

Master thesis in Sport Sciences and Motor Control
University of Fribourg

Contribution de vêtements biocéramiques à la stabilité de l'appui tendu renversé en gymnastique

Travail réalisé par Viviana Gianocca, sous la direction de Jean-Pierre Bresciani

Juillet 2013



Travail de Master pour l'obtention du titre Master of Science

Unité "Science du Mouvement et du Sport"

Département de médecine

Université de Fribourg

Table des matières

RESUME	3
1. INTRODUCTION	4
2. PARTIE THEORIQUE	5
<i>2.1 Contrôle postural.....</i>	5
<i>2.2 Equilibre et informations sensorielles</i>	5
2.2.1 Informations visuelles	6
2.2.2 Informations vestibulaires.....	6
2.2.3 Informations proprioceptives	7
2.2.4 Informations tactilo-somesthésiques.....	8
2.2.5 Informations auditives.....	8
<i>2.3 Equilibre et l'appui tendu renversé.....</i>	8
2.3.1 Polygone de sustentation.....	9
2.3.2 Centre de gravité	9
2.3.3 Alignement des segments.....	10
2.3.4 Ceinture pelvienne, ceinture scapulaire	11
2.3.5 Hauteur du centre de masse	12
<i>2.4 Les variables qui affectent l'ATR</i>	13
2.4.1 Bassin	13
2.4.2 Epaules	13
2.4.3 Tête.....	14
2.4.4 Gainage	15
<i>2.5 Enduction biocéramique et les études existantes.</i>	15
3. PARTIE EXPERIMENTALE.....	17
<i>3.1 Buts de l'expérience.....</i>	17
<i>3.2 Méthode.....</i>	17
3.2.1 Sujets	17
3.2.2 Matériel	17
3.2.3 Procédure	19
3.2.4 Plan d'expérience	19
3.2.5 Hypothèses opérationnelles.....	21
4. RESULTATS	21
5. DISCUSSION ET CONCLUSION	26
6. BIBLIOGRAPHIE	28
ANNEXE 1	30
ANNEXE 2	33
ANNEXE 3	34

Résumé

Le but de cette étude est de déterminer les effets du port des vêtements à enduction biocéramique sur la stabilité posturale lorsqu'un gymnaste effectue un appui tendu renversé, à savoir essayer de maintenir une position dans laquelle l'équilibre est instable.

Les oscillations posturales de 14 participants (âge moyen 21.5 ans, 9 hommes, 5 femmes) ont été mesurées à l'aide d'une plateforme équipée de quatre capteurs de force. Le plan d'expérience à mesures répétées comportait un facteur (le type de combinaison revêtue) et deux niveaux, à savoir des combinaisons placebo et des combinaisons à enduction biocéramique.

La combinaison biocéramique a apporté une réduction de la surface, de l'étendue maximale des déplacements du centre de pression (CdP) sur l'axe médio-latéral et antéro-postérieur, et de la distance parcourue par le CdP sur l'axe médio-latéral.

L'amélioration de l'équilibre conférée par la combinaison biocéramique dans une situation de maintien postural 'complexe', soit lorsque l'équilibre est instable, permet au gymnaste un meilleur contrôle des mouvements suivants.

1. Introduction

Actuellement nous sommes dans une ère où la technologie fait grands pas. Le sport est toujours en évolution, nouveaux gestes, techniques, records,... Nous poussons toujours notre corps aux limites et pour ce faire nous exploitons également des nouveaux matériels, machines,... qui peuvent améliorer la performance.

Un exemple est le saut à la perche, où en 1912 le record de 4.02m a été conquis par l'américain Marc Wright et en 1994 le record s'est élevé à 6.14m par l'ukrainien Sergei Bubka¹. Cette amélioration a été possible grâce à l'innovation de la structure de la perche qui est passé du bois aux fibres de verre². Dans ce sens on peut parler également du matériel pour le vélo, des raquettes de tennis, des skis,...

Dans le cadre de ce travail de Master nous allons analyser l'efficacité d'une nouvelle technologie récemment mise sur le marché. On parle d'un vêtement à enduction biocéramique qui présente des propriétés permettant d'améliorer la thermorégulation et la circulation sanguine.

L'enduction biocéramique émettrait des infrarouges lointains qui auraient la particularité d'améliorer la circulation sanguine à la surface de la peau, de favoriser l'élimination des toxines, de réduire les spasmes musculaires par réchauffement, d'apporter une sensation déstressante et apaisante. La propriété d'améliorer l'équilibre a également été prêtée à ces vêtements, c'est ce à quoi nous nous sommes intéressés.

Ayant pratiqué longtemps la gymnastique aux agrès, mon but est de tester ce vêtement dans ce domaine. Dans les sports gymniques acrobatiques il est très fréquent de réaliser des mouvements nécessitant de s'établir en appui tendu renversé (ATR), c'est-à-dire de passer d'un équilibre pedestre, à un équilibre sur deux mains. Plus le gymnaste maintient et contrôle cette position, meilleur est le contrôle des mouvements suivants. Donc, dans cette étude, nous tenterons de déterminer si l'enduction biocéramique permet d'améliorer la stabilité posturale lorsqu'un gymnaste effectue un appui tendu renversé, à savoir essayer de maintenir une position dans laquelle l'équilibre est instable.

Le but de l'étude menée ici est donc de déterminer si l'enduction biocéramique améliore la stabilité en appui tendu renversé.

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Men%27s_pole_vault_world_record_progression

² http://sites.ostralo.net/sautalaperche/2_evolutionmateriel/2_evolutionmateriel.htm

2. Partie théorique

2.1 Contrôle postural

La posture correspond à un état d'équilibre du corps qui se définit par le positionnement des différents segments du squelette à un moment donné (Bouisset & Maton, 1995).

L'homme, en positionnant ses membres de différentes manières, adopte des postures particulières. Toutes ses postures et ses mouvements sont soumis à des forces externes, comme la force biomécanique et la force de l'environnement. Pour atteindre et maintenir ces postures, le système postural doit respecter deux exigences: «la nullité de la résultante des forces appliquées et celle du moment calculé au centre de gravité et résultant des forces appliquées» (Bouisset & Maton, 1995, p.451).

S'il n'y a pas le respect de ces deux conditions, un instant de force apparaît et la chute du corps est inévitable.

Par conséquent, nous ne sommes jamais totalement immobiles et nous n'atteignons jamais un état de parfait équilibre (Shumway-Cook & Woollacott, 2007). Cependant, il existe également des forces internes qui modifient l'environnement sensoriel engendrant des oscillations continues, lesquelles sont automatiquement corrigées par des réponses posturales.

La régulation posturale repose sur l'intégration active des informations sensorielles: elles sont traitées et intégrées par le système nerveux central (SNC) qui met ultérieurement en place les réponses motrices pour maintenir l'équilibre.

Plusieurs entrées sensorielles différentes participent à la régulation posturale, les principales sont visuelles, vestibulaires et proprio-somesthésiques.

2.2 Equilibre et informations sensorielles

Les informations sensorielles contribuent à la stabilisation posturale en fournissant des informations de différentes natures.

Les corrections posturales sont réalisables grâce aux entrées sensorielles qui ont comme but d'informer le SNC sur l'état de la posture. Le système postural doit ainsi les intégrer nécessairement pour répondre aux troubles d'équilibre, etc.

Les informations sensorielles sont souvent divisées en deux groupes: exo-entrées (les informations sur l'environnement extérieur au corps) et endo-entrées (sur l'intérieur du corps).

Nous allons maintenant présenter la contribution des afférences visuelles (endo-entrées), vestibulaires, proprioceptives, tactilo-somesthésiques et auditives. Pour chacune de ces informations sensorielles, nous verrons dans quelle mesure ces entrées sensorielles peuvent informer sur la posture.

2.2.1 Informations visuelles

Il est connu depuis les années 40 par Travis (1945) que la vision peut réduire les oscillations posturales, même si elle n'est pas indispensable au maintien d'une posture.

De ce sens, dans les années 70 Lee et Lishman (1975) ont démontré que la vision fait partie intégrante de la proprioception avec le paradigme de la pièce mobile. Ce paradigme consiste à placer un individu debout dans une pièce où les murs peuvent se déplacer de l'avant vers l'arrière et vice-versa et le sol reste fixe. En réponse à ce déplacement, la personne debout, oscille en avant et en arrière, à la même fréquence que celle des murs. Ce type d'expérience nous montre l'importance du système visuel pour le maintien de la posture.

Le système visuo-moteur interpréterait donc les déplacements de l'environnement alentours, comme des mouvements propres du sujet. Une réponse compensatoire est alors déclenchée afin d'éviter la chute.

2.2.2 Informations vestibulaires

Le système vestibulaire est le système sensoriel principal de la perception du mouvement et de l'orientation. Ses informations, envoyées au SNC, l'informent sur les accélérations linéaires et angulaires de la tête et sur son inclinaison relative à la gravité. Elles participeraient plus à l'orientation posturale qu'à la stabilisation. Au-delà de percevoir les mouvements de la tête et l'orientation dans l'espace, ce système est en relation à des centres réflexes : réflexes vestibulo-spinaux (orientation du haut du corps et stabilisation posturale) et réflexes vestibulo-oculaires (musculature oculaire et stabilisation du regard). Ces réflexes donnent à ce système un deuxième moyen d'équilibration.

2.2.3 Informations proprioceptives

L'ensemble des informations somesthésiques a été divisé en deux groupes : les informations proprioceptives (en provenance des systèmes tendineux articulaires et musculaires) et les infos tactilo-somesthésiques.

La sensibilité proprioceptive a la caractéristique d'intégrer les informations provenant de l'ensemble du corps et de récepteurs pour coder les informations de nature divergée.

Les récepteurs proprioceptifs ont différents rôles. Voici les plus importants pour le contrôle postural:

- Récepteurs musculaires: les fuseaux neuromusculaires

Les fuseaux neuromusculaires sont sensibles à l'étirement du muscle. Ils sont innervés par des fibres myélinisées de type Ia (terminaisons primaires) et de type II (terminaisons secondaires). Les terminaisons primaires Ia sont sensibles aux variations d'allongement musculaire ainsi qu'à la perception de longueur du muscle pour des allongements très faibles (entre 0.1 et 1 mm, Matthews, 1964).

- Récepteurs tendineux: les organes tendineux de Golgi (OTG)

Les organes tendineux de Golgi (OTG) se situent au niveau des jonctions entre les fibres musculaires et les tendons. Ils signalent la tension exercée sur le muscle et pas les changements de longueur du muscle comme les fuseaux neuromusculaires. Placés en série (Bouisset & Maton, 1995) ils sont capables de codifier la contraction d'une seule fibre musculaire. Pour ce faire et pour informer des variations de tension et donc de force musculaire (grâce au seuil d'excitabilité très faible de ces fibres), les OTG sont innervés par des fibres afférentes de type Ib.

- Récepteurs articulaires

Il existe quatre types des récepteurs articulaires situés au niveau de la capsule articulaire et des ligaments: corpuscules de Ruffini (indications de mouvement et de position), terminaisons nerveuses libres (interviennent dans la nociception lors des mouvements forcés), corpuscules de Vater-Paccini (répondent uniquement au mouvement), organes de Golgi-Mazzoni (renseignent sur la position articulaire). Cependant, leur rôle, pas toujours essentiel pour le contrôle postural, n'est pas encore précisément bien connu.

2.2.4 Informations tactilo-somesthésiques

En ce qui concerne les informations tactiles, les récepteurs sont positionnés superficiellement et profondément sur toute la surface corporelle. Cependant, nous trouvons la densité plus importante des récepteurs dans la zone plantaire et des mains (Caudron, 2010) et les informations provenant de cette zone sont d'ailleurs celles qui contribuent le plus au contrôle postural.

Nous pouvons différencier ces informations des informations proprioceptives, dans la mesure où les récepteurs cutanés ne répondent pas aux mêmes types de stimuli. Voici les différents mécanorécepteurs tactiles: les disques de Merckel (petit champ récepteur), les corpuscules de Ruffini (grand champ récepteur), les corpuscules de Meissner (petit champ récepteur) et de Pacini (grand champ récepteur).

Les récepteurs cutanés participent, bien entendu, au sens du toucher, mais contribuent également aux sens de la position, du mouvement et de la force (Moberg, 1983).

2.2.5 Informations auditives

Les chercheurs ne sont pas encore sûrs que les informations auditives influencent le contrôle postural. Cependant, en 1974 Lackner, afin d'améliorer la localisation spatiale des sons, a remarqué que la posture pouvait être ajustée.

De plus, Tanaka, Kojima, Takeda, Ino, & Ifukube (2001) ont montré qu'un flux auditif se déplaçant d'une oreille à l'autre influencerait le déplacement du centre de pression. Ils ont donc trouvé un effet du déplacement des sources sonores sur la posture lorsque les informations des autres canaux sensoriels étaient indisponibles ou perturbées.

D'ailleurs, Stoffregen, Villard, Kim, Ito, & Bardy (2009), appliquant l'audition au paradigme de la pièce mobile, ont montré que lors d'un flux auditif oscillant à 0.2 Hz dans le plan antéro-postérieur, les sujets étaient capables d'osciller volontairement avec cette information. Cette dernière donnée montre que, même si elle n'est pas primordiale au maintien de la posture, les afférences auditives jouent toutefois un rôle.

2.3 Equilibre et l'appui tendu renversé

Cet élément gymnique (également appelé équilibre sur les mains) consiste, depuis la station debout, à venir à la station renversée sur les mains. Il est un élément fondamental en gymnastique: il se retrouve à tous les agrès et dans tous les mouvements. Qu'il soit tenu ou

passager, sa maîtrise est nécessaire pour la réalisation des mouvements qui suivent ou qui sont plus difficiles.

Par rapport à la station debout, il y a différents enjeux qui sont négligés que nous verrons ci-après.

2.3.1 Polygone de sustentation

Nous appelons polygone de sustentation, la surface de tout objet qui repose sur le sol. Si on relie tous les points à l'extérieur de cette surface, on obtient cette zone. La surface de l'ATR est représentée ci-dessous (Fig. 1).

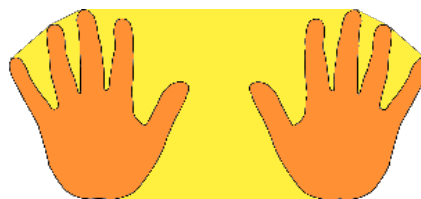


Fig. 1 – Polygone de sustentation à l'ATR

Normalement, plus le polygone de sustentation est grand, plus l'équilibre est stable. Vu que nous ne pouvons pas augmenter la taille de nos mains, nous pouvons écarter les mains pour augmenter la surface du polygone de sustentation. Si nous écartons trop les mains, nous n'améliorons pas la stabilité car une telle position rendrait musculairement plus difficile le contrôle de l'équilibre (la surface sera plus grande mais plus étroite). Le seul moyen pour agrandir la surface est de bien écarter les doigts. Cependant, cette augmentation n'aura pas un grand impact sur la stabilité, elle ne sera pas suffisante pour maintenir l'équilibre.

2.3.2 Centre de gravité

Si le centre de gravité (CG) d'un objet se trouve à la verticale de son polygone de sustentation, celui-ci peut rester en équilibre. Pourtant, le point du CG n'est jamais fixe, il varie en fonction des positions du corps.

Diversément, dès que la verticale du CG sort de son polygone de sustentation, il y a déséquilibre et par conséquent la chute (Fig. 2).

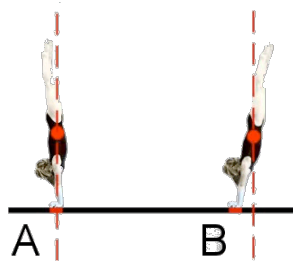


Fig. 2 — À la position A, l'équilibre est conservé car le CG reste au dessus du polygone de sustentation. Par contre, à la position B, dès que le CG sort du polygone de sustentation, il n'est plus possible de maintenir l'équilibre.

2.3.3 Alignement des segments

Même si nous avons parlé de maintenir la verticale du CG sur le polygone de sustentation, il n'implique pas forcément d'avoir un corps parfaitement tendu pour rester en équilibre sur les mains. Nous pouvons parfaitement avoir les jambes pliées et/ou le dos creux pour rester en équilibre (Fig. 3).



Fig. 3 – ATR sans l'alignement des segments

En effet, pour garder le CG sur le polygone de sustentation, le gymnaste peut compenser avec le dos et/ou avec les jambes pliées et la tête en extension pour rester en équilibre.

Voici en comparaison l'ATR d'une gymnaste avancée, à peu près parfait en tous points (Fig. 4).

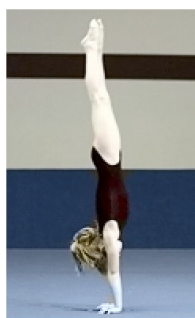


Fig. 4 – ATR en gymnastique

Dans cette figure, nous pouvons observer que le dos est droit, les segments sont bien alignés, le corps est parfaitement gainé, la tête est placée naturellement (ni en extension, ni rentrée) et que les doigts participent activement au maintien de l'équilibre.

En gymnastique l'esthétique est essentielle, mais ce n'est pas seulement pour cette raison qu'il faut aligner tout le corps, c'est simplement pour des raisons purement biomécaniques et de prévention. De plus, l'alignement des segments amène que des avantages.

Le premier avantage, le plus important, est l'économie d'énergie. En effet, il y a beaucoup moins d'énergie à fournir pour maintenir une position avec tous les segments alignés et empilés les uns au dessus des autres que le contraire.

Le gainage du corps est également indispensable, c'est-à-dire la contraction de l'ensemble des muscles qui rend la position bloquée. Il est difficile d'être bien gainé si une partie du corps ne l'est pas, donc cette position facilite le gainage général du corps et également la réalisation du mouvement.

Un autre avantage est celui d'éviter une courbure exagérée du dos. En exécutant un ATR sans un alignement des segments, le gymnaste aura d'abord des difficultés à maintenir l'équilibre et pire il ne réussira pas à exécuter d'autres éléments consécutifs. De plus, il va mettre principalement le dos dans une position extrême, en lui causant à long terme des blessures à cet endroit.

2.3.4 Ceinture pelvienne, ceinture scapulaire

Un autre point indispensable à considérer pour obtenir un bon résultat, est la ceinture pelvienne et la ceinture scapulaire (le bassin et les épaules).

En effet, le bon alignement des segments dépend en très grande partie du placement de ces deux zones. Elles sont deux points focaux pour l'ATR. En général, il suffit de corriger le bassin ou les épaules pour voir se redresser automatiquement le reste du corps. Bien évidemment cela n'est pas facile pour tous, il faut d'abord bien connaître son propre corps et avoir de solides bases musculaires.

En pratique, grâce à des micro-mouvements, le gymnaste avancé joue sur l'ouverture d'épaules pour maintenir l'équilibre. Une certaine force musculaire est donc indispensable à ce niveau, pour pouvoir utiliser ces micro-mouvements tout en conservant un gainage parfait. Dans ce sens, il est également indispensable d'avoir une certaine force musculaire au niveau des épaules pour pouvoir se tenir sur les mains.

2.3.5 Hauteur du centre de masse

La hauteur de centre de masse (CM) est un paramètre essentiel dans le contrôle postural. En effet, plus la distance entre le centre de masse et la surface de support est petite, plus la stabilité s'accroît (Maki 1998).

Plus le centre de masse est proche de la base de support, plus la stabilité est grande, vu que la hauteur du CM est liée à la stabilité.

En général notre CM se trouve plus ou moins au milieu du corps, mais en définitive il est plus difficile de maîtriser la position verticale sur les mains que celle sur les pieds.

En effet, le CM est un peu plus élevé en ATR qu'en position debout (Fig.5). De plus, la surface du polygone de sustentation des mains par rapport à celle des pieds est plus petite.

Un autre facteur important pour la stabilité est que les articulations et les muscles des membres supérieurs ne sont pas du tout conçus pour la locomotion en ATR: leur configuration et leur puissance ne sont pas adaptées à cette position (Gautier, Croix, Baguelin & Thouvarecq 2006).

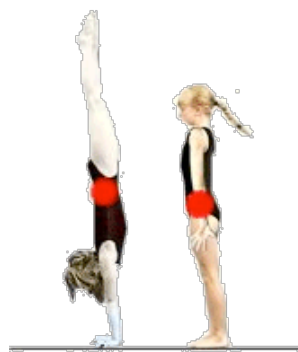


Fig. 5 – CM en ATR et debout

2.4 Les variables qui affectent l'ATR

2.4.1 Bassin

En gymnastique, on a deux positions pour le bassin: celui en antéversion (verser vers l'avant) et celui de rétroversion (verser vers l'arrière) (Fig. 6).

En ATR il suffit d'appuyer légèrement sur les épaules pour voir immédiatement le dos se creuser et avoir le bassin en antéversion. Il est alors évident que dans cette position nous ne sommes pas solides, nous ne pouvons pas maintenir un ATR correct.

Inversement, lorsque le gymnaste place son bassin en rétroversion, il est impossible de lui faire creuser le dos, même en appuyant de toutes ses forces sur les épaules.

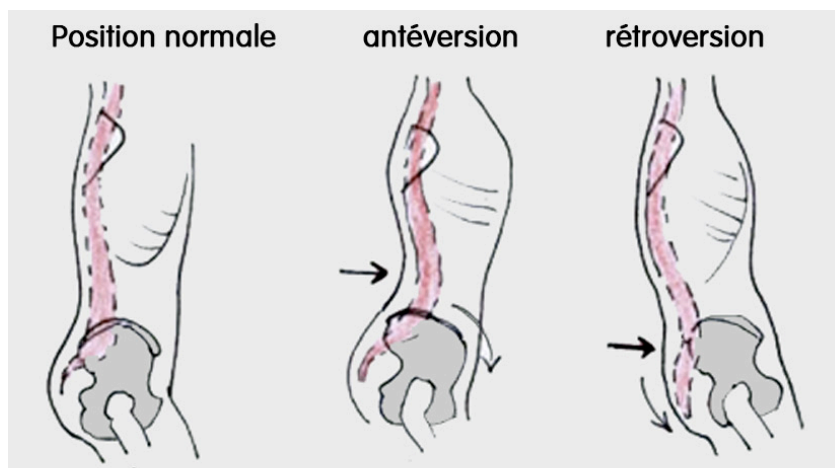


Fig. 6 – Les différentes positions du bassin.

2.4.2 Epaules

La ceinture scapulaire est particulièrement importante pour l'ATR. Elle joue le rôle du bassin par rapport à un individu debout, alors qu'elle n'est pas conçue pour cette fonction.

On utilise chaque partie du corps «activement» et c'est le cas également pour les épaules. Pour bloquer la position à l'appui et pour ne pas les laisser aller au-delà de l'alignement avec les poignets, dès que l'on pose les mains par terre, on commence tout de suite à s'allonger, comme si l'on voulait repousser le sol en fermant le trou entre les épaules et les oreilles.

En plus de cette action, lorsqu'on veut maintenir l'équilibre, pour conserver le CG au centre du polygone de sustentation on fait principalement, au niveau des épaules (mais également avec les mains, les poignets et le bassin), des micro-corrrections. Le moindre facteur limitant

au niveau des épaules compromet irrémédiablement la réalisation de l'ATR et son contrôle.

2.4.3 Tête

Quand le gymnaste a le dos creux, certains entraîneurs pensent que faire rentrer la tête va résoudre le problème, mais c'est une erreur. La source du problème est presque toujours l'angle des épaules et non pas la tête (sauf si elle n'est pas en extension exagérée). La solution est donc de suggérer au gymnaste de maintenir les épaules ouvertes et de les pousser contre les oreilles, ou plus facilement de corriger manuellement le gymnaste en l'allongeant vers le haut pour qu'il puisse automatiquement redresser le dos (Fig. 7).

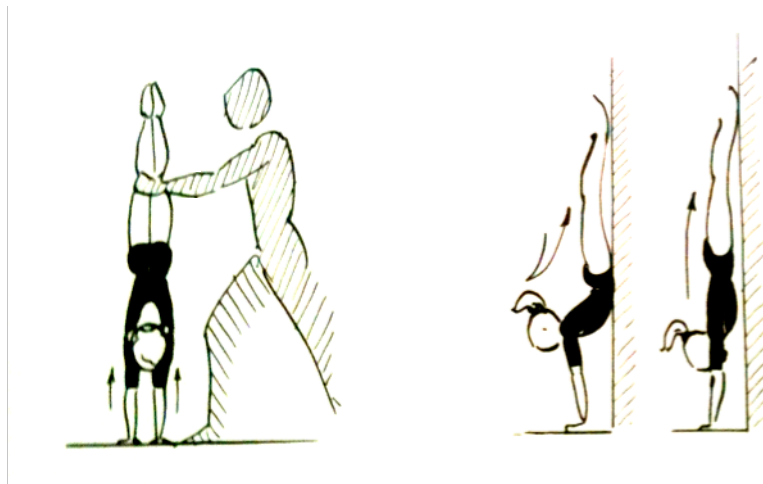


Fig. 7 – Redressement du dos creux accompagné par l'entraîneur ou individuellement.

L'origine du dos creux ne provient pas toujours des épaules, mais peut également venir du bassin qui n'est pas correctement placé en rétroversion (Fig. 8). Cela ne provient en tous les cas pas de la tête si elle est en position naturelle. Il est très difficile (voire impossible) de contrôler correctement l'équilibre à l'ATR avec la tête rentrée (Asseman et Gahery 2005).



Fig. 8 – Le dos creux est causé par l'angle des épaules et l'ouverture du bassin en antéversion et **non** pas par la tête.

Une étude réalisée en 1988 (Clément, Pozzo et Berthoz 1988) a montré que le maintien de l'équilibre à l'ATR est facilité lorsque le regard est fixé à environ 5cm en avant de l'articulation des poignets, ce qui correspond à l'emplacement des pouces.

Ce point correspond également à la verticale du CM pour que l'équilibre soit optimal.

2.4.4 Gainage

La dernière variable est la tenue du corps: elle très importante en gymnastique. Plus nous avons une bonne tenue du corps, plus nous aurons de la facilité à exécuter les mouvements. Autrement dit «gainage», en gymnastique représente le blocage des articulations en contractant les muscles, plus précisément le bassin en rétroversion et le corps en légère courbe avant. En ATR le gainage, comme nous l'avons vu précédemment, est un facteur important. Si on ne contracte pas tous les muscles on aura que peu de chances de maintenir l'équilibre.

2.5 Enduction biocéramique et les études existantes.

En 2012 l'étudiante française Morgane Burnel a effectué son travail de Master sur les effets qu'ont les vêtements biocéramiques sur la stabilité posturale. Il consistait à déterminer si le port d'une combinaison à enduction biocéramique pouvait améliorer la stabilité posturale de personnes chez lesquelles elle induisait une perturbation vibratoire bilatérale des tendons d'Achille. Les résultats de cette étude suggèrent que dans une situation de maintien postural simple (équilibre sur les deux pieds) les vêtements biocéramiques contribuent à améliorer la stabilité posturale.

Une autre étude menée en 2009 par l'institut de médecine du sport FMSI de Turin s'est intéressée à l'effet du port de vêtements à enduction biocéramique sur la récupération après un effort physique. En 2008, une autre étude a été réalisée par Riaz Mir sous la direction du docteur Daniel Mathieu et du professeur Bernard Durand qui se sont intéressés à l'effet du port de vestes à enduction biocéramique sur la stabilité et la posture des personnes sans troubles posturales.

Mon étude est donc de déterminer également les effets du port des vêtements à enduction biocéramique sur la stabilité posturale de personnes, mais dans une situation de maintien postural 'complexe', à savoir lorsque l'équilibre est instable.

3. Partie expérimentale

3.1 Buts de l'expérience

Le but de l'expérience est de voir si l'enduction biocéramique améliore la stabilité posturale en appui tendu renversé de participants ne présentant pas de troubles de perturbation posturale.

3.2 Méthode

La tâche consiste, pour une quinzaine de participants, à effectuer un renversement total du corps pour se placer en appui tendu renversé. Spécifiquement, les participants devront s'établir sur les mains en projetant un membre inférieur tendu et en poussant le sol à l'aide de l'autre membre inférieur.

Les sujets effectueront 5 essais avec les vêtements à enduction biocéramique et 5 essais avec les vêtements placebo.

Un indicateur de la stabilité posturale sera installé. Il mesurera les oscillations posturales générées pendant cinq secondes de maintien de la position d'appui tendu renversé.

3.2.1 Sujets

L'étude s'est portée sur 17 sujets et 14 résultats (Annexe 1). Trois personnes ont été éliminées, car elles n'arrivaient pas à atteindre les 5 secondes d'équilibre. Les 14 participants (hommes et femmes), dont les données ont été conservées, ne présentaient pas de troubles de l'équilibre connus. L'âge des participants était compris entre 15 et 28 ans (âge moyen = 21.5 ans). Tous étaient de corpulence normale: leur Indice de Masse Corporelle (IMC) allait de 18.2 à 26.4 Kg.m⁻² (IMC moyen = 21.82 Kg.m⁻²).

3.2.2 Matériel

Le matériel consistait en une plateforme carrée (Fig. 9) équipée de quatre capteurs de force, répartis sur les quatre angles de la plateforme. Les signaux étaient échantillonnés à une fréquence de 100 Hertz. Cette plateforme de force analyse la projection du "centre de pression" (CdP) qui peut être assimilée, sur un sujet immobile, au centre de gravité du corps.

La pose des mains était répartie dans la zone du milieu de la plateforme.

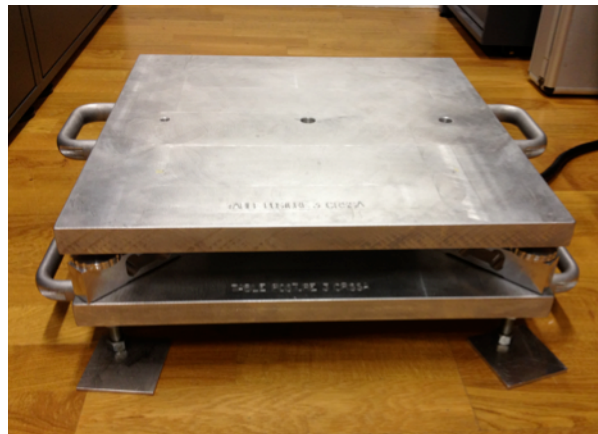


Fig. 9 – Plateforme de force

La plateforme était reliée à un système informatique permettant l'enregistrement des signaux avant, pendant et après le déclenchement des mesures.

Les participants ont porté deux types de combinaisons qui ont été fournies spécialement par la société HT Concept®. L'une comportait une enduction biocéramique, l'autre non. Ces deux combinaisons étaient d'élasticité comparable, et leur forme et couleur étaient identiques. Pour mieux s'adapter aux différents participants, chaque combinaison était disponible en quatre tailles différentes : S, M, L et XL. Chaque combinaison se composait d'un haut et d'un pantalon. Pour plus de détails, se reporter à la Figure 10.



Fig. 10 – Combinaison biocéramique/placebo

3.2.3 Procédure

Les participants étaient en sous-vêtements sous la combinaison.

Un changement de combinaison était effectué après le 5^{ème} essai.

Une fois en appui renversé sur la plateforme de force, on ajustait la position du corps des participants pour aligner les segments de leur corps.

L'aide apportée pour monter sur la plateforme et l'ajustement étaient fait par l'expérimentateur chargé de veiller sur la sécurité du participant. En cas d'erreur de la part du participant, il était prévu de repasser.

Lors de chaque essai, le même expérimentateur se tenait sur le côté droit du participant. On expliquait à ce dernier que pour chaque essai, l'expérimentateur placerait un bras derrière et un autre devant lui, afin de le retenir au cas où il perdrait l'équilibre.

Chaque essai durait 5s pendant lesquelles le participant devait rester en appui tendu renversé.

Lorsque l'enregistrement était terminé, on prévenait le participant. Entre chaque essai on lui demandait s'il souhaitait s'asseoir pour se reposer un peu. Si ce n'était pas le cas, on lui suggérait quand même de bouger les poignets ou les bras pour se détendre. Au bout de 5 essais on lui fournissait la deuxième combinaison. Lorsque l'expérience était terminée, le participant récupérait ses vêtements. Une fois changé, nous propositions de répondre à ses questions. Lorsque la curiosité du participant était satisfaite on le raccompagnait à la sortie.

3.2.4 Plan d'expérience

- Variables indépendantes

Une variable indépendante était utilisée.

Le type de combinaison (C) comportait deux modalités: combinaison comportant une enduction biocéramique et combinaison placebo ne comportant pas d'enduction biocéramique. Il s'agit d'une variable nominale, dont chaque modalité était passée par tous les participants.

Chaque participant a passé cinq essais par modalité, soit un total de 10 essais par participant.

- Variables dépendantes

Cinq variables ont été utilisées. Celles-ci sont calculées à partir des données recueillies pendant 5 secondes.

La variable «Surface 99» correspond à l'ellipse de confiance réalisée à partir de 99% des positions successives du CdP relevées au cours de l'acquisition. La surface indique la précision et l'efficacité du contrôle de la posture orthostatique. Elle représente l'écart-type, la dispersion des positions successives par rapport à la position moyenne du CdP (Bazert, 2008).

Les variables «Amplitude GD» et «Amplitude AA» correspondent à l'étendue maximale des positions du CdP respectivement sur l'axe antero médio-latéral et antero-postérieur. Il s'agit de l'étendue maximale des oscillations sur chaque axe.

Les variables « Longueur GD » et « Longueur AA » correspondent à la longueur maximale des positions du CdP respectivement sur l'axe antero médio-latéral et antero-postérieur.

- Variables contrôlées

Comme nous l'avons vu précédemment, la stabilité posturale est affectée par différentes informations sensorielles. Parmi elles, la vision, les informations somato-sensorielles et l'audition. Différents types d'informations visuelles n'ont pas le même effet sur la stabilité.

Afin de ne pas introduire de biais, on a suggérée aux participants de regarder un point fixe entre leurs mains, à environ 5cm en avant de l'articulation des poignets, ce qui correspond à l'emplacement des pouces (Clément, Pozzo et Berthoz 1988). Comme on a vu précédemment, ce point correspond également à la verticale du CM.

Les informations auditives peuvent influencer la stabilité posturale. Afin de minimiser cet effet, la chambre était le plus insonorisée possible.

La surface de la plateforme étant bien lisse et pour ne pas glisser avec les mains, on avait à disposition de la magnésie.

Au-delà des informations sensorielles, on a vu préalablement d'autres variables qui peuvent influencer la stabilité de l'ATR. Même si on disposait de participants d'un bon niveau en gymnastique et pour avoir des positions correctes pour tout le monde, chaque essai était contrôlé par l'expérimentateur au niveau des épaules, du bassin, de la tête et du gainage. Si un, ou plusieurs de ces facteurs était mauvais, l'expérimentateur, avant de démarrer les mesures, corrigeait la position.

Chaque essai durait 5s, ce qui portait la durée totale de l'expérience à environ 15 minutes pour chaque participant. Une certaine fatigue musculaire s'installe à force d'être en appui renversé. Comme nous ne souhaitions pas étudier l'effet de cette fatigue sur la stabilité, entre chaque essai, nous avons proposés aux participants de bouger les bras à fin de relaxer les

muscles. Et s'ils ne se sentaient pas fatigués, on attendait quand même 20s avant de commencer l'essai suivant. Pendant cette durée, les participants devaient bouger leurs bras afin d'éviter que des crampes ne s'installent. Avant de reprendre l'expérience, nous demandions aux participants s'ils se sentaient prêts ou s'ils voulaient rester assis encore un peu. Afin d'éviter que les participants ne se sentent gênés en cas de fatigue, nous leur avons proposé des pauses de manière systématique.

Nous leurs avons également rappelé qu'ils ne devaient pas être dans une logique de compétition, et que toute réponse était bonne.

Ainsi, nous avons contrôlé la possibilité qu'une différence entre les conditions placebos et biocéramiques puisse être la source d'une différence d'oscillations posturales entre ces deux conditions. On a donc divisé les 14 personnes en deux groupes. Un groupe commençait le test avec la combinaison à enduction biocéramique et l'autre groupe avec la combinaison placebo.

3.2.5 Hypothèses opérationnelles

Le port de la combinaison à enduction biocéramique diminue les valeurs moyennes de la surface et la longueur des déplacements du CdP ainsi que l'étendue maximale de ses déplacements sur l'axe antéro-postérieur et sur l'axe médio-latéral.

4. Résultats

Tous les résultats statistiques présentés ci-après proviennent d'ANOVAs. Les résultats sont considérés comme significatifs si p est inférieur au seuil de 0.05.

Le but de cette étude était de déterminer s'il existe un effet de l'enduction biocéramique sur la stabilité de l'appui tendu renversé. Pour cela cinq indicateurs ont été retenus : «Surface 99», «Longueur GD», «Amplitude GD» et «Amplitude AA» (Fig. 11).

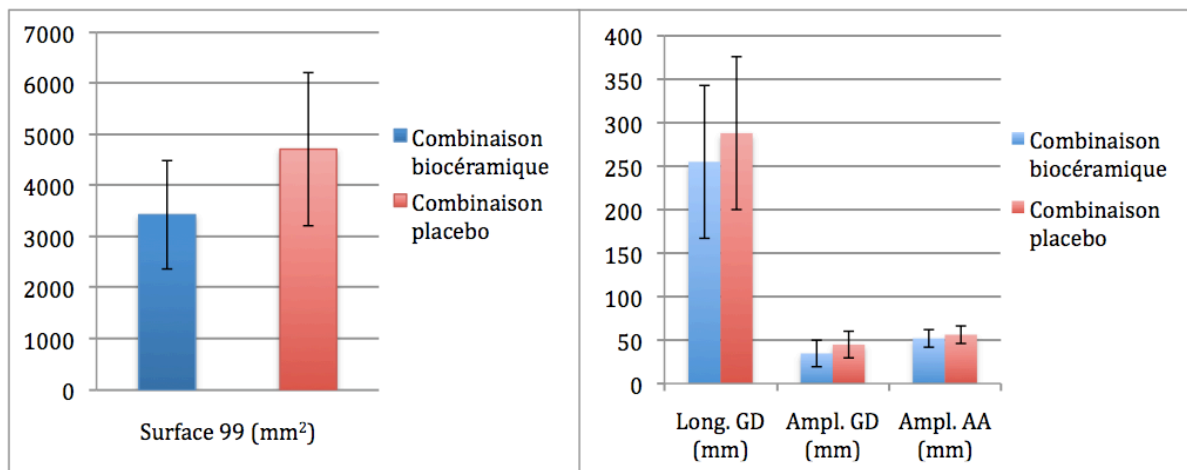


Figure 11 - Moyennes en fonction du type de combinaison portée

Pour toutes les variables dépendantes nous observons une meilleure stabilité lors du port de la combinaison à enduction biocéramique.

Cette amélioration est surtout significative pour les données de la surface à partir de 99% des positions successives du centre de pression (CdP) relevées au cours de l'acquisition, c'est-à-dire la surface moyenne parcourue par le CdP. En moyenne, lorsque les participants portaient la combinaison à enduction biocéramique, la surface des déplacements de leur CdP était plus faible [$F(1,13)= 21.07$, $p<0.05$ (0.000506)] que lorsqu'ils portaient la combinaison placebo (3431 mm² contre 4714 mm²). Cela représente également une réduction de 27.2% de la surface, démontrant ainsi une amélioration de la stabilité posturale avec la combinaison à enduction biocéramique.

De surcroît, nous observons également une réduction significative de la variabilité individuelle de surface du CdP [$F(1,13)=5.163$, $p>0.05$ (0.0407)], celle-ci étant plus restreinte avec la combinaison à enduction biocéramique (variabilité moyenne = 1117.4) qu'avec la combinaison placebo (moyenne = 2035.9). Dans ce sens, il y a une diminution de 45% sur la variabilité individuelle de surface.

Voici un graphique montrant l'efficacité de la combinaison à enduction biocéramique pour chaque participant (Fig. 12).

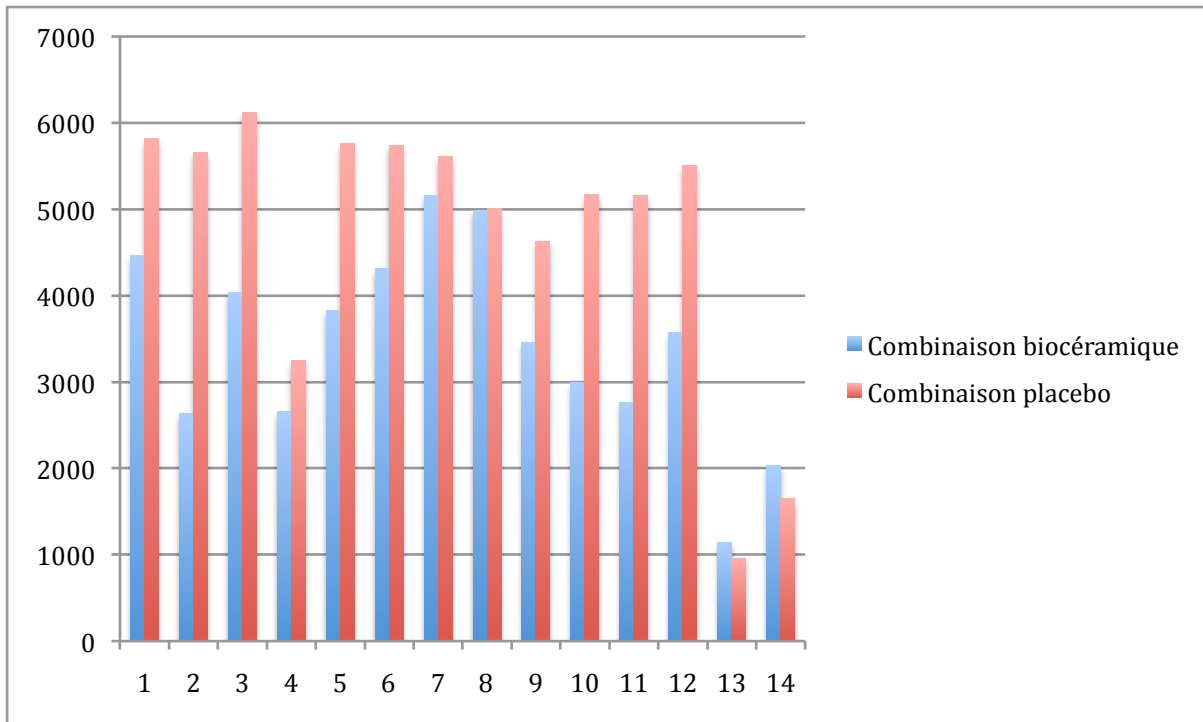


Figure 12 - Valeurs de chaque participant en fonction du type de combinaison portée

Nous pouvons remarquer que l'efficacité de la combinaison à enduction biocéramique a un effet sur tous les participants sauf deux (13, 14). Donc sur l'échantillon testé, le 85.71% a un effet positif sur la surface parcourue par le CdP avec la combinaison biocéramique par rapport à la surface parcourue par le CdP avec la combinaison placebo. Nous pouvons également voir que les deux participants, auxquels la combinaison biocéramique n'a pas eu d'effet, ont en moyenne une plus petite surface de déplacement du CdP par rapport aux autres. On pourrait en déduire que pour tout ceux qui ont une bonne stabilité (surface < 2000 mm²) la combinaison biocéramique n'influence pas significativement le maintien de la posture.

Il en va de même pour les autres variables (Annexe 2), les sujets 13 et 14 n'ont jamais eu des effets d'amélioration avec la combinaison à enduction biocéramique (sauf pour le 14 en «longueur AA» où l'on constate une amélioration minime).

On pourrait en supposer alors que pour tout ceux qui ont une mauvaise stabilité (surface > 5000 mm²) la combinaison biocéramique influence significativement le maintien de la posture.

Les sujets 2, 11 et 10 ont eu une amélioration abondante de la surface avec la combinaison biocéramique, cependant ne sont pas ceux qui ont eu une plus grande surface.

En faisant un classement de tous les sujets sur leur surface de déplacement du CdP (Annexe 3) nous avons remarqué que ceux qui ont eu une petite surface ont commencé le test avec la combinaison biocéramique (13, 14, 4, 9). En revanche ceux qui ont eu une plus grande surface, ont commencé avec la combinaison placebo (3, 1, 5, 6).

Dans ce cas, il paraît raisonnable de repasser les sujets en changeant la combinaison de départ pour voir s'il y a des changements.

Donc il n'y a pas une règle, mais nous pouvons affirmer que tout ceux qui ont une surface moyenne basse, n'ont pas une amélioration significative sur la stabilité avec une combinaison biocéramique.

Voici un exemple de comment est représentée le déplacement du CdP. Plus la surface est grande, moindre est la stabilité (Fig. 13).

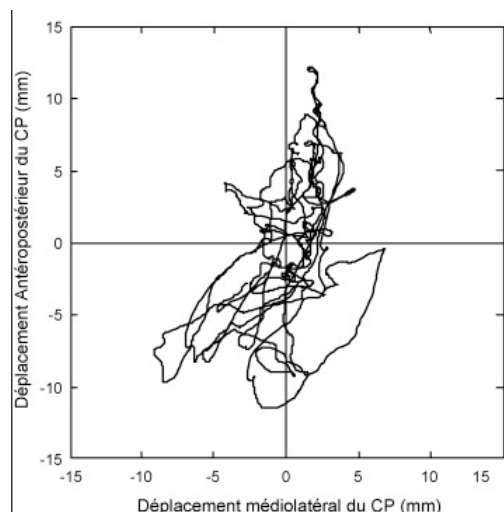


Figure 13 - Trajet du CdP d'un participant

Une autre valeur pertinente, mais statistiquement pas significative, a été trouvée chez les participants qui présentaient des déplacements moins longs sur l'axe médio-latéral [$F(1,13)=7.728$, $p>0.05$ (0.0156)] et moins amples sur l'axe médio-latéral [$F(1,13)=5.913$, $p>0.05$ (0.0302)] et antero-postérieur [$F(1,13)=5.19$, $p>0.05$ (0.0403)] lorsqu'ils portaient une combinaison à enduction biocéramique plutôt qu'une combinaison placebo (Tab. 1 et Fig. 14).

Tab. 1 – Moyennes de la longueur et de l'amplitude GD/AA en fonction du type de combinaison portée

	Long. GD moyenne (mm)	Ampl. GD moyenne (mm)	Ampl. AA moyenne (mm)
Combinaison biocéramique	254.97	34.62	51.91
Combinaison placebo	287.99	44.83	56.17

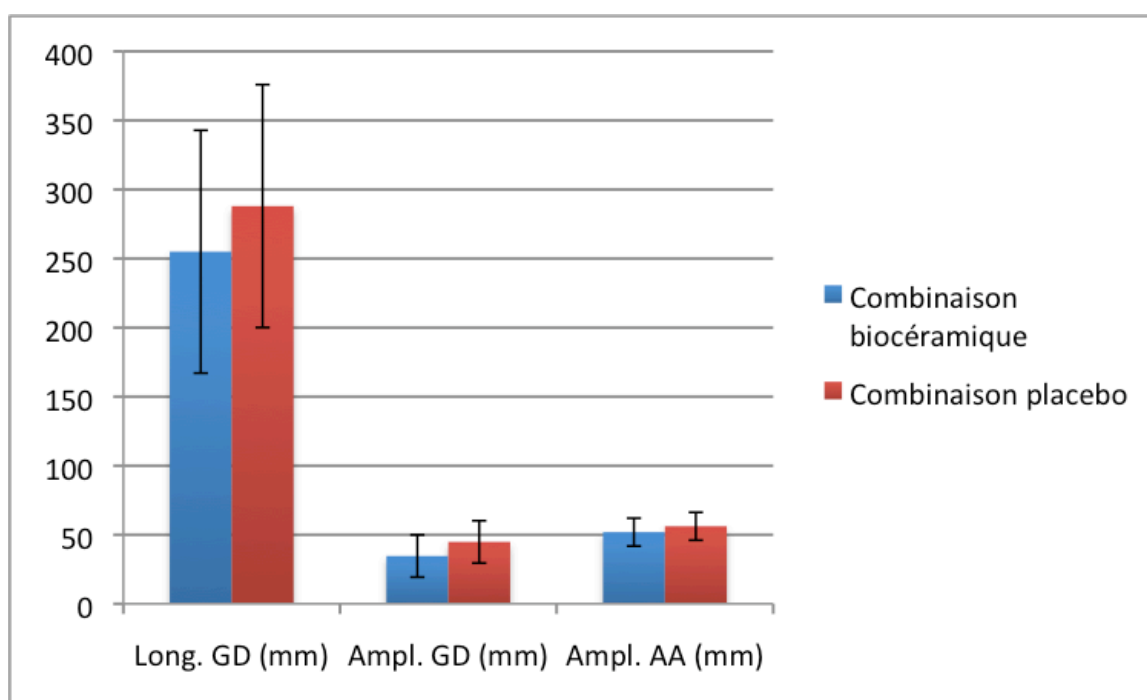


Figure 14 – Moyennes de la longueur et de l'amplitude GD en fonction du type de combinaison portée

On a donc établi que l'enduction biocéramique a apporté une réduction de la longueur des déplacements du CdP sur l'axe médio-latéral de l'ordre de 11.46% et de l'amplitude sur l'axe médio-latéral et antero-postérieur de 22.77% et 7.58%.

De surcroît, comme déjà observé avec la surface, la variabilité individuelle de longueur et d'amplitude du CdP est également plus restreinte avec la combinaison à enduction biocéramique qu'avec la combinaison placebo (Tab. 2). Cette différence n'est toutefois pas significative comme la surface: Longueur GD [$F(1,13)=1.472$, $p>0.05$ (0.247)], amplitude GD [$F(1,13)=2.63$, $p>0.05$ (0.129)] et amplitude AA [$F(1,13)=1.432$, $p>0.05$ (0.253)].

Tab. 2 – Moyennes de la variabilité de longueur et de l'amplitude GD/AA en fonction du type de combinaison portée

	Variabilité long. GD moyenne (mm)	Variabilité ampl. GD moyenne (mm)	Variabilité ampl. AA moyenne (mm)
Combinaison biocéramique	42.00	10.013	6.578
Combinaison placebo	8.22	19.317	8.858

Pris ensemble, les résultats relatifs à l'amplitude et à la longueur des déplacements du CdP suggèrent que la combinaison à enduction biocéramique permet une amélioration de la stabilité posturale (en comparaison avec la combinaison placebo). Cependant, ces résultats ne sont statistiquement pas significatifs.

5. Discussion et conclusion

Le but de cette étude était de voir s'il existe un effet de l'enduction biocéramique sur la stabilité à l'appui tendu renversé. Le port de vêtements à enduction biocéramique a permis d'améliorer significativement la stabilité des participants.

Il a permis de réduire de 27.2% la surface des déplacements de leur CdP, sur le 85.71% des participants.

La combinaison biocéramique a également réduit de 22.77% et 7.58% l'étendue maximale de ces déplacements sur l'axe médio-latéral et antéro-postérieur, et de 11.46% la distance parcourue par le CdP sur l'axe médio-latéral. En revanche, les résultats montrent que l'enduction biocéramique n'a pas d'impact significatif sur la distance totale parcourue par le CdP sur l'axe antéro-postérieur, même si la perte de stabilité est plus commune sur cet axe.

De plus, le 14.29% des participants a une surface de déplacements, avec la combinaison biocéramique ou placebo, nettement inférieure aux autres. Nous avons donc pu déduire que la combinaison biocéramique n'apporte aucun effet aux personnes avec une bonne stabilité.

Toutefois, aux personnes qui ont une mauvaise stabilité, la combinaison biocéramique n'apporte non plus un effet significatif. Par conséquent nous ne pouvons pas affirmer qu'il y a une règle fixe.

D'ailleurs nous avons découvert que ce pourcentage de sujets avait commencé le test avec la combinaison à enduction biocéramique.

Nous pourrions considérer qu'au fur à mesure que nous exécutons des ATR (en se reposant

entre chaque ATR), notre corps s'habitue et s'adapte aux différents déséquilibres en améliorant la stabilité. C'est peut être pour cette raison que ceux qui ont commencé avec la combinaison biocéramique ont eu une meilleure stabilité dans la deuxième série des ATR avec la combinaison placebo.

Malgré cela et si nous regardons plus en profondeur, nous avons constaté que le niveau moyen de tous les résultats des sujets 13 et 14 sont toujours inférieurs par rapport aux autres sujets avec ou sans combinaison biocéramique. Donc ce n'est pas essentiellement la combinaison de départ qui pourrait changer les résultats.

Cependant, pour être plus sûrs de ces résultats, il faudrait refaire le test avec tout le monde et changer la combinaison de départ pour voir s'il y a des différences.

De plus, nous avons remarqué que la tâche était légèrement trop longue. Ce n'est pas facile de tenir 5 secondes un ATR. Par conséquent il n'était également pas facile de réunir des participants capable de tenir jusqu'à la fin de l'expérience.

Pour une prochaine étude, il serait raisonnable de diminuer les secondes pour que plus de personnes puissent participer, pour examiner plusieurs niveaux et pour voir si effectivement la combinaison biocéramique a une influence majeure sur les personnes avec moins de stabilité.

En 2008, une étude réalisée par Riaz Mir sous la direction du docteur Daniel Mathieu et du professeur Bernard Durand s'est intéressée à l'effet du port de vestes à induction biocéramique sur la stabilité et la posture. Cette étude portait sur des sujets sains chez lesquels aucune perturbation posturale n'avait été induite. Les auteurs n'avaient pas trouvé d'effet du port de vestes à induction biocéramique sur le contrôle postural. Nous avons interprété cette absence de résultats par l'existence d'un effet qui soit faible, mais on peut également s'interroger sur le rôle de la surface du corps recouverte par le vêtement et leur adhérence.

L'étude menée ici a montré qu'il existe un effet de l'induction biocéramique sur la capacité d'un individu à s'équilibrer dans des conditions instables. La technologie du biocéramique semble donc digne d'intérêt et mériterait d'être étudiée plus amplement. Les mécanismes à l'origine de cet effet doivent également être étudiés. Enfin, ces résultats ont une application pour de nouvelles approches pour améliorer la stabilité.

6. Bibliographie

- Asseman, F. & Gahery, Y. (2005) Effect of head position and visual control on balance control in inverted stance. *Neuroscience Letters*, vol. 375 (2), 134-137.
- Bazert, C. (2008). Choix des paramètres stabilométriques. In *Influence de l'avancement de la mandibule sur la posture générale. Etude stabilométrique et compléments électromyographiques* Thèse de doctorat en sciences physiques et de l'ingénieur spécialité mécanique. Université de Bordeaux 1, Bordeaux, France.
- Bouisset, S., & Maton, B. (1995) Coordination musculaires dans la posture et le mouvement. *Muscles, posture et mouvement. Base et applications de la méthode électromyographique*, 336-543, Paris: Hermann.
- Carrasco, R. (1981) *Gymnastique aux agrès, cahiers techniques de l'entraîneur: les rotations avant*. Paris: Vigot
- Clément, G., Pozzo, T., & Berthoz, A. (1988) Contribution of eye positioning to control of upside-down standing posture. *Experimental brain research*, 73(3), 569-76.
- Gautier, G., Croix, G., Baguelin X., & Thouvarecq, R. (2006). L'appui tendu renversé. *Gym Technic*, 57, 21-24.
- Lackner, J. R. (1974). The role of posture in sound localization. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 26(2), 235-251.
- Lee, D. N., & Lishman, J. R. (1975). Visual proprioceptive control of stance. *Journal of Human Movement Studies*, 1, 87-95.
- Maki, B. E. (1998). Is center of mass a controlled parameter ? In Identifying control mechanisms for postural behaviors. *Satellite Meeting to the society for neuroscience, Los Angeles, November 6-7*, 11-12.
- Matthews, P. B. C. (1964). Muscle spindles and their motor control. *Physiological Reviews*, 44(2), 219-288.
- Moberg, E. (1983). The role of cutaneous afferents in position sense, kinaesthesia, and motor function of the hand. *Brain*, 106(1), 1-19.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2007). Normal Postural Control (chapter 7). *Motor control: translating research into clinical practice*. (3rd ed., pp. 157-186). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Stoffregen, T. A., Villard, S., Kim, C. G., Ito, K., & Bardy, B. G. (2009). Coupling of head and body movement with motion of the audible environment. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(4), 1221-1231
- Tanaka, T., Kojima, S., Takeda, H., Ino, S., & Ifukube, T. (2001). The influence of moving auditory stimuli on standing balance in healthy young adults and the elderly. *Ergonomics*, 44(15), 1403-1412.
- Travis, R. C. (1945). An experimental analysis of dynamic and static equilibrium. *Journal of Experimental Psychology*, 35, 216-234.

Liens :

http://en.wikipedia.org/wiki/Men%27s_pole_vault_world_record_progression
http://sites.ostralo.net/sautalaperche/2_evolutionmateriel/2_evolutionmateriel.htm

Photos :

http://www.rollerenligne.com/images/articles/position_bassin_dos_anteversion_retroversion.jpg
<http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S195903180900116X-gr2.jpg>
<http://www.gymnet.org/article-16977-l-appui-tendu-renverse-atr>

Photos première page :

<http://www.fanpop.com/clubs/gymnastics/images/351667/title/svetlana-khorkina-photo>
<http://www.fanpop.com/clubs/nastia-liukin/images/2070158/title/2008-beijing-games-photo>

<http://www.today.it/sport/olimpiadi-londra-2012-ginnastica.html>

<http://www.tumblr.com/tagged/carlotta%20ferlito>

Annexe 1

	Sujet 1		Sujet 2		Sujet 3		Sujet 4	
Âge	23		23		23		19	
Poids	63		56		63		72	
Taille	1.74		1.7		1.74		1.83	
Combinaison de départ	Placebo		Placebo		Placebo		Biocéramique	
	Biocéramique		Biocéramique		Biocéramique		Biocéramique	
	Placebo		Placebo		Placebo		Placebo	
Surface 99 moyenne	4465.204	5813.7594	2630.7254	5655.1156	4039.3892	6116.9764	2652.4324	3245.1124
Ampl. GD moyenne	37.0632	49.7358	30.8932	71.037	37.15	49.648	28.4744	27.3548
Ampl. AA moyenne	55.991	64.1756	45.4342	60.0718	62.9564	72.2762	52.5706	56.5774
Long. GD moyenne	440.1494	459.9638	218.557	357.5228	342.1964	412.9294	234.0612	235.2184
Long. AA moyenne	456.7254	493.7572	335.8532	384.6884	557.8066	621.1286	479.377	436.6806

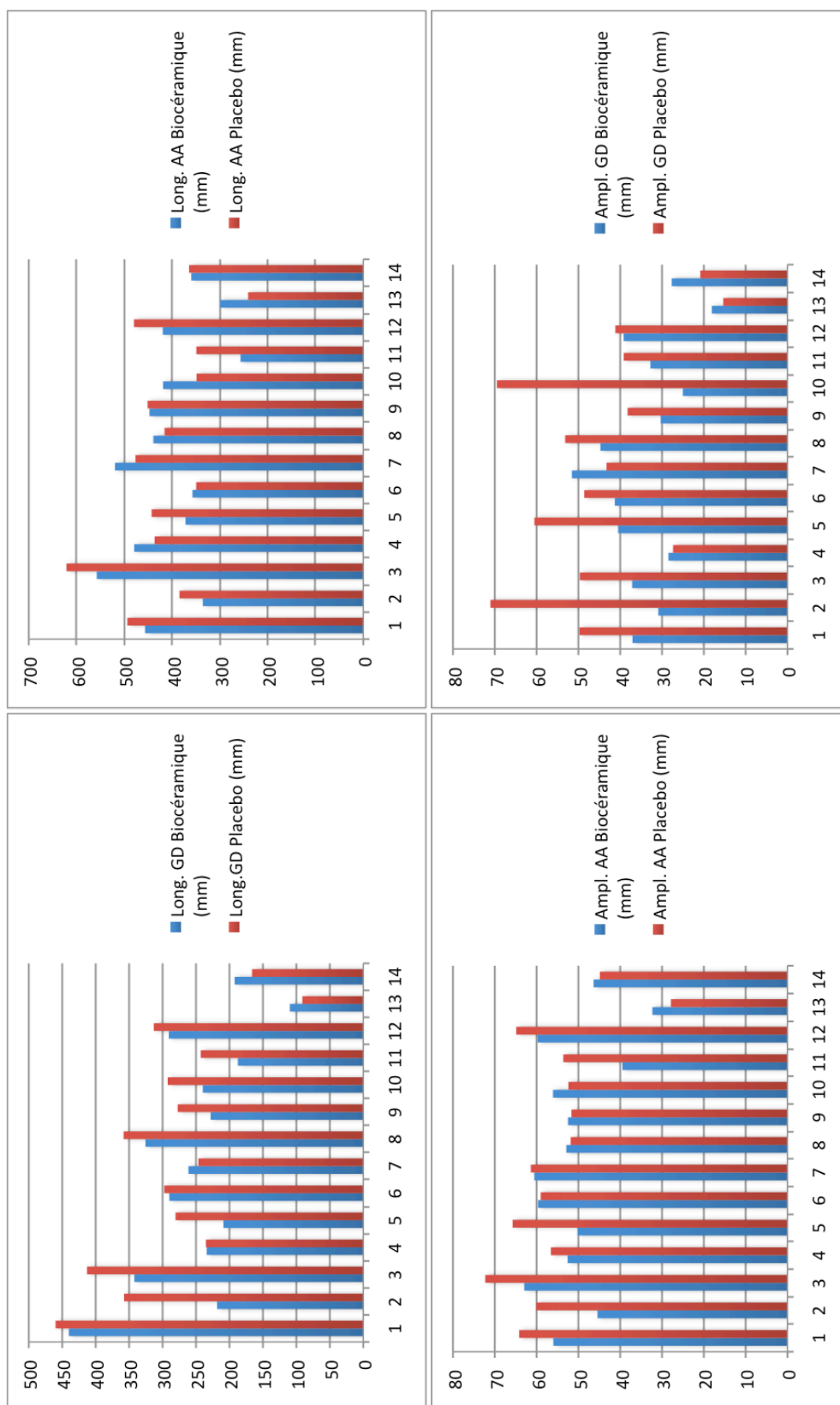
	Sujet 5	Sujet 6		Sujet 7		Sujet 8		Sujet 9	
Âge	22	20		23		22		28	
Kg	76	75		84		80		50	
Taille	1.8	1.82		1.85		1.74		1.64	
Combinaison de départ	Placebo	Placebo		Biocéramique		Placebo		Biocéramique	
	Biocéramique	Placebo	Biocéramique	Placebo	Biocéramique	Placebo	Biocéramique	Placebo	
Surface 99 moyenne	3830.4762	5756.1324	4308.5654	5738.2566	5162.9334	5604.5942	4981.6852	5005.5084	3458.0196
Ampl. GD moyenne	40.5014	60.52	41.2944	48.6038	51.5614	43.2698	44.7362	53.1656	30.302
Ampl. AA moyenne	50.1808	65.7296	59.658	59.0044	60.5476	61.3812	52.8928	51.8436	52.4864
Long. GD moyenne	209.0978	280.6732	289.9722	297.5064	261.3616	246.5194	325.5648	358.244	228.1722
Long. AA moyenne	372.0604	443.0066	357.5668	349.713	519.7076	476.7412	439.375	415.97	447.5106
									451.3768

Annexe 1 – Liste des sujets et leurs résultats (2/3)

	Sujet 10		Sujet 11		Sujet 12		Sujet 13		Sujet 14	
Âge	28		15		23		27		16	
Kg	55		48		80		58		64	
Taille	1.72		1.68		1.83		1.59		1.65	
Combinaison de départ	Biocéramique		Placebo		Biocéramique		Biocéramique		Biocéramique	
	Biocéramique	Placebo	Biocéramique	Placebo	Biocéramique	Placebo	Biocéramique	Placebo	Biocéramique	Placebo
Surface 99 moyenne	3830.4762	5756.1324	4308.5654	5738.2566	5162.9334	5604.5942	4981.6852	5005.5084	3458.0196	4626.7704
Ampl. GD moyenne	40.5014	60.52	41.2944	48.6038	51.5614	43.2698	44.7362	53.1656	30.302	38.235
Ampl. AA moyenne	50.1808	65.7296	59.658	59.0044	60.5476	61.3812	52.8928	51.8436	52.4864	51.663
Long. GD moyenne	209.0978	280.6732	289.9722	297.5064	261.3616	246.5194	325.5648	358.244	228.1722	277.4046
Long. AA moyenne	372.0604	443.0066	357.5668	349.713	519.7076	476.7412	439.375	415.97	447.5106	451.3768

Annexe 1 – Liste des sujets et leurs résultats (3/3)

Annexe 2



Annexe 2 - Moyennes individuelles des variables : Longueur GD, Longueur AA, Amplitude GD et Amplitude AA.

Annexe 3

Sujets	Surface 99 (mm ²) placebo	% d'amélioration	Combinaison de départ
3	6116.9764	34%	Placebo
1	5813.7594	23.19%	Placebo
5	5756.1324	33.45%	Placebo
6	5738.2566	24.91%	Placebo
2	5655.1156	53.48%	Placebo
7	5604.5942	7.88%	Biocéramique
12	5500.0088	34.95%	Biocéramique
10	5165.164	42.09%	Biocéramique
11	5158.9752	46.42%	Placebo
8	5005.5084	0.47%	Placebo
9	4626.7704	25.26%	Biocéramique
4	3245.1124	18.26%	Biocéramique
14	1653.8822	-22.73%	Biocéramique
13	960.2792	-18.91%	Biocéramique

Annexe 3 – Classement décroissante de la stabilité des sujets avec combinaison placebo, plus % d'amélioration avec combinaison biocéramique.

«Je sous-signée certifie avoir réalisé le présent travail de façon autonome, sans aide illicite quelconque. Tout élément emprunté littéralement ou mutatis mutandis à des publications ou à des sources inconnues, à été rendu reconnaissables comme tel.»

Lieu, date

Signature

«Je sous-signée reconnais que le présent travail est une partie constituante de la formation en Sciences du Mouvement et du Sport à l'Université de Fribourg. Je m'engage donc à céder entièrement les droits d'auteur – y compris les droits de publication et autres droits liés à des fins commerciales ou bénévoles – à l'Université de Fribourg.

La cession à tiers des droits d'auteur par l'Université est soumise à l'accord de la sous-signée uniquement.

Cet accord ne peut faire l'objet d'aucune rétribution financière.»

Date

Signature