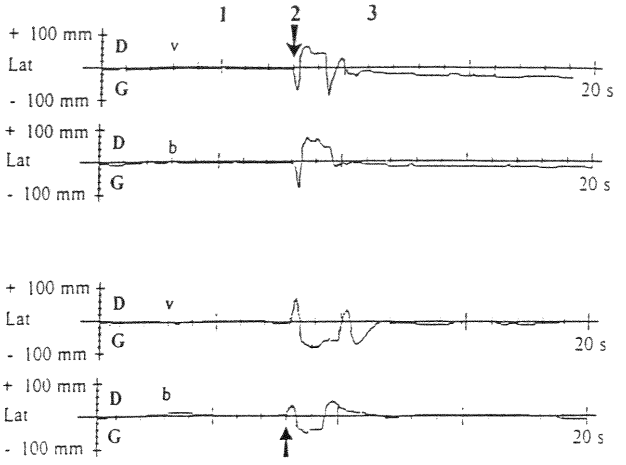


Fig 6. Stabilogrammes latéraux (Lat) enregistrés chez un boxeur gaucher (en haut) et chez un boxeur droitier (en bas) lors de la réalisation du chassé frontal avec frappe dans le vide (v) ou dans un bouclier (b). La flèche indique le top sonore. (1) position de garde ; (2) chassé frontal et retour en garde ; (3) stabilisation post-gestuelle.

Le déclenchement du coup de poing direct gauche tend initialement à recentrer le CPP dans les plans frontal et sagittal, la frappe dans le vide générant, quant à elle, quelques oscillations du sujet vers l'avant et la gauche.

Enfin, le retour en garde se traduit par un glissement du CPP de la gauche vers la droite sans modification graphique antéropostérieure. La phase de restabilisation postgestuelle (phase 7), indissociable de la précédente (phase 6), se caractérise par la conservation des performances posturales préalablement acquises.

Lors du *choku tsuki (figure 3)*, les deux principaux pics d'oscillations latérales ont une amplitude d'autant plus forte (75 mm) et une durée d'autant plus courte (0,6 s), se traduisant sur le stabilogramme *(figure 5)* par des angles de pics plus aigus, qu'il s'agit de sportifs de haut niveau. Pour cette même gestuelle, l'amplitude de ces oscillations chez les débutants n'excède pas 60 mm, alors que la durée d'une seule frappe directe atteint 1 seconde. L'absence d'oscillations décelables pendant la phase de restabilisation est, en outre, une caractéristique des experts.

Nous constatons aussi, dans tous les cas et donc quel que soit le niveau de pratique du karatéka, que le CPP du sujet se déplace toujours ipsilatéralement au coup de poing direct (*atémi*), avec un passage obligatoire par le centre du repère entre les deux frappes.

Enfin, l'occlusion palpébrale perturbe la faculté de régulation posturale de tous ces sujets. En effet, aucun d'entre eux n'est capable de reproduire les résultats obtenus YO. Les principales caractéristiques du tracé obtenu YF permettant cette constatation concernent:

– l'évolution des pics, d'amplitude et de durée moindres (sauf pour les techniciens);
– la phase 6 de retour en garde, plus longue temporellement;
– le nombre croissant d'oscillations postgestuelles persistantes.

Il faut également souligner que les oscillations du CPP, consécutives à la restabilisation chez les débutants, sont plus importantes (en nombre et en amplitude) que celles des experts. Les stabilogrammes des compétiteurs et des techniciens, obtenus en condition YF, demeurent comparables à ceux des novices évoluant YO.

Boxeurs

La période temporelle (20 s) découpée en trois phases nous a permis d'apprécier la préparation, l'action et l'adaptation posturale postexercice; la 1re phase (7 premières secondes) correspond à la position de garde, la 2e (8e à 13e seconde) à la réalisation du chassé frontal et au retour en garde, la 3e (14e à 20e seconde) à la stabilisation postgestuelle (réaction).

Pour les deux types de frappe, chez les 11 sujets, les stabilogrammes (illustrés par quatre des 22 tracés de la *figure 6*) montrent un déplacement du CPP (matérialisé sur le graphe par une échancrure approximativement trapézoïdale) du côté de la jambe d'appui pendant toute la durée de la frappe. Deux pics, axialement opposés à l'échancrure, apparaissent aussi de part et d'autre de cette dernière. Ils coïncident avec la phase de décolle-

ment du pied (pic initial) et avec celle de retour en garde (pic final).

Un chassé frontal exécuté avec la jambe gauche *(figure 6)* occasionne d'abord un bref déplacement du CPP vers la gauche (1er pic), puis une longue phase à droite compatible avec le maintien de l'équilibre pendant toute la durée de la frappe (échancrure) avant que n'apparaisse une nouvelle oscillation à gauche (2e pic).

La phase totale correspondant à la frappe (depuis l'étape d'envol du pied jusqu'au retour à un état d'équilibre bipodal stable) dure en moyenne 1,4 seconde pour un déplacement du CPP de 156 mm, lors de l'exécution du mouvement décomposé. La durée et l'amplitude augmentent légèrement dans la deuxième épreuve (1,5 s/166 mm), sans que cette différence soit statistiquement significative.

Quel que soit l'athlète, un glissement du CPP vers la jambe d'appui est toujours observé lors de la réalisation des chassés frontaux. Les stabilogrammes sagittaux indiquent, enfin, un déplacement du CPP vers l'avant pendant toute la durée de la frappe. Cela concorde avec la conception (théorique) même du chassé frontal.

Le CPP des boxeurs oscille controlatéralement à la frappe, celui des karatékas ipsilatéralement à l'*atémi*.

Bien que les deux gestuelles étudiées soient différentes, il apparaît toutefois que le CPP se déplace toujours vers le membre inférieur porteur, le *choku tsuki* nécessitant également une prise d'appui au sol adéquate (à partir de laquelle est produite la frappe), comme l'ont montré les tracés des experts dans cette discipline.

DISCUSSION

Cette étude se proposait de vérifier si l'entraînement spécifique à un sport de combat était susceptible d'optimiser le contrôle postural chez des sujets expérimentés, en essayant de montrer l'importance des afférences visuelles dans la fonction d'équilibration [7, 18, 21]. Les tests proposés ici aux pugilistes ont reflété l'automatisation du geste résultant de l'apprentissage d'habiletés motrices particulières.

La prépondérance des déplacements antéropostérieurs par rapport aux déplacements latéraux, mise en évidence lors des deux premiers tests statiques, peut s'expliquer par le nombre de degrés de liberté articulaires impliqués, plus important dans le plan sagittal (articulations tibioastragalienne, tibiofémorale, coxofémorale, vertébrales...) que dans le plan frontal *(figure 1)*. Toutefois, chez les boxeurs compétiteurs, les oscillations latérales sont supérieures aux oscillations antéropostérieures lors de la réalisation du chassé frontal, bien que le coup de pied défonçant soit exécuté dans le plan sagittal *(tableau II)*.

L'entrée visuelle, et par conséquent l'intégration de la position d'une cible visuelle dans l'espace extrapersonnel, n'est donc pas le seul facteur intervenant dans le rapport AP/Lat. De plus, ce processus intégratif de chaque image requiert au moins la convergence de trois types d'informations: rétiniennes, extrarétiniennes (indiquant la position de l'œil dans l'orbite) et céphalonucales (relatives à la position de la tête par rapport au tronc) [31, 32].

L'ensemble des tests posturographiques statiques réalisés en condition YF montre des différences entre les débutants, pour lesquels les signaux rétiniens demeurent prépondérants, et les experts, moins perturbés par l'occlusion palpébrale et d'autant plus stables que leur niveau technique est élevé. Ainsi, les experts adoptent-ils la stratégie la plus adaptée au compromis entre les impératifs commandés par les caractéristiques de la tâche et les possibilités fonctionnelles du système déterminées par son organisation interne [31].

Les sportifs dont le contrôle postural est le plus performant sont ceux chez lesquels la relation entre les processus psychophysiologiques liés à la maturation sous l'effet de l'ontogenèse [11, 27] et ceux en rapport avec l'entraînement sportif a pu exister dans la mesure où leur pratique s'effectue depuis l'enfance ou l'adolescence.

Dès lors, l'amélioration et la maîtrise progressive du contrôle postural consécutivement à l'apprentissage d'une discipline martiale sont également constatées lors de l'investigation avec gestuelle, car les ceintures blanches restaurent de façon moins performante leur état d'équilibre après la frappe. Ceci se matérialise par un nombre croissant d'oscillations sagittales et frontales, dont l'amplitude excède par ailleurs celle des décentrements consécutifs au mouvement. Les experts ne parviennent pas non plus à reproduire les résultats obtenus en condition YO. La perte de l'ancrage visuel perturbe donc la faculté de régulation morphocinétique et posturale [20].

De plus, l'observation empirique de la position de la tête [25] des sujets en garde révèle une inclinaison systématique vers le bas du plan de Francfort, et donc du regard. Ce plan de référence, qui passe par le pôle supérieur du méat auditif externe et par le bord orbitaire inférieur, fait un angle de 30° avec le plan des canaux semicirculaires latéraux, oblique en bas et en arrière. L'orientation céphalique du combattant en garde horizontaliserait donc le plan de ces canaux semi-circulaires. Dans tous les sports de combat, la position de garde est donc, au-delà des avantages de protection et d'équilibre, une position de confort physiologique.

L'intégration continuelle des informations sensorielles pertinentes (visuelles céphalonucales entre autres) est aussi nécessaire à l'exécution parfaite d'un mouvement, corrélativement à l'adaptation des stratégies posturales induites par l'entraînement [14, 19, 20].

Enfin, le système nerveux central moteur adapte progressivement son modèle (représentation mentale du geste à accomplir) à l'épreuve, en cherchant à réduire au

minimum les éventuelles erreurs dans la réponse motrice. La réalisation d'un mouvement spécifique n'est donc jamais initiée tant qu'elle n'est pas définie centralement [5, 19], le caractère multidéterminé de la performance dépendant à la fois de l'efficacité des processus cognitifs (stratégies de prise de décision et prédiction des modifications environnementales) et réflexes (réactions posturales et anticipation) sollicités dans l'action [6].

Cet ensemble de processus cognitifs et réflexes explique la phase initiale de garde pendant laquelle le karatéka se prépare mentalement et physiquement à déclencher sa frappe, en modifiant ses appuis au sol et en concentrant son attention sur la partie supérieure du thorax de son adversaire. Cette phase de préparation totale permettrait, en outre, d'augmenter la vitesse de réaction de la gestuelle [6].

La position de garde (*hachiji dachi*) adoptée par le karatéka, corrélativement aux conditions expérimentales (surface d'appui et gestuelle imposées), constitue un APA. Celui-ci dépend de la vitesse du mouvement à venir et de la conception même de la gestuelle respectant les axes corporels: cela suggère un déplacement préalable et obligatoire du CPP (donc du poids du corps du karatéka) vers le pied d'appui [9], c'est-à-dire du côté du poing «armé» (en position *hikité*). Le *choku tsuki*, comme tous les types de frappe rapide et énergique, nécessite donc d'abord une prise au sol adéquate avant que ne soit déclenché le coup.

Notre raisonnement, fondé sur des résultats posturographiques, ne tient cependant pas compte du fait que l'on puisse exécuter le *choku tsuki* sans appui au sol, c'est-à-dire en sautant, bien que frapper en sautant nécessite également une prise d'appui adéquate au moment de l'impulsion tout en augmentant par ailleurs la vulnérabilité du sujet qui porte la frappe.

La «libération d'énergie», véhiculée depuis la cheville vers le poing ipsilatéral, par la hanche, n'est pas encore maîtrisée par les novices. Ceux-ci subissent plus le mouvement qu'ils ne le contrôlent; cela se traduit par une tendance à l'inclinaison vers l'avant et vers la gauche consécutivement à la condition de garde. En outre, les oscillations du CPP enregistrées sont fonction de l'amplitude de la gestuelle. Le tracé observé, particulièrement sinueux chez les novices, confirme l'incapacité du sujet à maîtriser le mouvement, sans adéquation entre la force et la vitesse, un débutant étant emporté par son élan.

L'investigation menée en condition YF conduit aux mêmes constatations, la régulation posturale consécutive aux perturbations induites par le mouvement (volontaire ou automatique) étant alors plus rapide [15], quel que soit le niveau d'expertise du sujet. Les conditions requises pour réaliser un mouvement optimal ne sont donc plus respectées, l'augmentation de la vitesse s'effectuant au détriment de l'amplitude du *choku tsuki*. Bien qu'habitués à pratiquer leur discipline YF en démonstration, les karatékas experts paraissent paradoxalement gênés par la privation des afférences visuelles.

Dans le cadre de l'analyse du chassé frontal, nous constatons que le déplacement du CPP vers la jambe d'appui, compatible avec le maintien de l'équilibre, est manifestement un prérequis au déclenchement de la frappe [30], l'activation plus précoce du muscle tibialis anterior de la jambe d'appui [21] résultant du fonctionnement synergique des muscles des membres inférieurs impliqués dans le passage de la station bipodale à la station unipodale [3].

Cette réponse musculaire anticipée (réflexe vestibulospinal [1] ou voies corticospinales [8]) s'exprime chez les sportifs par un temps de latence plus court.

L'équilibration dépend donc, au-delà du système conservatif fondé sur le schéma corporel, de nouveaux réseaux nerveux adaptatifs construits par l'entraînement [16]. Ces nouvelles connexions ont pour conséquence une amélioration de la performance. Il en résulte que les ajustements posturaux tendent à minimiser les perturbations de l'équilibre consécutives aux mouvements volontaires [4], la bonne qualité de la performance étant liée à une préparation posturale et/ou motrice précoce plus adaptée. Les ajustements posturaux sont «anticipatifs» [10]. L'anticipation est donc une caractéristique des sports de combat.

Enfin, le couple «C_1 et son adversaire» pourrait être assimilé à un «tripode» lors de la réalisation du chassé frontal, le point d'impact du pied permettant la jonction des deux adversaires. En effet, certains auteurs comparent souvent les judokas, en posture orthostatique, à un tétrapode ou à un quadrupède du fait de leur opposition front à front ou avant-bras à avant-bras, la saisie de la veste du kimono leur permettant d'accroître leur stabilité ainsi que leur perception du moindre déplacement [2, 7]. De la même manière, nos résultats révèlent que la pratique de la boxe française conduit à une amélioration de l'équilibre du compétiteur, la fonctionnalité du tripode se traduisant par une diminution de l'amplitude, de la surface et de la durée du chassé frontal. Le coefficient XLS indique en outre que la dépense d'énergie liée au mouvement est réduite lors des assauts. L'apprentissage du combat permet donc aux boxeurs de perfectionner leur gestuelle, ce qui implique une dépense d'énergie moindre liée au choix d'informations sensorielles sélectives à partir desquelles est fondée la référence posturale.

CONCLUSION

Les tests posturographiques nous ont montré l'influence positive de la pratique régulière et rigoureuse des sports de combat sur le contrôle de l'équilibre, tout en comparant l'acquisition d'habiletés martiales différentes selon la finalité de l'entraînement (compétition ou technique).

Les différences observées démontrent que chaque type d'apprentissage conduit à des réactions posturales qui lui sont propres. Ces pugilistes expérimentés se sont donc montrés aptes à sélectionner la stratégie posturale adéquate à la tâche proposée, en s'appuyant sur un axe sensoriel performant prédéterminé par leur dessein pratique: la prévalence de l'entrée visuelle est une caractéristique du karaté et de la boxe française. En effet, ces sports de combat privilégient un certain écart entre les deux compétiteurs et excluent la poursuite du *randori* au corps à corps (où la vision n'est plus essentielle, comme en judo). Le contrôle fin de la posture est dès lors primordial pour résoudre avec précision et efficacité certains mouvements qui dépendent de la stabilité du corps.

Ces résultats semblent confirmer que l'automatisation du geste et l'acquisition de programmes moteurs spécifiques résultent d'un traitement mental particulier des informations sensorielles sélectionnées. L'apprentissage des sports de combat conduirait donc à une amélioration de la régulation posturale, en termes de stratégies individuelles (automatismes) comme en termes de vitesse ou de latence (anticipation) et permettrait ainsi l'acquisition d'une sensibilité sensorielle sélective, désormais vectrice du contrôle postural au quotidien.

RÉFÉRENCES

1 Allum JHJ. Posturography systems: current measurement concepts and possible improvement. In: Brandt T, ed. *Disorder and posture and gait*. New York: Georg Thieme Verlag; 1990. p 16-28

2 Barrault D, Brondani JC, Rousseau D. *Médecine du judo*. Paris: Masson ; 1991

3 Béraud P, Gahéry Y. Les ajustements posturaux précoces liés aux coups de pied en boxe française savate et leur modulation en fonction des paramètres du mouvement. *Sci Mot* 1995 ; 26 : 33-41

4 Béraud P, Gahéry Y. Relationships between the force of voluntary leg movements and the associated postural adjustments. *Neurosci Lett* 1995 ; 194 : 177-80

5 Bernstein N. *Coordination and regulation of movements*. New York: Pergamon Press; 1967

6 Brisswalter J, Legros P. Intéractions entre les processus physiologiques et cognitifs: modèles théoriques et approche méthodologique. *Science & Sports* 1996 ; 11 : 71-80

7 Crémieux J, Perrin P, Mesure S. Posture, équilibre et activités physiques et sportives. In: Lamendin H, Courteix D, éds. *Biologie et pratique sportive*. Paris: Masson ; 1995. p 98-113

8 Diener HC, Dichgans J. On the role of vestibular and somatosensory information for dynamic postural control in humans. *Prog Brain Res* 1988 ; 76 : 253-62

9 Do MC, Bussel B, Brenière Y. Influence of plantar cutaneous afferents on early compensatory reactions to foward fall. *Exp Brain Res* 1990 ; 79 : 319-24

10 Gahéry Y, Massion J. Coordination between posture and movement. *TINS* 1981 ; 81 : 199-202

11 Hertogh C, Micallef JP, Peruchon E. Étude transversale de la posturographie pendant l'adolescence. *Science & Sports* 1994 ; 9 : 155-60

12 Horak FB, Henry SM, Shumway-Cook A. Postural perturbations: new insights for treatment of balance disorders. *Phys Ther* 1997 ; 77 : 517-33

13 Houk JC. Participation of reflex mechanisms and reaction time process in the compensatory adjustments to mechanical disturbance. In: Desmedt JE, ed. *Cerebral motor control in man: Long loop mechanisms*. New York: Karger Basel; 1978. p 4

14 Lajoie Y, Teasdale N, Bard C, Fleury M. Attentionnal demands for static and dynamic equilibrium. *Exp Brain Res* 1993 ; 97 : 139-44

15 Ledin T, Odkvist M. Visual influence on postural reactions to sudden anteroposterior support surface movements. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 1991 ; 111 : 813-9

16 Lestienne F, Gurfinkel V, Levik Y, Perrin P. Posture et gestuelle en microgravité: un outil d'investigation pour la physiologie sensori-motrice. *Méd Aéro Spa* 1994 ; 33 : 92-7

17 Massion J. Positionnement de la tête et du tronc, équilibre et mouvement. In: Pélissier J, Brun V, Enjalbert M, éds. *Problèmes en médecine de rééducation*. Paris: Masson ; 1993 ; 26 : 24-32

18 Mesure S, Bonnet M, Crémieux J. L'entraînement sportif peut-il influencer le contrôle postural statique ? *Sci Mot* 1994 ; 21 : 39-47

19 Mesure S, Crémieux J, Amblard B. Les stratégies et performances posturales sensori-motrices: effet de l'entraînement. *Ann Kinésithér* 1995 ; 22 : 151-63

20 Moes R, Perrot C, Denis G, Perrin P. Contrôle postural lors d'une gestuelle spécifique chez le karatéka. *Arch Phys Biochem* 1996 ; 104 : 622

21 Mouchnino L, Aurenty R, Massion J, Pedotti A. Coordination between equilibrium and head-trunk orientation during leg movement: a new strategy built up by training. *J Neurophysiol* 1992 ; 67 : 1587-98

22 Nashner LM, Mc Collum G. The organization of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis. *Behav Brain Sci* 1985 ; 8 : 135-72

23 Norré ME. Posture in otoneurology. *Acta Oto-Laryngologica Belg* 1990 ; 44 : 55-181

24 Pedotti A. Electrophysiological kinesiology. Proceedings of the ISEK'92 congress. Florence, June 29-July 2, 1992

25 Perrin P, Perrin C, Leheup B, Pierson M, Pernot C. Intérêt des techniques anthropométriques en otologie infantile. *Rev Laryngol Otol Rhinol* 1989 ; 110 : 27-31

26 Perrin P, Lestienne F. *Mécanismes de l'équilibration humaine: exploration fonctionnelle, application au sport et à la rééducation*. Paris: Masson ; 1994

27 Perrin P. Rôle des activités physiques et sportives dans la maturation de la fonction d'équilibration chez l'enfant et chez l'adolescent. In: *Vertiges*. Paris: Arnette Blackwell ; 1996. p 97-109

28 Perrin P, Perrin C. Exploration des afférences sensorielles et du contrôle moteur de l'équilibration par la posturographie statique et dynamique. *Ann Oto-Laryngol* 1996 ; 113 : 133-46

29 Perrin P, Béné MC, Perrin C, Durupt D. Ankle trauma significantly impairs posture control: a study in basketball players and controls. *Int J Sports Med* 1997 ; 18 : 387-92

30 Perrot C, Moes R, Vançon G, Perrin P. Rôle des afférences visuelles dans le contrôle postural chez les pratiquants de boxe française. *Arch Phys Biochem* 1996 ; 104 : 624

31 Ripoll H. Stratégies oculo-motrices impliquées dans l'exécution des habiletés sportives de précision. In: Azémar G, Beaubaton D, Durey A et al, éds. *Neurosciences du sport. Traitement des information visuelles, prises de décision et réalisation de l'action en sport*. Paris: INSEP ; 1987. p 301-25

32 Rossetti Y, Tadary B, Prablanc C. Optimal contributions of head and eye positions to spatial accuracy in man tested by visually directed pointing. *Exp Brain Res* 1994 ; 97 : 487-96

33 Toupet M, Gagey PM, Heuschen S. Vestibular patients and aging subjects loose use of visual input and expand more energy in static postural control. In: Vellas B, Toupet M, Rubenstein L, Albarède JL, Christen Y, eds. *Balance and gait disorders in the elderly*. Amsterdam: Elsevier; 1991. p 183-98

34 Van Parys JAP, Njiokiktjien Ch. Romberg's sign expressed in a quotient. *Agressologie* 1976 ; 17B : 95-100

Effects of physical and sporting activities on balance control in elderly people

Philippe P Perrin, Gérome C Gauchard, Cyril Perrot, Claude Jeandel

Abstract

***Objective*—Balance disorders increase with aging and raise the risk of accidental falls in the elderly. It has been suggested that the practice of physical and sporting activities (PSA) efficiently counteracts these age related disorders, reducing the risk of falling significantly.**

***Methods*—This study, principally based on a period during which the subjects were engaged in PSA, included 65 healthy subjects, aged over 60, who were living at home. Three series of posturographic tests (static, dynamic with a single and fast upward tilt, and dynamic with slow sinusoidal oscillations) analysing the centre of foot pressure displacements or electromyographic responses were conducted to determine the effects of PSA practice on balance control.**

***Results*—The major variables of postural control were best in subjects who had always practised PSA (AA group). Those who did not take part in PSA at all (II group) had the worst postural performances, whatever the test. Subjects having lately begun PSA practice (IA group) had good postural performances, close to those of the AA group, whereas the subjects who had stopped the practice of PSA at an early age (AI group) did not perform as well. Overall, the postural control in the group studied decreased in the order AA>IA>AI>II.**

***Conclusions*—The period during which PSA are practised seems to be of major importance, having a positive bearing on postural control. It seems that recent periods of practice have greater beneficial effects on the subject's postural stability than PSA practice only at an early age. These data are compatible with the fact that PSA are extremely useful for elderly people even if it has not been a lifelong habit.**

(*Br J Sports Med* 1999;33:121–126)

Keywords: posture; elderly; training; posturography

Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives, Université Henri Poincaré - Nancy 1, F 54 600 Villers-lès-Nancy, France
P P Perrin
G C Gauchard
C Perrot

Laboratoire d'Exploration Fonctionnelle, Service ORL, Centre Hospitalier Universitaire de Nancy, F 54 500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France
P P Perrin

Inserm U420, Faculté de Médecine de Nancy, F 54 500, Vandoeuvre-lès-Nancy, France
P P Perrin

Service de Médecine Interne B, Gérontologie, Centre Hospitalier Universitaire de Nancy, F 54 500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France
C Jeandel

Correspondence to: Prof Ph Perrin, Equilibration et Performance Motrice, UFR STAPS, Université Henri Poincaré - Nancy 1, 30, rue du Jardin Botanique, 54 600 Villers-lès-Nancy, France.

Accepted for publication 21 December 1998

Balance requires a contribution from three areas—namely, information provided by balance sensors (visual, vestibular, and somatosensory), central integration in the brain, and motor response. Failure of postural control under adverse environmental factors, in association with the alteration of this tripartite system owing to aging, might be responsible for the falls of elderly people.[1] These falls, a real problem in public health, are the main cause of accidental death in the elderly.[2] Decline in postural control is influenced by inactivity,[3 4] yet several studies have shown that the practice of physical and sporting activities (PSA) at various levels of skill improves postural performances[5–7] and reduces, as a consequence, the number of falls.[8–10] However, these studies were all based on setting up a training programme for a group and comparing this group with an untrained control group, or on a comparison of several training programmes. Our study examined balance control for four groups of older adults, grouped according to the period during which they had practised PSA. We wanted to examine the influence of continuous PSA practice on postural control in the elderly, and to determine whether it is beneficial for an elderly person to start a physical activity programme at an age when he/she might not be motivated to begin exercising.

Subjects and methods

SUBJECTS

Sixty five retired subjects aged over 60 who were living at home were recruited from a cohort of elderly subjects taking part in a larger study on age related physiology. They were contacted by telephone and agreed to come to the centre housing posturographic facilities.

The subjects comprised 43 women and 22 men, aged between 60 and 85 (mean (SE) 71.8 (0.8)) who all lived at home and could perform their daily tasks without help. Moreover, they were free from any disease of the central nervous system and did not show any orthopaedic disorder either of the trunk or the lower limbs as assessed previously in the larger study mentioned above. All had been examined by bone densitometry, had had an ear, nose and throat examination, and psychometric evaluation, confirming their overall good health. All subjects had comparable body mass indices.

Before the balance and posturography tests were performed—that is, without knowledge of the outcome of these tests, a questionnaire and a complementary interview were used to define four groups according to the period during which PSA were practised. None of the subjects tested was or had been a professional sportsperson. The physical activities reported had been or were practised for leisure. The groups were as follows:

- The first group comprising 13 subjects (10 women, 3 men, mean age 73.9) who had practised PSA all their life, with only a minor interruption, if any, was called "active-active" (AA). They still practised at least one sporting activity (walking, swimming, cycling, or tennis).

STAPS, 1998, 46-47, 53-64

RAPPORT DE RECHERCHE

Intérêt de la crâniocorpographie dans l'évaluation des afférences somatosensorielles

Philippe PERRIN[1,2], Cyril PERROT[1], Dominique DEVITERNE[3], Gil DENIS[1] et Dieter SCHNEIDER[4]

1. Equilibration et Performance Motrice, Faculté du Sport, Université Henri Poincaré-Nancy 1, 54600 Villers-lès-Nancy
2. INSERM, Unité 420 - Epidémiologie - Santé - Travail, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy
3. Laboratoire de Biologie et Physiologie du Comportement, CNRS, URA 1293, Faculté des Sciences, Université Henri Poincaré - Nancy 1, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy
4. Université de Würzburg, Allemagne

Résumé

Afin de déterminer le rôle des afférences extéroceptives et proprioceptives dans l'équilibration, un test non invasif est utilisé, faisant intervenir une modification de la réaction du sol, sans action directe sur le sujet. L'évaluation est effectuée à l'aide de la crâniocorpographie, méthode photo-optique d'analyse des mouvements de la tête et des épaules en vue supérieure.

Une marche sur place, yeux bandés, a été étudiée successivement sur sol dur et sur sol mousse chez 30 sujets, âgés de 18 à 40 ans (moyenne = 23 ans). Dans cette dernière situation expérimentale, le déplacement linéaire est moins marqué et les oscillations latérales, la déviation angulaire et la rotation du corps sont plus importantes. Ces accentuations de ces deux derniers paramètres sont présentes essentiellement dans la dernière partie du tracé.

Ceci suggère que la modification de la représentation en mémoire de la posture de départ ne débuterait qu'après un certain délai et serait d'autant plus importante que les informations somatosensensorielles perçues par le sujet sont inhabituelles et perturbées.

Ces résultats confirment qu'en l'absence de vision, le système vestibulaire et la proprioception ne compensent pas totalement une perturbation appliquée au niveau des entrées extéroceptives plantaires, d'autant plus que la biomécanique de la marche est également affectée, justifiant ainsi la pratique d'un entraînement de l'équilibre dans cette situation expérimentale pour améliorer cette compensation.

Mots-clés : posture, équilibration, afférences somatosensorielles, marche sur place, mémoire.

Craniocorpography : a useful tool to appreciate somatosensory afferences

Abstract.

To appreciate the respective role of exteroceptive and proprioceptive afferences in balance control, we developed a non invasive test based on manipulation of the support texture, without direct action on the subject tested. Balance control was appreciated with a craniocorpograph, allowing a photo-optical analysis of the movements of the head and shoulders, viewed from above the subject.

Philippe PERRIN Tél. : 03 83 90 56 27 Fax : 03 83 90 28 42 E-mail : Philippe.Perrin@staps.u-nancy.fr

RÔLE DES AFFÉRENCES VISUELLES DANS LE CONTRÔLE POSTURAL CHEZ LES PRATIQUANTS DE BOXE FRANÇAISE

C. PERROT, R. MOES, G. VANÇON et Ph. PERRIN
Equilibration et Performance Motrice, UFR STAPS - Faculté du Sport et Laboratoire d'Exploration Fonctionnelle, Service ORL, CHU de Nancy-Brabois, Université Henri Poincaré - Nancy 1.

INTRODUCTION

Traitement optimum des informations sensorielles, automatisation du geste et acquisition de programmes moteurs particuliers sont les trois lignes directrices de tout apprentissage sportif (1). Notre étude a porté sur l'évaluation d'une éventuelle amélioration du contrôle postural consécutive à la pratique de la Boxe Française à partir de tests visant à démontrer le poids des afférences visuelles, la commutation des entrées sensorielles ainsi que l'acquisition et l'intégration de nouvelles habilités perceptuelles et motrices propres aux sports de combat (2).

SUJETS, MATÉRIEL ET MÉTHODE

Des tests posturographiques ont été enregistrés chez 11 pugilistes (7 compétiteurs et 4 techniciens, de sexe masculin, âgés de 19 à 50 ans, m=29) : 5 du premier groupe et 3 du second sont des entraîneurs. L'évaluation du contrôle postural, à l'aide de statokinésigrammes et de stabilogrammes, a été effectuée chez des sujets debout, immobiles, bras le long du corps, en condition yeux ouverts (YO) et yeux fermés (YF), puis lors de la réalisation de 2 chassés frontaux (coups de pied défonçants), le premier dans le vide et le second dans un sac de frappe. Des épreuves dynamiques ont permis d'apprécier, par le biais de l'analyse spectrale (FFT) du déplacement du centre de pression des pieds ou par électromyographie, les réactions posturales secondaires à une destabilisation quantifiée (provoquée par un mouvement brutal et unique ou lent et prolongé du support) associée ou non à une stimulation visuelle globale (par un générateur optocinétique produisant un défilement ascendant ou descendant de la scène).

RÉSULTATS

Les statokinésigrammes ne révèlent pas de différence significative entre les 2 groupes de boxeurs en condition YO ou YF et indiquent que leurs quotients de Romberg respectifs demeurent inférieurs à ceux de témoins. De plus, les techniciens (quel que soit le type de frappe) tendent à se déplacer vers l'avant - tel qu'il l'est précisé dans les manuels relatifs aux sports de combat - alors que les compétiteurs oscillent latéralement. Les stabilogrammes et leurs FFT indiquent que le centre de pression des pieds se déplace vers la jambe d'appui pendant toute la durée du chassé frontal et que cette gestuelle respecte le même domaine fréquentiel, indépendamment des sujets ou du type de frappe. L'électromyographie montre en outre une activation anticipée du muscle tibial antérieur de la jambe d'appui. Lors d'oscillations lentes et prolongées du support (Fig. 1), en condition YO, les boxeurs régulent leur équilibre selon une séquence d'activation musculaire distoproximale, alors que la vection linéaire descendante et l'occlusion palpébrale sont source d'inconfort postural. La stimulation optocinétique ascendante conduit à la chute de 63% des entraîneurs.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les statokinésigrammes indiquent, par le biais des quotients de Romberg, que la vision de type statique (position et/ou orientation) ne joue pas un rôle majeur dans la régulation posturale des boxeurs. Les tests optocinétiques confirment cette première observation en montrant la prévalence de la fonction proprioceptive de l'oeil (détection du mouvement) dans le maintien de l'équilibre. L'apprentissage amène le pugiliste à privilégier ce canal sensoriel en combat (équilibre dynamique et/ou statique) ; ceci explique la chute de 63% des entraîneurs, qui n'apprécient leur partenaire qu'en terme de paramètres dynamiques (vitesse, trajectoires). D'autre part, l'exécution parfaite d'un mouvement nécessite l'intervention de processus cognitifs, l'automatisation ne résultant que d'une modification du degré de conscience du geste à accomplir. Les techniciens, d'après les résultats obtenus au test statique avec gestuelle, font intervenir le schéma corporel (contrôle central de la frappe à venir). Les compétiteurs privilégient, quant à eux, la vitesse d'éxécution en intégrant sélectivement quelques informations périphériques. Cette habileté perceptuelle résulte de l'entraînement et conditionne la performance motrice à partir de la demande environnementale. L'apprentisage sportif de nouvelles dextérités permet donc l'acquisition d'une enveloppe sensorielle particulière, désormais vectrice du contrôle postural au quotidien.

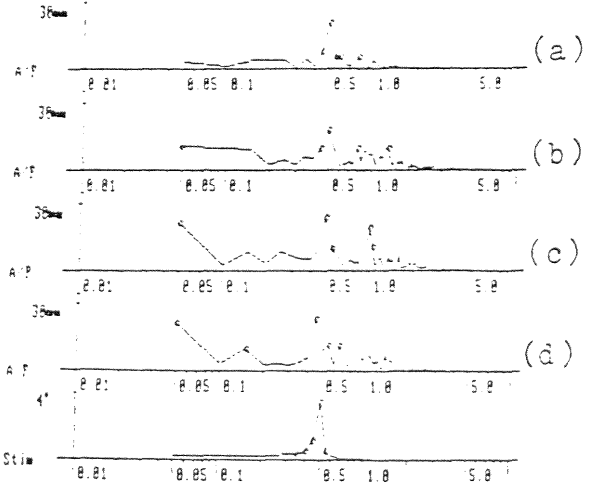


Fig. 1 - Transformées rapides de Fourier des déplacements du centre de pression des pieds enregistrés lors d'oscillations lentes (0.5 Hz - 20 s), en condition yeux ouverts (a), yeux fermés (b), ou associées à une vection linéaire descendante (c) ou ascendante (d).

BIBLIOGRAPHIE

1. Mesure S., Bonnet M., Crémieux J. - L'entraînement sportif peut-il influencer le contrôle postural statique ? Science et Motricité, 1994; 21: 39-47.
2. Perrin Ph., Lestienne F. - Mécanismes de l'équilibration humaine. Exploration fonctionnelle, application au sport et à la rééducation. Masson, Ed., 1994 ; 168 p.

CONTRÔLE POSTURAL LORS D'UNE GESTUELLE SPÉCIFIQUE CHEZ LE KARATÉKA

R. MOES, C. PERROT, G. DENIS et Ph. PERRIN
Equilibration et Performance Motrice, UFR STAPS - Faculté du Sport et Laboratoire d'Exploration Fonctionnelle, Service ORL, CHU de Nancy-Brabois, Université Henri Poincaré - Nancy 1.

INTRODUCTION

La fonction d'équilibration requiert l'intégration d'informations fournies par les systèmes somesthésique, vestibulaire et visuel. Les mécanismes assurant la régulation posturale ne sont pas définitivement fixés au cours du développement et peuvent, par l'apprentissage sportif, élargir considérablement le champ des performances habituelles (2). La régulation posturale est donc susceptible de perfectionnement. Nous avons cherché à montrer des différences comportementales sur le plan postural entre Karatéka experts et débutants (ayant moins d'un an de pratique), en particulier en ce qui concerne l'importance de l'afférence visuelle.

SUJETS ET MÉTHODE

Trois types de pratiquants (âgés de 18 à 30 ans, tous droitiers), correspondant à 2 experts en kata (techniciens), 2 experts en combat (compétiteurs) et 2 débutants, ont été soumis à un test statique bras le long du corps et à un test avec gestuelle, à la fois en condition yeux ouverts (YO) et yeux fermés (YF) sur une plateforme de posturographie, munie de quatre jauges de pression (Toennies GmbH). Les déplacements du centre de pression des pieds (CPP) du sujet debout ont été enregistrés dans ces différentes conditions. Pour le second test, le sujet était d'abord en garde, bras gauche levé à l'horizontal, immobile; au signal sonore, 2 coups de poing directs (choku-zuki, coups de poing droit puis gauche) ont été exécutés et les perturbations consécutives à ce geste ont été étudiées sur les stabilogrammes latéral et sagittal.

RÉSULTATS

Les tests statiques n'ont pas montré de différence entre les sujets. Privés de l'afférence visuelle, la majorité des sujets était plus instable que lors du test réalisé en condition YO. Lors du test statique avec gestuelle (Fig. 1), en condition YO, l'aspect général des stabilogrammes latéral et sagittal est sensiblement le même pour l'ensemble des sujets, mais les experts en kata et en combat modifient leur posture consécutivement au lever du bras gauche à l'horizontale (garde), alors que les débutants se comportent exactement comme lors du test statique. Outre cette différence, les pics formés par les déplacements du CPP sont d'autant plus marqués et plus courts qu'il s'agit d'un sujet à haut niveau technique (surtout experts en kata). Les différences comportementales entre experts et débutants sont flagrantes lors du test statique avec gestuelle YF. Les experts témoignent d'une plus grande instabilité bien que l'aspect général des stabilogrammes soit comparable à celui de ceux obtenus en condition YO. Les oscillations constatées chez les experts sont directement liées à la réalisation du geste, contrairement à celles des débutants, moindres en condition YF, mais d'amplitude plus élevée pendant la phase de restabilisation après les coups.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Tous les sujets font preuve d'une grande stabilité lors c test statique YO, quel que soit leur niveau. Ceci peut êt expliqué par le fait que ces débutants ont pour la plupa pratiqué un autre sport avant le Karaté. Cette constatatic rejoint celles de Mesure et coll. (1) suivant lesquelles l sujets entraînés (en Karaté ou dans un autre sport) ont moyenne un meilleur équilibre postural statique que l sujets novices. Privés de l'information visuelle, les suje experts contrôlent mieux l'exécution du geste, et p conséquent leur équilibre, que les débutants. En effe l'importance de l'information visuelle diminue avec niveau de pratique, ce qui explique la plus grande stabili de ces experts lors du test statique YF. Cette étude nous permis de démontrer que les Karatéka utilise essentiellement l'afférence visuelle lors de l'exécution du contrôle d'un geste technique. De plus, les experts o un bon contrôle postural lorsqu'ils sont en garde, alo que les débutants semblent plutôt subir les perturbatio dues au lever du bras (tendance à l'inclinaison vers gauche et vers l'avant). Comparativement aux débutan la régulation posturale des experts, avant, pendant et apr la frappe, résulte de l'automatisation du geste acquise p l'entraînement. Les experts, et surtout ceux en Kata, fait de leur grande maîtrise technique et corporelle, fo preuve de la plus grande stabilité lors du test av gestuelle. La pratique du Karaté influence donc le contrô postural en améliorant l'équilibre statique des sujets. C résultats permettent donc d'envisager la possibilité d'am liorer le contrôle postural par des entraînements de Karat

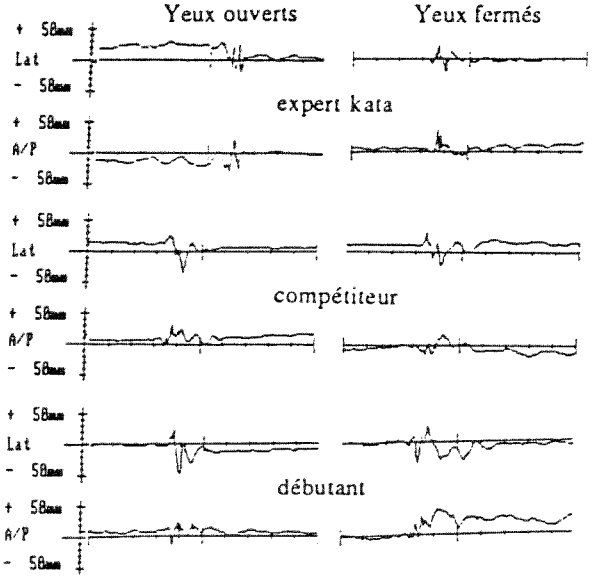


Fig. 1 - Stabilogrammes latéral (Lat) et sagittal (A/P) obten chez un expert kata, un compétiteur et un débutant (de haut bas), en condition yeux ouverts (à gauche) et yeux fermés droite). Garde, frappe (Choku-zuki) et retour en garde so visibles successivement sur chaque tracé.

BIBLIOGRAPHIE

1. Mesure S., Bonnet M., Crémieux J. - L'entraîneme sportif peut-il influencer le contrôle postural statique Science et Motricité, 1994 ; 21 : 39-47.
2. Perrin Ph., Lestienne F. - Mécanismes l'équilibration humaine. Application au sport et à rééducation. Masson Ed., Paris, 1994 : 168 p.

Incidence of trauma induced by Judo practice on postural control

Running title: Trauma and postural control in judoists

C. Perrot [1], J.M. Mur [2], D. Mainard [3], D. Barrault [4], and Ph.P. Perrin [1,5].

1 - Equilibration et Performance Motrice, UFR STAPS, University Henri Poincaré-Nancy 1, Villers-lès-Nancy, France
2 - National Institut on Health and Medical Research (INSERM), U 420, Vandoeuvre-lès-Nancy, France
3 - Department of Orthopaedics, University Hospital, Nancy, France
4 - University Hospital Cochin, Paris, France
5 - Department of ENT, University Hospital, Nancy, France

CORRESPONDENCE:

Prof Philippe P. PERRIN, MD PhD
Université Henri Poincaré – Nancy 1
Equilibration et Performance Motrice,
UFR STAPS - Faculté du Sport
30, rue du Jardin Botanique
54 600 Villers-lès-Nancy
France
Tel: (+33) 3 83 90 56 00
Fax: (+33) 3 83 90 28 42
E-mail: Philippe.Perrin@staps.u-nancy.fr

Abstract: High level sports, although they develop specific physiological and sensorimotor abilities involved in balance control, also increase the risk of injuries. The incidence on postural control of lower limb trauma induced by Judo practice was appreciated in healthy and previously injured judoists (PIJ). During static and dynamic tests, performed with or without vision, PIJ achieved the best performances in maintaining proper balance, excluding those with the most severe antecedents of trauma. Thus, the severity of the pathology appears as the most prejudicial parameter to balance control while the location, frequency and diversity of trauma have a modest impact. This underlies that PIJ develop excellent sensory and cognitive adaptation abilities to constraints involving new patterns of compensation and of body scheme.

Key Words: postural control; musculo-skeletal injuries; Judo; adaptation; compensation.

(Réexpédié après révisions)

Postural control and weight of sensorial afferences in high level judo and dance

Cyril Perrot[1], Francine Hugel[1], Philippe Perrin[1,2,3,CA]

1 - Equilibration et Performance Motrice, UFR STAPS, University Henri Poincaré-Nancy 1, Villers-lès-Nancy, France

2 - National Institut on Health and Medical Research (INSERM), U 420, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

3 - Department of ENT, University Hospital, Nancy, France

Address for correspondence:

Prof. Philippe PERRIN, MD PhD
Université Henri Poincaré – Nancy 1
Equilibration et Performance Motrice,
UFR STAPS
30, rue du Jardin Botanique
54600 Villers-lès-Nancy
France

ABSTRACT

Training allows sportsmen to acquire new balance control abilities, possibly differing according to the discipline practised. We compared the postural skills of high level dancers and judoists, in order to determine whether these sports improved daily life postural control. Static and dynamic posturographic tests were applied, with eyes open or closed, to 17 Ballet dancers, 31 judoists and 40 controls not practising sport activities. With eyes open, all sportsmen performed better than controls, indicating a positive effect of training on balance control. Yet, with eyes closed, only judoists retained a significantly better stance. These data indicate that the practice of a high skill activity involving proprioceptive afferences such as Judo improves both performance and daily life balance control.

Key Words: Postural strategies; Sport training; Vision; Proprioception

(Soumis à publication)

université HENRI POINCARÉ NANCY 1

UFR STAPS - FACULTÉ DU SPORT

S.C.D. - U.H.P. NANCY 1 SCIENCES BIBLIOTHÈQUE

Nom : PERROT

Prénom : Cyril

DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE NANCY I

en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

VU, APPROUVE ET PERMIS D'IMPRIMER

Nancy, le 19 octobre 1999 n° 261

Le Président de l'Université

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY 1 LE PRÉSIDENT

C. BURLET

3C.F9

30, rue du Jardin Botanique - 54600 Villers-lès-Nancy ✆ 03 83 90 56 00 - Fax 03 83 90 28 42
Antenne EPINAL : Campus Universitaire - 2, rue Pierre Blanck - 88000 EPINAL - ✆ 03 29 31 13 11 - Fax 03 29 31 13 63
Antenne LONGWY : IUT 186, rue du Lorrain - 54400 COSNES et ROMAIN - ✆ 03 82 24 32 50 - Fax 03 82 24 32 93

Evaluation par la posturographie statique et dynamique des afférences sensorielles et du contrôle moteur de l'équilibration chez le judoka.

Introduction - L'apprentissage et l'entraînement sportif permettent d'acquérir de nouvelles compétences topocinétiques, morphocinétiques et mentales contribuant à l'amélioration du contrôle postural et moteur du pratiquant. Les mécanismes d'intégration sensorielle et d'automatisation du geste divergent cependant selon la discipline considérée. L'hypothèse d'une éventuelle différenciation de l'adaptation posturale a été explorée en comparant, entre eux, des sportifs entraînés à l'équilibre selon des modalités différentes, afin d'apprécier, dans un second temps, l'incidence d'une pratique sportive particulière sur la fonction d'équilibration dans la vie au quotidien.

Sujets - Le contrôle postural de 31 judoka de haut niveau (dont 19 compétiteurs aux antécédents traumatiques) a été comparé à celui de 17 danseurs classiques professionnels et de 84 sujets témoins non initiés à ces deux arts.

Matériel et procédure - Les sujets, debout en position orthostatique stable sur une plate-forme de forces verticales, ont eu pour consigne de maintenir leur état d'équilibre stable en dépit des contraintes qui leur sont imposées (suppression partielle ou totale d'une afférence sensorielle, modifications des conditions de support, ...). L'enregistrement des déplacements du centre de pression des pieds couplé à une électromyographie intégrée de surface de deux muscles de la chaîne posturale ont permis d'apprécier les stratégies de régulation posturale.

Résultats - En condition yeux ouverts, les meilleurs résultats aux différents tests posturographiques sont obtenus par les sportifs, et plus particulièrement par les judoka. En condition yeux fermés, les pratiquants d'arts martiaux demeurent les plus performants, indépendamment des conditions de support. L'étude électromyographique révèle en outre que les judoka restaurent précocement leur posture comparativement aux autres sportifs. Il s'avère enfin que les judoka aux antécédents traumatiques, privés ou non de l'afférence visuelle, réalisent les meilleures performances en termes de maintien d'un état d'équilibre stable, à l'exception de ceux présentant les pathologies du membre inférieur les plus graves.

Discussion et conclusion - La pratique régulière et rigoureuse de toute activité physique et sportive améliore le contrôle postural tant statique que dynamique, l'apprentissage du Judo, privilégiant le canal somatosensoriel comme vecteur de la fonction posturale en toute circonstance, étant par ailleurs davantage bénéfique pour la fonction d'équilibration que celui de la Danse. L'amélioration de l'équilibre consécutive à l'apprentissage des arts martiaux semble donc résulter du remodelage du système nerveux central, en termes de compensation ou de schéma corporel, par amélioration de la sensibilité des récepteurs somatiques et des processus d'intégration sensorielle. Ainsi l'apprentissage du Judo contribue à augmenter les facultés d'adaptation sensori-motrice des combattants au quotidien en s'appuyant sur les processus cognitifs et réflexes sollicités dans l'action et intrinsèquement liés au type d'afférences sensorielles privilégiées.

Mots clés : *Equilibration, proprioception, apprentissage, adaptation, compensation, Judo*

Balance control and weight of sensorial afferences in high-level Judo.

Introduction – The performance of high-level morphocinetical and topocinetical motor tasks implies to master simultaneously both static and dynamic balance. Sportsmen involved in such movements therefore must adopt appropriate physiological and biomechanical attitudes as well as a specific psychological perception, possibly differing according to the discipline practised. The hypothesis of a possible differentiation in the postural adaptation was therefore explored by comparing sportsmen involved in different physical activities to appreciate which discipline appeared to mostly improve daily life balance control.

Subjects – Thirty-one high-level judoists were submitted to postural control investigation and were compared to 17 professional classic dancers and 84 controls not involved in these two arts. Among these 31 judoists, 19 had been previously injured (PIJ) and reported various trauma of the lower limbs incurred during training and/or competitions.

Experimental set up – A vertical force platform, fitted with 4 strain gauges, was used to perform posturographic recordings. Subjects, standing upright on the platform, barefooted, arms along the body, were instructed to maintain their stance despite the constraints imposed (sensory deprivation, modifications of support conditions, ...). Displacements of centre of foot pressure and surface electromyography recordings allowed to appreciate the sensorimotor strategie(s) used.

Results - In eyes open condition, all sportsmen performed better than controls. With eyes closed, the performances of judoists were significantly better than those of the 2 other groups, whatever the conditions of support. Surface electromyography recordings revealed in addition that judoists restore their posture faster than both dancers and controls, after destabilisation. Finally PIJ achieved the best performances in maintaining proper balance, excluding those with the most severe antecedents of trauma.

Discussion and conclusion – In this study comparing the balance control of highly skilled sportsmen and that of controls, we showed that only judoists were able to maintain efficiently their upright stance in all circumstances, i.e. with or without sensory deprivation or external perturbation. This appeared to result from privileging somatosensory afferences as an essential component of balance control. It seems therefore that Judo learning and training are more beneficial for postural control than that of Dance. The more automated and adjusted stabilising motor activation displayed by judoists could suggest that martial art competitors develop new patterns of body scheme and of compensation leading to excellent sensory and cognitive adaptation to new constraints or daily life situations. The good results of judoists both in static and dynamic tests appeared to be the consequence of a better mastery of the common sensory strategies available in the controls'repertoire and confirm the hypothesis of a redistribution of postural control processing develop by Judo practice.

Key words: *Balance control, proprioception, training, adaptation, compensation, Judo*