

ADAPTATION DE LA MUSCULATURE CERVICALE AU PILOTAGE AUTOMOBILE DE COMPETITION

P. PORTERO

Maître de Conférences Université Paris XII - Institut de Myologie
Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière - 83, Boulevard de l'Hôpital - 75651 Paris Cedex 13

INTRODUCTION

La performance des pilotes de course automobile est en partie conditionnée par la prise d'informations visuelles sous facteur de charge. Celle-ci peut être perturbée par la présence de pathologie cervicale, aiguë ou chronique, ainsi que par la fatigue. En effet, les progrès techniques réalisés au niveau de la conception des voitures de course (appui aérodynamique important, pneumatiques très adhérents, freins en carbone en F1) en permettant d'atteindre de hauts niveaux d'accélération, exposent les pilotes à des contraintes importantes. En Formule 1, les accélérations latérales en virage rapide atteignent 4 G et les décélérations lors des freinages violents atteignent 3 G. Aux effets liés à ces accélérations viennent se greffer ceux générés par les vibrations et la position demi allongée qui impose une forte flexion à la charnière cervico-thoracique^(3, 28). Les sujets exposés à ces niveaux d'accélération présentent souvent des syndromes douloureux cervicaux affectant soit le système musculaire, soit le système ostéoarticulaire^(3, 6, 18). Le rachis cervical peut être considéré comme une zone «critique» de la colonne vertébrale dans la mesure où la répétition d'accélération de haute intensité semble être un facteur favorisant l'apparition de lésions dégénératives arthrosiques⁽⁷⁾ et discales⁽⁹⁾,

comme cela a été décrit chez les pilotes d'avions de combat. Cependant, dans le domaine de la compétition automobile, il n'existe pas actuellement à notre connaissance de données évaluant les séquelles à moyen et long termes. La fréquence des diverses pathologies rencontrées a rendu nécessaire le développement de divers programmes de recherches visant à analyser la réponse du système cervical aux contraintes subies, aussi bien par les pilotes d'avion de chasse^(8, 10, 13) que par les pilotes de Formule 1⁽²⁶⁾.

L'approche d'une région à haut risque comme le rachis cervical n'est complète que s'il est possible d'évaluer la fonction musculaire et en particulier la production de force. En laboratoire, le rachis cervical a fait l'objet d'un nombre relativement limité d'études sur la production de force. La plupart des auteurs n'ont étudié que la fonction d'extension^(4, 11, 12, 19, 23, 29, 32) et peu d'études portent sur la flexion^(1, 33). Certains auteurs ont évalué plusieurs fonctions dont la rotation mais en excluant la latéroflexion⁽²⁾ et d'autres en incluant la latéroflexion⁽¹⁶⁾. Pourtant, cette fonction qui présente l'avantage de solliciter, lors de tests maximaux ou de fatigue, aussi bien les muscles cervicaux antérieurs que postérieurs⁽²²⁾ n'a été que rarement étudiée en terme de production de force^(16, 20, 27). D'autres études portant sur la latéroflexion mais sans faire référence

au niveau de force maximale^(5, 15, 17, 31). Concernant les modalités de la contraction, la quasi totalité des auteurs n'utilisent que la contraction isométrique et à notre connaissance, il n'existe pas d'étude faisant référence à des mesures de force maximale en dynamique. Récemment, une méthode a été mise au point pour la mesure des couples de force développés par la musculature du cou, en isocinétique et isométrique, pour la fonction de latéroflexion et d'envisager des applications dans certains domaines dont l'aéronautique, l'automobile et l'expertise médicale⁽²⁷⁾. L'application de la technique isocinétique au rachis cervical s'avère donc possible, comme autres systèmes articulaires de l'appareil locomoteur⁽¹⁴⁾.

L'objectif de cette étude a été de quantifier et comparer les différents niveaux de force en isométrique et en isocinétique développés par les muscles cervicaux dans la fonction de latéroflexion cervicale des pilotes de course automobile dans les principales catégories de monoplaces européennes (F1, F3000, F3, FRenault, FFord, FCampus). Cette étude a été réalisée à l'Institut de Médecine Aérospatiale du Service de Santé des Armées à Brétigny sur Orge et au Centre Biomédical Sports et Vie à Maisons-Laffitte.

MATERIEL ET METHODE

■ POPULATIONS

72 pilotes de course automobile âgés de 18 à 40 ans (Formule 1 - F1, Formule 3000 - F3000, Formule 3 - F3, Formule Renault - FR, Formule Ford - FF, Formule Campus - FC) en période de compétition, sans pathologie cervicale, ont participé aux mesures. Quatre groupes ont été définis à partir des quatre principaux types de monoplaces (Tableau I), le dernier groupe réunit les Formules Renault, Ford et Campus.

■ CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un système spécifiquement conçu pour le rachis cervical et adapté sur un dynamomètre isocinétique (Cybex II et 330, Lumex Inc., NY, USA)⁽²⁷⁾.

Les sujets étaient assis sur une chaise expérimentale (tronc vertical), la tête fixée, en position de référence, dans un étrier dont les points d'applications (recouverts de mousse à densité élevée de 2 cm d'épaisseur) se situent en regard des os temporaux. Cet étrier est fixé sur la branche horizontale d'une potence reliée par sa branche verticale à un système de fixation standard du dynamomètre. L'axe de rotation du dynamomètre est situé horizontalement en regard de la jonction entre 7^{ème} vertèbre cervicale et la 1^{ère} vertèbre thoracique. Le tronc était maintenu latéralement par des cales placées au niveau des épaules. Le bassin était maintenu par une sangle large fixée au siège. L'installation géné-

Catégories	Nombre	Age	Poids	Taille
F1	16	25 à 39 ans	67,3 ± 5,2 kg	175 ± 5,4 cm
F3000	14	22 à 30 ans	64,7 ± 5,0 kg	172 ± 4,9 cm
F3	18	18 à 26 ans	66,7 ± 5,5 kg	175 ± 4,1 cm
FRenault,...	24	18 à 26 ans	65,5 ± 7,4 kg	175 ± 4,8 cm

Tableau I : Caractéristiques des groupes de pilotes évalués ± Moyenne ± SD)

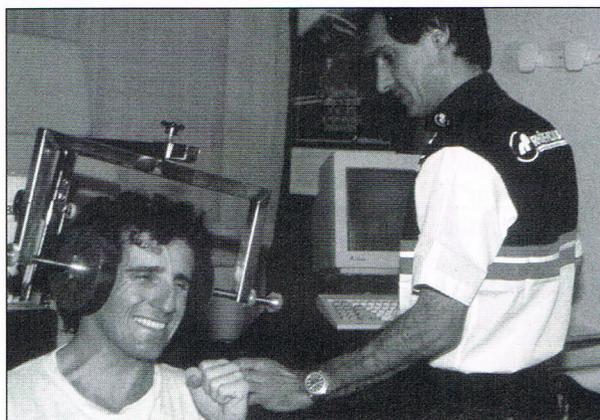


Figure 1 :
Installation d'un
sujet pour mesurer
les couples de force
développés par les
muscles cervicaux
lors de mouvements
de latéroflexion.
Adaptation d'un
système spécifique
sur un dynamomètre
Cybex.

rale du sujet est représentée sur la figure 1.

Pour des raisons de disponibilité des différentes populations, le protocole expérimental a été simplifié par rapport à celui initialement décrit⁽²⁷⁾ en réduisant le nombre de tests. Seuls les tests en isométrique «tête en position de référence» et en isocinétique à 30° sec-1 ont été effectués, après échauffement sur le système de mesure, de façon randomisée.

Préalablement aux tests, les sujets ont été familiarisés à l'utilisation du système de mesure et en particulier sur le mode isocinétique. Cette phase d'habituance a permis d'observer et comparer la forme de la relation couple/angle obtenue par rapport à la courbe témoin récemment décrite⁽²⁵⁾. L'obtention d'une courbe semblable attestait de la bonne compréhension et participation du sujet aux tests. Lorsque les courbes ne correspondaient pas à la forme attendue, les résultats n'étaient pas pris en compte

et les sujets repassaient les tests ultérieurement.

Les sujets réalisaient une série de trois contractions isocinétiques maximales lors de trois aller-retours de la droite vers la gauche ou le contraire et une série de trois contractions isométriques maximales espacées d'un temps de repos minimal de 30 sec, deux séries de tests étaient séparées par un repos de minimum 5 minutes. Pour permettre la réalisation d'un effort maximal, les tests ont été réalisés avec un contrôle visuel sur oscilloscope du couple produit. Dans tous les cas, seules les valeurs maximales ont été prises en compte pour l'analyse statistique des résultats.

■ ANALYSE STATISTIQUE

Les moyennes et écart-types ont été calculés par méthode standard.

La comparaison des moyennes a été étudiée en utilisant un test de Student en séries non appariées, le seuil de significativité étant fixé à $p < 0,05$.

RÉSULTATS

Les résultats portent sur les quatre catégories de pilotes (Formule 1, Formule 3000, Formule 3 et le groupe des Formules Renault, Ford et Campus). Les résultats sont présentés sous forme de moyenne (écart-type (SD) et l'analyse statistique porte sur la comparaison de ces moyennes.

Les résultats de couples de force cervicaux, présentés sur le tableau II, montrent :

- d'une part, qu'il n'existe pas de différences significatives entre côté droit et gauche et ceci quelle que soit la catégorie de pilotes ;
- d'autre part, que les couples développés par les pilotes sont progressivement décroissants de la F1 aux F Renault, Ford et Campus.

Pour permettre une meilleure analyse des résultats et du fait de la symétrie observée entre les côtés droit et gauche, l'analyse statistique porte sur la comparaison des moyennes droite-gauche.

Le tableau III et la figure 2 confirment et représentent la hiérarchie (F1, F3000, F3, F Renault,...) quant à la production de force. La différence de force entre les pilotes de F1 et les pilotes de F Renault,... est de 11,6% en isométrie et de 17,8% en isocinétique. La comparaison de moyennes (à partir du Test t de Student) est représentée sur les tableaux IV et V. L'analyse

Catégories	Isométrique D	Isométrique G	Isocinétique D	Isocinétique G
F1	46,1 ± 5,4	45,7 ± 6,8	42,2 ± 6,0	43,1 ± 6,8
F3000	41,6 ± 7,1	43,2 ± 7,4	39,2 ± 6,6	40,5 ± 7,0
F3	41,7 ± 6,2	41,0 ± 6,9	37,4 ± 5,7	39,7 ± 5,3
F Renault,...	40,7 ± 8,6	40,4 ± 8,3	34,6 ± 7,2	35,4 ± 7,3

Tableau II : Couples de force développés par les muscles cervicaux en latéroflexion ± Moyenne ± SD)

Catégories	Isométrique	Isocinétique
F1	45,89 ± 6,1	42,61 ± 6,3
F3000	42,42 ± 7,1	39,83 ± 6,7
F3	41,36 ± 6,4	38,52 ± 5,5
F Renault,...	40,58 ± 8,4	35,03 ± 7,2

Tableau III : Couples de force moyens ± droit et gauche) développés par les muscles cervicaux en latéroflexion ± Moyenne ± SD)

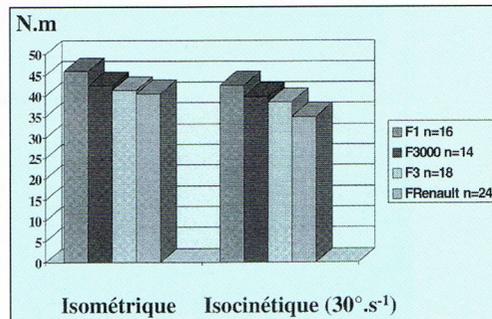


Figure 2 : Force cervicale et types de monoplace

	Ecart moyen	DDL	t	p
F1/F3000	3,47	54	1,97	0,054
F1/F3	4,54	64	2,92	0,005
F1/F Renault,...	5,31	76	3,02	0,003
F3000/F3	1,06	60	0,61	0,544
F3000/F Renault,...	1,84	72	0,95	0,346
F3/F Renault,...	0,78	82	0,46	0,644

Tableau IV : Statistiques pour les couples de force moyens (droit et gauche) développés en isométrie

statistique montre qu'en isométrie (Tableau IV), le groupe F1 se dissocie significativement de tous les autres groupes qui eux ne se différencient pas significativement entre eux. Par contre en isocinétique (Tableau V) les différences apparaissent plus évidentes, elles sont significatives de catégorie à catégorie, sauf d'une part entre F1 et F3000 où la différence est indicative et d'autre part entre F3000 et F3.

DISCUSSION

Cette étude a permis de caractériser différents groupes de pilotes de monoplaces en fonction du niveau de couple produit par les muscles du cou. En effet, les valeurs élevées de couples de force ont été produits par les pilotes des monoplaces les plus contraignantes (Tableau VI) et pour lesquels la durée des séances d'essais et des

	Ecart moyen	DDL	t	p
F1/F3000	2,77	54	1,59	0,118
F1/F3	4,08	64	2,80	0,007
F1/FRenault,...	7,58	74	4,69	<0,0001
F3000/F3	1,31	60	0,84	0,404
F3000/FRenault,...	4,80	70	2,78	0,007
F3/FRenault,...	3,50	80	2,41	0,018

Tableau V : Statistiques pour les couples de force moyens (droit et gauche) développés en isocinétique

Catégories	± Gy	- Gx
F1	3 à 4	2 à 3
F3000	2,5 à 3	inf. à 2
F3	2 à 2,5	1,5
FRenault,...	inf. à 2	inf. à 1,5

Tableau VI : Contraintes accélérométriques moyennes des types de monoplaces ± Gy = accélérations latérales et - Gx = décélération

courses est la plus longue. Un Grand Prix de Formule 1 peut durer plus de 1 heure 30 contre 1 heure pour la Formule 3000 et quelques dizaines de minutes pour les autres formules. Les différences de force observées entre les différentes populations sont donc en partie le reflet de l'adaptation aux contraintes par l'activité de pilotage durant toute l'année.

Les pilotes présentent une symétrie dans la production de force alors que la plupart des circuits tourne dans le sens horaire, c'est-à-dire avec un nombre plus important de virages à droite et donc des accélérations latérales gauches plus fréquentes ce qui sollicite plus souvent les muscles cervicaux du côté droit, alors que les freinages intenses sollicitent la musculature postérieure de façon bilatérale.

Cependant, seule l'analyse des contraintes accélérométriques couplées aux activités électromyographiques des muscles cervicaux mesurées en situation de pilotage. Ceci permettrait d'aborder les séquences et niveaux d'activation d'une partie de la musculature et vérifier si effectivement les muscles d'un côté sont plus souvent sollicités par rapport à l'autre côté.

Par rapport à des sujets témoins⁽²⁷⁾, les niveaux des couples de force des pilotes sont supérieurs, ils sont le reflet d'une adaptation aux sollicitations générées par les monoplaces. La spécificité des accélérations est probablement à l'origine de cette différence. L'adaptation du muscle à la contrainte, marquée par l'augmentation de la force, est le signe d'une part d'une adaptation nerveuse (amélioration des capacités de contrôle et de recrutement des muscles impliqués dans le mouvement), et d'autre part d'une adaptation morphologique mise en évidence par l'augmentation de la masse musculaire⁽³⁰⁾. Sur ce point, de récents travaux ont mis en évidence la très grande plasticité de la musculature cervicale consécutivement à un programme de renforcement musculaire⁽⁴⁾.

Nos résultats sont en accord avec ceux de Patrick et Chuo⁽²⁰⁾ puisqu'en isométrique les couples maximaux mesurés étaient, pour ces auteurs, de l'ordre de 47,5 N.m et le couple moyen développé par les pilotes de Formule 1 dépasse 45 N.m, avec des sujets atteignant des valeurs supérieures à 55 N.m. Le fait que les pilotes de F1 ne se dissocient pas de très nette de ceux de F3000, aussi bien en isométrique qu'en isocinétique, est probablement dû à la similitude des contraintes subies (intensité et durée). Cependant une plus grande force développée peut être aussi attribuée à des caractéristiques morphologiques propres aux individus indépendamment de l'activité ce qui peut expliquer le fait que dans certains cas les différences entre certaines catégories de pilotes ne soit pas strictement marquées. Seul le couplage systématique de la mesure de force à la mesure de surface de section des muscles cervicaux pourrait permettre de vérifier ce point, la proportionnalité entre surface de section musculaire et force ayant été mise en évidence pour les muscles cervicaux lors de l'extension⁽¹⁹⁾. En isocinétique, les écarts entre les différents groupes sont plus marqués, ceci pourrait être lié à de moins bonnes capacités motrices en dynamique pour les pilotes des Formules Renault, Ford... En effet, l'expérience des pilotes décroît de la Formule 1 aux Formules Renault, Ford... ce qui induit, au niveau cervical, un vécu moteur moins développé et donc probablement une moins bonne capacité à enchaîner les mouvements de latéroflexion en aller-retour. Ces mouvements impliquent l'alternance de phases d'accélération et de décélération lors des changements de direction ce qui nécessite la mise en place de programmes moteurs complexes

(enchaînement de phases de contractions musculaires concentriques et excentriques) impliquant plus de 25 muscles de chaque côté de la colonne cervicale. Par contre, la situation isométrique ne sollicite pas ce type de programme moteur, ce qui permettrait d'expliquer en partie les différences moins marquées en isométrie.

Enfin, la notion d'entité cervico-brachiale prend ici tout son sens puisqu'au cours du pilotage, le travail spécifique des muscles cervicaux et celui des membres supérieurs sont combinés. Cela se vérifie particulièrement dans les courbes rapides où les fortes accélérations latérales générées sont toujours associées à des efforts élevés sur le volant, ce qui représente une tâche motrice non négligeable pour le pilote ⁽²⁴⁾.

CONCLUSION

Cette étude a permis, grâce à cette méthode fiable de l'évaluation de la fonction musculaire cervicale, de mettre en évidence des niveaux d'adaptation différents en fonction du type de monoplace pilotées, les véhicules les plus contraignants entraînant une plus grande force cervicale. La musculature cervicale joue un rôle important dans la stabilisation, l'amortissement et la répartition des contraintes sur le rachis cervical d'où son rôle protecteur. Cependant, assez peu d'études ont été réalisées directement sur les muscles cervicaux de l'homme, aussi il semble nécessaire de compléter le tableau fonctionnel en augmentant d'une part, la gamme de vitesses de mouvement pour les tests isocinétiques, et d'autre part, le nombre des posi-

tions du cou pour les mesures isométriques. Ceci permettrait d'établir les relations fonctionnelles couple/vitesse et couple/angle spécifiques au rachis cervical et aux pilotes. Enfin, la force n'est pas le seul critère à prendre en compte pour la caractérisation fonctionnelle du rachis cervical. La combinaison de mesures dynamométriques (isométrique et isocinétique) à

d'autres techniques comme l'électromyographie (mesure de la fatigabilité et du niveau d'activation) ou l'imagerie médicale permettrait d'améliorer le tableau fonctionnel de cette région à risques.

REFERENCES

1. **BARTON PM, HAYES KC.** Neck flexor muscle strength, efficiency, and relaxation times in normal subjects and subjects with unilateral neck pain and headache. *Arch Phys Med Rehabil* 1996 ; 77: 680-687
2. **BERG HE, BERGGREN G, TESCH PA.** Dynamic neck strength training effect of pain and function. *Arch Phys Med Rehabil* 1994 ; 75: 661-665
3. **BURTON AK, SANDOVER J.** Back pain in Grand Prix drivers: a «found» experiment. *Applied Ergonomics* 1987 ; 18: 3-8
4. **CONLEY MS, STONE MH, NIMMONS M, DUDLEY GA (1997)** Resistance training and human cervical muscle recruitment plasticity. *J Appl Physiol* 83(6): 2105-2111
5. **COSTA D, VITTI M, DE OLIVEIRA TOSELLO D.** Electromyographic study of the sternocleidomastoid muscle in head movements. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1990 ; 30: 429-434
6. **EYMERY A, BENCE Y, BENCE, COMMANDRÉ F.** Sports automobiles et rachis cervical des pilotes. *Médecine du Sport* 1986 ; 60 : 181-185
7. **GILLEN MH, RAYMOND D.** Progressive cervical osteoarthritis in high performance aircraft pilots. *NATO-AGARD, Neuilly sur Seine, France, AGARD CP-471: 6-1, 66, 1990*
8. **HÄMÄLÄINEN O, VANHARANTA H.** Effects of Gz forces and head movements on cervical erector spinae muscle strain. *Aviat Space Environ Med* 1992 ; 63: 709-716
9. **HÄMÄLÄINEN O, VANHARANTA H, KUUSELA T.** Degeneration of cervical intervertebral disks in fighter pilots frequently exposed to high +Gz forces. *Aviat Space Environ Med.* 1993 ; 64: 692-696
10. **HELLEUR C, GRACOVETSKY P, FARFAN H.** Tolerance of the human cervical spine to high acceleration: a modelling approach. *Aviat Space Environ Med* 1984 ; 55: 903-909
11. **HELLEUR C, GRACOVETSKY P, FARFAN H.** Modeling of the muscular response of the human cervical spine. In : *D.A. Winter et coll. (Eds), Biomechanics IX-B, Int. Series on Biomechanics, Vol. 5b, Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois, pp 82-87, 1985*
12. **HIGHLAND TR, DREISINGER TE, VIE LL, RUSSELL GS.** Changes in isometric strength and range of motion of the isolated cervical spine after eight weeks of clinical rehabilitation. *Spine* 1992 ; 17: S77-S82
13. **HOEK VAN DIJKE GA, SNIJDERS CJ, ROOSCH ER, BURGERS PICJ.** Analysis of biomechanical and ergonomic aspects of the cervical spine in F-16 flight situations. *J Biomechanics* 1993 ; 26: 1017-1025
14. **KANNUS P.** Isokinetic evaluation of muscular performance. *Int J Sports Med* 1994 ; 15: S11-S18
15. **KESHNER EA, CAMPBELL D, KATZ RT, PETERSON BW.** Neck muscle activation patterns in humans during isometric head stabilization. *Exp Brain Res* 1989 ; 75: 335-344
16. **LEVOSKA S, KEINÄNEN-KIUKANNIEMI S, HÄMÄLÄINEN O, JÄMSÄ T, VANHARANTA H.** Reliability of a simple method of measuring isometric neck muscle force. *Clin Biomechanics* 1992 ; 7: 33-37
17. **LU WW, BISHOP PJ.** Electromyographic activity of the