Vers une nouvelle approche de l'analyse du signal stabilométrique : La Qualité de la Fonction d'Équilibre

V.I.Usachev[1], P.-M.Gagey[2], V.Y.Belyaev[3], A.F.Kononov[3], G.A.Pereyaslov[3]
[1]Institute of Osteopathic Medicine named after Andrianov, St. Petersburg;
[2]Institut de Posturologie, Paris; [3]Closed Joint Stock Company Experienced Design Bureau "Rhythm", Taganrog.

Introduction

L'analyse du signal stabilométrique néglige encore certains effets du champ de gravité sur le corps de l'homme. Elle s'intéresse aux phénomènes de stabilisation du corps dans sa position verticale, mais laisse de côté les phénomènes concernés par le retour veineux. Or ces derniers apparaissent sous forme de grandes oscillations posturales d'une période d'une minute [1] qui peuvent causer des variations importantes des paramètres classiques : « X-moyen », « Y-moyen », « Surface », « Longueur », « LFS », « VFY » et « Quotient du Romberg » parce que la position moyenne du centre de pression peut migrer au cours de ces oscillations d'une minute [2-4]. Il est donc nécessaire de tenir compte de cet impact du retour veineux en stabilométrie et de trouver des paramètres qui ne soient pas perturbés par ces oscillations d'une minute.

Méthode

Nous proposons un saut dans la complexité pour résoudre ces problèmes des paramètres classiques. Aux données spatiales qu'ils utilisent — les positions du centre de pression ou de gravité — nous substituons des données spatio-temporelles représentées par les vecteurs vitesses d'Okusono [5]. Nous étudions la probabilité de la distribution de ces vecteurs, caractérisée par sa fonction de distribution cumulée. « Qualité de la fonction d'équilibre » [QFE] est le nom du nouveau paramètre que nous proposons, construit sur cette fonction de distribution cumulée des vecteurs d'Okusono.

Les vecteurs Vitesse d'Okusono

Les segments de droite qui joignent une position échantillonnée du centre de pression à la suivante peuvent être considérés comme des vecteurs puisqu'ils possèdent une direction, un sens et un module (fig. 1). Étant donné la régularité de la cadence d'échantillonnage, la longueur de ces segments de droite — module de ces vecteurs — est proportionnelle à la vitesse des déplacements du centre de pression, il est donc possible de nommer ces vecteurs des « vecteurs vitesse ».

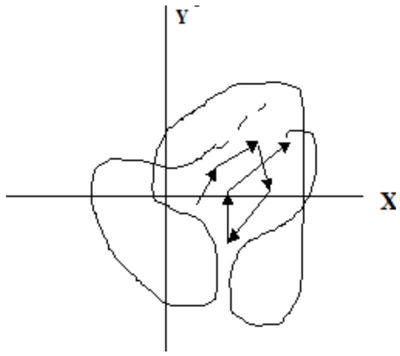

FIG. 1 — Vecteurs Vitesse du SKG (d'après Okusono 1983)

Par translation de l'origine de ces vecteurs à l'origine du référentiel cartésien, on obtient ce qu'Okusono a nommé le « Statokinésigramme vectoriel » (fig. 2).

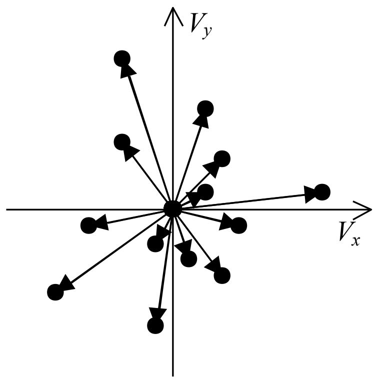

FIG. 2 — Statokinésigramme vectoriel d'Okuzono (1983).

La qualité de la fonction d'équilibre (QFE)

Le statokinésigramme vectoriel d'Okusono invite à construire un histogramme de la distribution des modules de ces vecteurs (fig. 3) grâce à une série de cercles centrés sur l'origine du référentiel et qui déterminent une série d'anneaux de même surface que le cercle central. Le rayon du cercle central, déterminé expérimentalement sur un groupe de sujets sains, est de 3,46 mm, ce qui correspond à une vitesse de 173 mm/s à une cadence d'enregistrement de 50Hz. La surface du cercle central, S_0, est donc de 37,6 mm^2. Les rayons, R[i]. des autres cercles sont calculés pour que les anneaux délimités par deux cercles consécutifs aient la même surface que le cercle initial

$$R[i] = \sqrt{\frac{i.So}{\pi}}$$

i ; rang du cercle extérieur de l'anneau

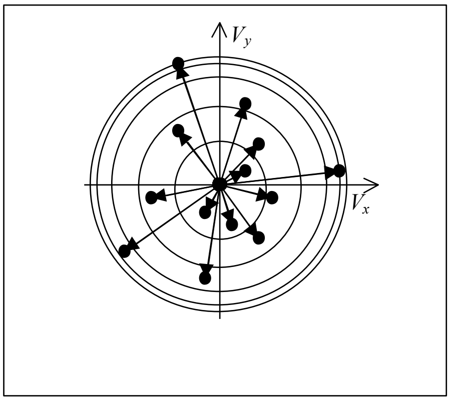

FIG. 3 — Histogramme de la distribution des modules des vecteurs vitesse d'Okusono.

La courbe de la fonction de distribution cumulative de cette distribution est construite en portant en abscisses le rang, i, du cercle considéré et en ordonnées la fréquence, f[i], des modules dans ce cercle, où

$$f[i] = n[i] \; / \; N$$

n [i]: nombre de modules comptés dans le cercle de rang i
N: nombre total de modules.

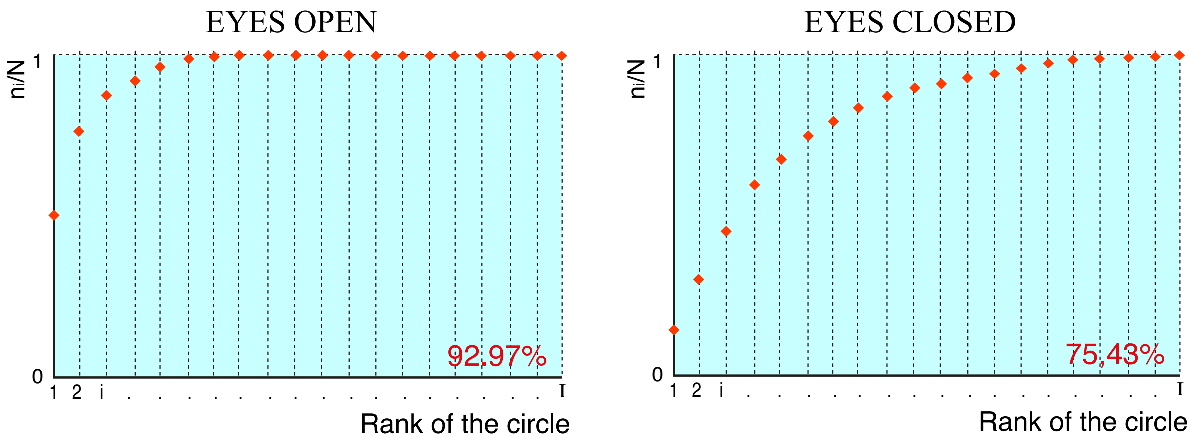

FIG. 4 — Fonction de distribution cumulée des vecteurs d'Okusono d'un sujet normal, en situations YO et YF.

Chaque point de la courbe représente la fréquence des modules ayant la valeur V≤R[i]. La somme de toutes ces fréquences est :

$$\sum_{1}^{I} f[i]$$

I : nombre total de cercles

Cette somme, d'autant plus importante que la fréquence dans les cercles de rangs inférieurs est plus élevée, peut servir à caractériser la courbe. Nous l'utilisons, exprimée en pourcentage du nombre total de cercles, pour définir le paramètre de Qualité de la Fonction d'Équilibre [QFE] :

$$QFE = \frac{\sum_1^I f[i]}{I} \times 100$$

Résultats

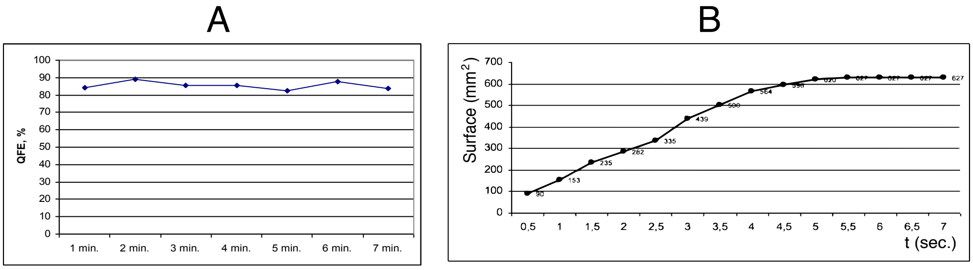

FIG. 5 — Évolutions comparées des paramètres QFE (A) et Surface du SKG (B) au cours d'un enregistrement de sept minutes.

Chaque personne a son propre niveau de qualité de la fonction d'équilibre.

Ce paramètre, plus stable dans le temps que la Surface du SKG, peut être utilisé en sélection professionnelle (pilotes, conducteurs de véhicules) ou pour juger de l'efficacité d'un traitement ou encore devant les tribunaux. Il convient de noter que la QFE fluctue lorsque l'état fonctionnel d'une personne change, mais dans une petite plage.

Lorsque tous les modules des vecteurs d'Okusono sont contenus dans le cercle central (fig. 6) le paramètre QFE est égal à 1 et correspond à la meilleure qualité de la fonction d'équilibre.

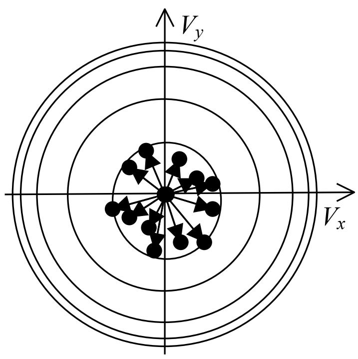

FIG. 6 — Tous les modules des vecteurs d'Okusono sont contenus dans le cercle initial. Le paramètre QFE est alors égal à 1.

Discussion

La qualité de la fonction d'équilibre est un paramètre plus stable dans le temps que la surface du SKG. La Surface est construite à partir de données spatiales — positions dans l'espace du Centre de Pression (ou du Centre de Gravité) — alors que la QFE est construite à partir de données spatio-temporelles — Vitesse des déplacements du Centre de Pression (ou du Centre de Gravité) —. L'équation aux dimensions du premier pourrait être notée :« L » (par analogie, car les mouvements du Centre de pression correspondent physiquement autant à des accélérations qu'à des déplacements !...) on pourrait croire que l'équation aux dimensions du second serait alors notée :« LT^{-1} », mais en fait la QFE est construite sur la probabilité de la distribution des modules vitesse, elle s'intéresse donc aux variations dans le temps de ces modules vitesse, son équation aux dimensions doit donc être notée : « LT^{-2} », c'est à dire la même équation qu'une accélération. L'accélération du Centre de Pression (ou mieux du Centre de Gravité [6]) nous permet d'échapper aux effets de la durée des enregistrements au cours de l'analyse du signal stabilométrique.

On peut regretter que l'étendue des variations de la QFE soit limitée arbitrairement par le choix, pourtant indispensable, de la surface du premier cercle.

Conclusion

La pratique de la stabilométrie, que ce soit dans le domaine thérapeutique, forensique ou d'orientation, reste encore accrochée au paramètre de Surface du SKG bien que ses limites soient connues depuis longtemps. Cette attitude paraît strictement injustifiée car il n'est pas plus difficile de demander à l'ordinateur de calculer un paramètre plus constant, comme la QFE, plutôt que la Surface, sauf que nous manquons cruellement de Normes statistiques sur ces nouveaux paramètres.

Bibliographie

1 - Inamura K., Mano T., Iwaze S. (1990) One minute wave of body sway related to muscle pumping during static standing in human.In Brandt T., Paulus W., Bles W. (Eds) Disorders of posture and gait 1990. Georg Thieme (Stuttgart), 53-57.

2 - Usachev V.I., Sliva S.S., Belyaev V.E., Pereyaslov G.A. Pechorin P.E. A new methodology for processing stabilometric information and the problems of its wide application in practice // Proceedings of Taganrog Radio Engineering University. Thematic issue. Medical information systems. - Taganrog: Publishing house TREU, 2006, № 11 (66). - P. 138-144.
3 - Usachev V.I., Belyaev V.E. Evolution of SKG in time and space, 2017 https://www.tapatalk.com/groups/clinicalstabilometry/volution-du-skg-dans-la-temps-et-dans-l-espace-evo-t153.html
4 - Gagey PM (2018) Introduction to the Russo-Japanese revolution in stabilometry. http://dx.doi.org/10.17784/mtprehabjournal.2018.16.584
5 - Okusono T. (1983) Vector statokinesigram. A new method of analysis of human body sway. Pract. Otol. Kyoto, 76, 10: 2565 - 2580.
6 - Gagey PM (2016) The ballistic interval, MTP&RehabJournal, 14:339-361

Remarque sur le QFE

Par Bernard Gagey

Résumé

A la recherche, tout à fait légitime, d'un paramètre stabilométrique qui ne soit pas influencé par la durée de l'enregistrement, V. Usachev et Coll. proposent la Qualité de la Fonction d'Équilibre, or, lorsqu'on cherche ce qui se cache sous ces formules mathématiques on retrouve tout simplement la vitesse moyenne.

Démonstration

La présentation du QFE peut sembler compliqué, :

$$QFE = \frac{\sum_1^C f(i)}{C * N} * 100$$

Ou f(i) est le nombre de vecteurs dont l'extrémité est dans le cercle i de rayon r*√i., et C le nombre de cercle, N le nombre total de vecteurs. Simplifions

« extrémité du vecteur dans le cercle » = longueur du vecteur inferieur au rayon du cercle

Nombre positif inferieur à un autre = carré de ce nombre inférieur au carré de l'autre

Si a,b,c sont positifs, a<b*c est équivalent à a/b<c

On va remplacer vecteur et rayons par les carrés de la longueur et des rayons, puis diviser les 2 par le carré de r : appelons u ces carrés de longueur des vecteurs divisé par le carré de R : les f(i) sont devenus le nombre de u inférieur à i.

Si au lieu de considérer la fonction f(i) on considère la fonction g(i), nombre de u dans l'intervalle [i-1,i[, on a

$$fi = \sum_1^i g(i) \rightarrow \sum_1^C f(i) = C * g(1) + \cdots + (C - i + 1) * g(i) + \cdots . + 1 * g(C)$$

$$\sum_1^C f(i) = M\,[1 - \frac{1}{M} * ((1 - C) * g(1) + \cdots + (i - C) * g(i) + \cdots . + 0 * g(C))]$$

Supposons d'une part que tous les u est une masse 1 (dont la somme est M), et que l'on ait arrondi leur valeur à l'entier inférieur : en (i-1) on retrouve n(i) entier donc une masse g(i) …. Et (i-C +1) est la coordonnée de i par rapport au point C…. Avec une division par M on trouve la formule du centre de masse des points U relativement à C, soit G-C si on appelle G ce centre de masse… Et pour des masses égales, la coordonnée du centre de masse est égale à la moyenne des coordonnées

$$\sum_1^C f(i) = M\,[C - G] = M[moyenne(u) - C)$$

$$QFE = 100 * \frac{M}{N} * (1 - \frac{G}{C})$$

Rappelons :

N nombre total de point, de vecteurs

M Nombre de points u inférieur à C, ou nombre de vecteurs à l'intérieur du plus grand cercle

G moyenne des u arrondi à l'unité inférieure

U =carré de la longueur d'un vecteur divisé par le carré de r

R rayon du cercle d'origine

Il y a 2 manières de choisir r et C

Trouver des valeurs « naturelles

Pour C, le choisir pour qu'il englobe exactement tous les vecteurs, autrement dit C est l'entier supérieur au maximum des u➔M=N, Si on appelle v le carré de la norme des vecteurs, le cercle maximal est de rayon $D=C*r^2$ et on a G/C= moyenne(v)/D

Si on fait tendre r vers 0, non seulement cela fait disparaître l'arrondi des u (ou v) mais aussi D tend vers max(v)

Et au final on a une formule :

$$QFE = 100 * (1 - moyenne((\frac{longueur\ des\ vecteurs}{longueur\ maximale})^2)$$

C'est vraiment une méthode tarabiscotée pour faire apparaître la moyenne du carré des vecteurs…. Qui en plus, en normalisant , fait disparaître la vitesse , mais ne regarde que sa répartition !

Fixer des valeurs C, r (méthode proposée par le document) : Nous considérons que la fixation de r est sans intérêt, fixer le produit D=C*r (rayon extérieur est une option) et, partant de là faire tendre r vers 0 augmente l'acuité de la formule, pourquoi s'en priver. Et on trouve la formule :

$$QFE = 100 * \frac{M}{N} * (1 - moyenne((\frac{longueur\ des\ vecteurs\ inclus}{D})^2)$$

Cette formule élimine des défauts de discontinuité de la formule proposée tout en donnant un résultat semblable.

Ce qui fait bizarre, c'est que selon qu'ils sont extérieurs ou intérieurs au dernier cercle, les vecteurs influent de manière complètement différent : dans le rapport M/N à l'extérieur, et dans la moyenne pour les autres. Bien sûr on peut prendre D très grand de telle sorte qu'il n'y ait pratiquement pas de vecteurs exclus, on en revient alors presque à la formule « naturelle » …. Sauf qu'il y a un certain nombre de cercles « inutiles », et revient à multiplier la moyenne par le carré de longueur maximale /D, ce qui a de fait l'avantage de faire intervenir cette longueur maximale : plus elle est faible, plus le résultat est proche de 1.

Conclusion :

Contrairement à ce qui est dit dans le document :

Il est possible, même préférable de ne pas fixer la dimension du 1er cercle mais seulement la dimension du dernier

Comme tout ratio, QFE n'a pas de dimension

Sa stabilité est essentiellement dû à la stabilité de la moyenne de la « vitesse », ou mieux un ratio si tant est que ce ratio apporte des renseignements précis

Le document affirme que « chaque individu a son QFE », donc indirectement sa vitesse