



Disponible en ligne sur
SciVerse ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
EM|consulte
www.em-consulte.com



ARTICLE ORIGINAL



Présentation d'un outil original mesurant la qualité des représentations motrices en sports de combat : le test spécifique d'imagerie du mouvement (MIST)

Presenting an original tool to assess motor representation in combat sports: The Movement Imagery Specific Test (MIST)

D. Moreau^{a,b,*}, A. Mansy-Dannay^a, J. Clerc^a, A. Guerrien^a

^a Université Lille Nord de France, UDL3, PSITEC lab (EA 4072), Villeneuve d'Ascq cedex, France

^b Department of Psychology, University of Princeton, 7, Vandeventer Avenue, Princeton NJ 08542, États-Unis

Reçu le 17 août 2011 ; accepté le 2 janvier 2012

Disponible sur Internet le 13 juin 2012

MOTS CLÉS

MIST ;
Représentation motrice ;
Imagerie ;
Expertise ;
Tests de performance

Résumé

Objectif. – Cet article présente un nouvel outil de mesure des capacités de manipulation des représentations motrices en sports de combat, le test spécifique d'imagerie du mouvement (MIST), comme un complément aux questionnaires classiques d'imagerie motrice.

Patients et méthodes. – Soixante participants pratiquant l'escrime, le judo ou la lutte ont pris part à l'étude. Trois versions différentes du MIST ont été créées, adaptées à chacune des disciplines.

Résultats. – Validité et fidélité du test sont satisfaisantes, avec une corrélation significative entre le MIST et le Mental Rotation Test (MRT), tous deux tests de performance, mais pas entre le MIST et le Movement Imagery Questionnaire-Revised (MIQ-R). Les résultats montrent également un effet significatif du niveau d'expertise et du genre sur la performance au MIST. Ce nouvel outil est destiné aux professionnels travaillant dans le domaine sportif, afin d'évaluer de manière efficace la qualité des représentations impliquées dans les pratiques de combat, facilitant ainsi l'utilisation de l'imagerie motrice chez les pratiquants sportifs de tous niveaux. Le MIST vise également à promouvoir le développement de nouveaux outils de mesure, novateurs et spécifiques.

© 2012 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : dmoreau@princeton.edu (D. Moreau).

KEYWORDS

MIST;
 Motor representation;
 Imagery;
 Expertise;
 Performance tests

Summary

Aim. – This article introduces a new tool designed to assess the ability to manipulate motor representations in combat sports, the Movement Imagery Specific Test (MIST), as a complement to traditional motor imagery questionnaires.

Method. – Sixty participants practicing fencing, judo or wrestling took part in the study. Three different versions of the test were designed, adapted to each sport.

Results. – Validity and reliability of the test were satisfactory, with a significant correlation between the MIST and the Mental Rotation Test (MRT), both performance tests, but not between the MIST and the Movement Imagery Questionnaire-Revised (MIQ-R). We also observed a significant effect of sport level and of gender on MIST performance. This new tool is intended for professionals in the field of sport to assess effectively the quality of representations underlying combat practice, thus facilitating the use of motor imagery regardless of levels. The MIST also seeks to promote the development of new assessing tools, original and specific.

© 2012 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Introduction

L'apprentissage moteur peut être défini comme la construction de modèles internes mettant en relation informations sensorielles et motrices [1], divisée en plusieurs étapes requérant différents processus cognitifs [2]. En début d'apprentissage, les ressources attentionnelles sont majoritairement allouées à la tâche motrice et à ces conséquences [3–5], alors que par la suite, l'automatisation de certaines séquences ou d'enchaînements entre différentes séquences permet de libérer les ressources attentionnelles à d'autres fins, comme la prise d'informations pertinentes dans l'environnement, afin de sélectionner la série d'actions la plus adaptée. À ce stade, une représentation de l'action motrice est conservée en mémoire à long terme, permettant le bon déroulement des exécutions motrices ultérieures [2,3].

Les représentations motrices permettant d'exécuter un mouvement donné sont également activées lorsqu'un individu simule mentalement ce mouvement [6–8], observe son exécution par une autre personne [9], ou même lorsqu'il le verbalise [10]. L'équivalence fonctionnelle entre ces différents processus, sous-tendue par des structures corticales communes du cortex prémoteur dorsal, du cortex préfrontal, de l'aire motrice supplémentaire (AMS) et du lobule pariétal, explique en partie pourquoi l'observation et la visualisation, par exemple, permettent une modification de la performance motrice [11–14]. Bien que les intensités d'activation des différentes zones corticales diffèrent pour la simulation et l'exécution réelle du mouvement [15,16], cette activation correspond à la mise en place d'un modèle interne permettant d'anticiper le déroulement du mouvement, ainsi que ses conséquences sensorielles attendues [17].

D'autres recherches sont venues corroborer ces propos, dégageant de nouvelles perspectives à la représentation interne de l'action. Chez le macaque, la coexistence des réponses motrices et visuelles dans le cortex prémoteur ventral a pu être mise en évidence au niveau de l'aire F5 du cortex prémoteur ventral [18], surtout connue pour ses propriétés de stockage de schémas moteurs [19] et du vocabulaire d'actes moteurs [20]. Les propriétés visuelles de cette zone sont essentielles, via l'existence de neurones canoniques et miroirs ayant des rôles différents sur le plan

visuel, mais des propriétés motrices équivalentes [18]. Chez l'homme, l'existence de neurones miroirs a été démontrée à l'aide de stimulations magnétiques transcrâniennes (TMS) [21]. L'observation d'une action, l'observation d'un objet préhensible, l'intention et la décision d'action, sont ainsi dépendantes d'une représentation interne commune de l'action [18]. Par conséquent, les capacités de représentation et de raisonnement spatial d'un individu influencent et sont influencées par l'activité motrice qui l'anime, ce qui explique en partie la popularité des techniques d'imagerie utilisées dans le monde sportif, ainsi que leur effet attesté sur la performance [22].

Traditionnellement, l'analyse différentielle de la qualité des représentations motrices s'est faite à l'aide de questionnaires demandant au participant de quantifier et de reporter sa propre perception de la qualité du processus d'imagerie [23]. À l'opposé, la mesure des différences interindividuelles en termes de capacités spatiales s'est majoritairement effectuée à partir de tests de performances, notamment des tests de rotation mentale. Une absence récurrente de lien entre imagerie mentale, mesurée à l'aide de questionnaires, et capacités spatiales, mesurées par des tests de performance a pu être démontrée [24–26]. En outre, les individus fortement imageants apprennent de nouveaux mouvements de manière plus précise [27] et plus rapide [28] que les individus démontrant une faible capacité d'imagerie, soulignant l'importance des modalités d'imagerie dans le domaine sportif.

Cependant, pour l'entraîneur, l'éducateur, l'enseignant ou le chercheur, l'outil le plus proche de la réalité de la pratique sportive et surtout le plus facile d'utilisation reste le questionnaire, tel que le Movement Imagery Questionnaire (MIQ [29]), le plus connu dans ce domaine ou ses différentes déclinaisons (MIQ-R [30]; MIQ-R version française [31]). Sans remettre en cause la validité et la qualité de ce questionnaire, confirmées à de nombreuses reprises [32,33], il apparaît néanmoins que les outils dont dispose la psychologie moderne doivent permettre de proposer des moyens complémentaires de mesure de la capacité d'imagerie des sportifs de tous niveaux. Ainsi, l'autoévaluation de la qualité du processus d'imagerie peut comporter d'importantes limites liées au caractère subjectif inhérent à ce type d'approche, notamment via le biais introduit par l'estime personnelle des participants. De plus, les mouvements

décrits au sein du MIQ-R sont très éloignés de la complexité motrice propre aux activités sportives, ce qui en fait un instrument certes intéressant pour tester une population très large et sans aucune expérience préalable requise sur le plan moteur, mais peu adapté aux réels problèmes rencontrés par le pratiquant sportif.

À partir de ce constat, nous avons construit un test de mesure de l'imagerie du mouvement à partir d'items verbaux (le test spécifique d'imagerie du mouvement [MIST]), nécessitant la création ou le rappel, le maintien, et la manipulation de représentations motrices. L'hypothèse de notre recherche était que l'expertise en sports de combat, notamment par la manipulation des représentations motrices qu'elle implique lors d'entraînements réguliers, est liée à des capacités supérieures d'imagerie motrice spécifique [27,28], et par conséquent à une meilleure performance au MIST. En raison de leurs modalités de passation similaires, nous attendions une corrélation des performances au MIST et au Mental Rotation Test (MRT), mais pas entre le MIST et le MIQ-R.

2. Méthode

2.1. Participants

Soixante escrimeurs, judokas et lutteurs, novices ($n=30$) ou de niveau international¹ ($n=30$) ont pris part à l'étude ($M=22,8$, 18–29 ans). Novices et experts étaient d'âges moyens comparables ($M=23,3$ ans et $M=22,3$ ans, respectivement), ce facteur pouvant affecter les capacités spatiales de manière importante [34,35]. L'escrime, le judo et la lutte sont des activités présentant un panel d'actions très important, valorisé par de nombreuses répétitions techniques, et basé principalement sur des rotations et des translations du corps dans l'espace tridimensionnel.

2.2. Matériel et procédure

Afin de vérifier la validité concurrente du MIST, nous avons parallèlement utilisé le MIQ-R [31] et le MRT [36].

Tous les participants ont reçu des instructions détaillées quant à chacun des tests. Les passations se sont déroulées dans une salle calme et isolée. Le MRT a été passé en premier, de manière à éviter toute stratégie motrice endogène par contamination provenant de l'un des autres tests [37,38].

2.2.1. Mental Rotation Test (MRT)

Notre choix a porté sur la version papier du MRT, comprenant deux séries de dix problèmes à partir des figures de Shepard et Metzler [39]. Le temps de passation a été limité à trois minutes pour chaque série, séparées par une pause de cinq minutes. Nous avons attribué deux points pour deux bonnes réponses, un point si une seule réponse était cochée et qu'elle était correcte, et zéro point pour une ou deux erreurs [40].

2.2.2. Movement Imagery Questionnaire version française (MIQ-R)

À l'origine, le MIQ comprenait 18 mouvements, à exécuter puis à visualiser. Le MIQ-R est une version raccourcie, supprimant les mouvements jugés trop difficiles ou redondants, et permettant ainsi des études à plus grande échelle via une réduction du temps de passation. Nous avons utilisé la version française du MIQ-R, dont la validité et la fiabilité ont été démontrées [31]. Conformément aux instructions des auteurs, aucune contrainte temporelle n'est venue interrompre la passation du test. Après l'exécution de chacun des mouvements, les participants devaient reporter pour chaque item leur qualité d'imagerie, sur une échelle en sept points variant de « très difficile à imaginer/sentir » à « très facile à imaginer/sentir ». Les scores visuels et kinesthésiques ont été cumulés, le score total pouvant par conséquent s'échelonner de 8 à 56 points.

2.2.3. Test spécifique d'imagerie du mouvement (MIST)

Nous avons construit un test ad hoc (papier-crayon) pour cette étude, le MIST², composé de 20 items décrivant des situations spécifiques à chaque discipline sportive. Chaque participant a passé une version du test correspondant à sa propre activité, présentant uniquement des items en rapport avec celle-ci. Les situations décrites ne concernent pas des constantes techniques existantes dans les différentes disciplines, pour lesquelles une réponse aurait pu être donnée par simple restitution de consignes transmises, mais néanmoins suffisamment complexes et originales pour nécessiter la construction, le maintien et la manipulation d'une représentation motrice de l'action décrite. Les instructions données ont été standardisées.

Les participants disposaient de trois minutes pour résoudre l'ensemble des 20 problèmes. Ce temps de passation limité favorise la manipulation rapide et efficace des représentations activées, de manière cohérente avec les contraintes spatio-temporelles inhérente à la pratique sportive. De plus, la littérature abondante concernant le MRT montre qu'une part importante des différences interindividuelles vient du fait que les sujets en difficulté « perdent » trace de la figure maintenue en mémoire de travail et, par conséquent, recommencent la procédure plusieurs fois [41]. Cette constatation justifie de limiter la passation du MIST, afin de ne pas occulter une partie des différences interindividuelles existantes.

Nous avons coté les réponses des participants comme suit, pour chaque item : un point pour une bonne réponse, zéro point pour une mauvaise réponse ou en l'absence de réponse, pour un score maximum de 20 points. Cette procédure a été appliquée pour les trois versions du test (Annexe A). Le MIST^{Escrime} comporte une information supplémentaire concernant la main armée du participant, puisque les réponses à certains problèmes diffèrent en fonction de ce facteur. De ce fait, deux corrections différentes existent pour cette version, en fonction de la latéralité de l'escrimeur.

¹ Ayant participé aux championnats du monde ou au Jeux Olympiques.

² Les différentes versions du MIST sont disponibles sur simple demande exprimée à l'auteur principal : dmoreau@princeton.edu.

Tableau 1 Statistiques descriptives en fonction de la discipline, du genre et du niveau d'expertise.

Discipline	Genre	Novices				Experts			
		M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max
Escrime	Hommes	9,20	1,64	7	11	19,20	1,09	18	20
	Femmes	7,20	1,64	6	10	15,00	3,39	11	19
Judo	Hommes	6,40	1,34	5	8	18,00	1,58	16	20
	Femmes	6,40	1,67	5	9	13,80	2,77	11	18
Lutte	Hommes	6,60	1,95	4	9	17,40	2,07	14	19
	Femmes	6,40	1,67	5	9	14,00	2,34	12	18

3. Résultats

3.1. Statistiques descriptives du test spécifique d'imagerie du mouvement (MIST)

Normalité des distributions et homogénéité des variances ont été vérifiées (Kolmogorov-Smirnov et Levene n.s pour chaque groupe). La forme de la distribution des scores est satisfaisante pour les trois versions du MIST (coefficient d'aplatissement et d'asymétrie inférieur à 1), dénotant une sensibilité correcte de chacun des tests (Tableau 1).

3.2. Analyses de variance

Une Anova factorielle Discipline (Escrime, Judo, Lutte) \times Expertise (Elite \times Novice) \times Genre montre que les effets principaux d'expertise et de genre (en faveur des hommes) sont significatifs lorsque l'on cumule les résultats des trois versions ($F(1,48)=309,030$, $p<0,001$, $\eta^2=0,87$; et $F(1,48)=19,878$, $p<0,001$, $\eta^2=0,29$, respectivement), tout comme l'interaction entre expertise et genre ($F(1,48)=9,347$, $p<0,01$, $\eta^2=0,16$; Fig. 1), du fait d'effets simples significatifs de l'expertise mais pas du genre ($F(1,58)=206,0$, $p<0,001$, $\eta^2=0,78$; et $F(1,58)=3,060$, $p=0,08$, $\eta^2=0,05$, respectivement). En d'autres termes, l'effet du genre est significatif pour les experts mais pas pour les novices. Les résultats d'une Anova factorielle

Expertise \times Genre pour chaque version du MIST sont présentés ci-dessous (Fig. 2).

L'analyse des données du MIST_{Escrime} montre un effet significatif de l'expertise ($F(1,16)=87,525$, $p<0,001$, $\eta^2=0,84$), ainsi que du genre ($F(1,16)=10,619$, $p<0,01$, $\eta^2=0,40$), en faveur des hommes, pour la version escrime. L'interaction des deux variables n'est pas significative. L'analyse des données du MIST_{Judo} montre un effet significatif de l'expertise ($F(1,16)=121,96$, $p<0,001$, $\eta^2=0,88$) et du genre ($F(1,16)=5,959$, $p<0,05$, $\eta^2=0,27$), également à l'avantage des hommes, pour la version judo. L'interaction entre expertise et genre est significative ($F(1,16)=5,959$, $p<0,05$, $\eta^2=0,27$), du fait d'effets simples significatifs de l'expertise mais pas du genre ($F(1,18)=78,630$, $p<0,001$, $\eta^2=0,81$; et $F(1,18)=0,745$, $p=0,40$, $\eta^2=0,04$, respectivement). Enfin, des données du MIST_{Lutte} montre un effet significatif de l'expertise ($F(1,16)=103,220$, $p<0,001$, $\eta^2=0,87$), mais pas du genre ou de l'interaction entre expertise et genre.

3.3. Analyses de régression

Les analyses de régression présentées ci-dessous (Tableau 2) permettent d'affiner l'interprétation des résultats détaillés précédemment. Le caractère prédictif des résultats au MRT pour la performance au MIST est avéré, lorsque l'on considère le groupe au complet ou en analysant séparément experts et novices. Le caractère prédictif du MIQ-R pour la performance au MIST est plus mitigé : bien que significative

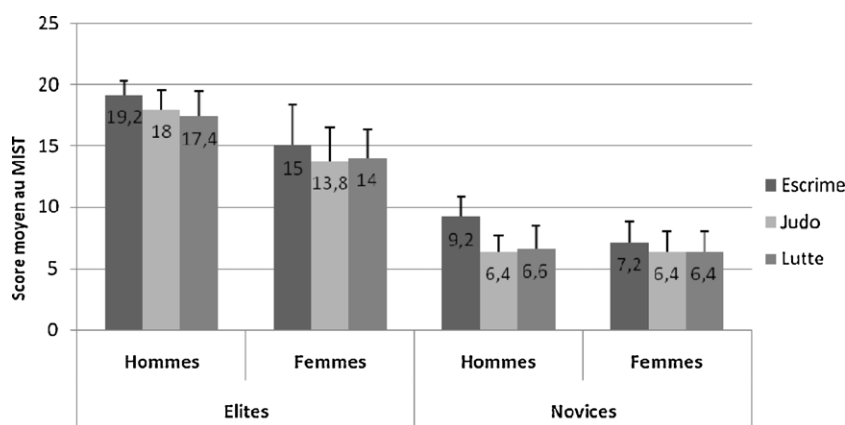


Figure 1 Scores moyens aux trois versions du test spécifique d'imagerie du mouvement (MIST) en fonction du genre et du niveau de pratique (avec barres d'écart-types).

Tableau 2 Analyse de régression pour les variables prédictives de la performance au test spécifique d'imagerie du mouvement (MIST).

Variante	β	SE β	R^2	F	p
<i>Groupe complet</i>					
MRT	0,835	0,072	0,700	133,10	< 0,001
MIQ-R	0,475	0,115	0,226	16,91	< 0,001
<i>Experts</i>					
MRT	0,791	0,116	0,625	46,75	< 0,001
MIQ-R	0,050	0,189	0,002	0,07	0,79
<i>Novices</i>					
MRT	0,478	0,166	0,223	8,28	< 0,05
MIQ-R	-0,359	0,177	0,120	3,81	0,061

MRT : Mental Rotation Test ; MIQ-R : Movement Imagery Questionnaire version française.

pour le groupe complet, la corrélation ne l'est plus lorsque l'on distingue experts et novices. Ce résultat sera discuté et expliqué dans la partie suivante.

3.4. Validité et fiabilité du test spécifique d'imagerie du mouvement (MIST)

La validité de contenu des trois versions du MIST s'appuie sur les résultats présentés ci-dessus, notamment l'effet largement significatif de l'expertise sur la performance au test quel que soit l'échantillon considéré. En termes de contenu, les situations décrites, non exhaustives afin de ne pas privilégier délibérément les experts au détriment des novices, décrivent tout un panel d'actions fréquemment rencontrées. La validité de construction s'appuie sur la similarité de présentation des items avec le MIQ-R et sur le fait qu'aucun item à lui-seul ne change significativement le sens des relations observées et décrites précédemment. La validité concurrente est confirmée par les coefficients de l'analyse de régression MRT/MIST présentée précédemment (Tableau 3), pour l'échantillon total et après répartition par groupes d'expertise.

L'utilisation de courbes Relative Operating Characteristic (ROC) (Fig. 2) permet de confirmer la pertinence du

MIST (aire sous la courbe [AUC] = 0,99, SE = 0,001, $p < 0,001$) afin de différencier les sportifs en fonction de leur niveau d'expertise, par rapport au MRT (AUC = 0,88, SE = 0,041, $p < 0,001$) et au MIQ-R (AUC = 0,83, SE = 0,054, $p < 0,001$). Cela est complété par les valeurs Kappa montrant la cohérence du MIST avec le MRT ($\kappa > 0,68$), mais pas avec le MIQ-R ($\kappa < 0,05$).

De plus, la fiabilité du MIST a été vérifiée par un retest sur une partie de l'échantillon initial ($n = 16$). Le coefficient de corrélation entre ces deux mesures, très élevé ($r = 0,98$), montre une légère progression des sujets due à l'effet de pratique test-retest ($M = 14,5$; $SD = 5,12$, contre $M = 13,9$; $SD = 5,17$ pour le test initial).

4. Discussion

Les premiers résultats de la passation du MIST dégagent plusieurs points positifs. Normalisation, standardisation, validité et fiabilité du test sont satisfaisantes. Corroborant ces considérations concernant le MIST et sa structure, l'hypothèse principale est vérifiée : il existe une relation significative, pour chacun des tests construits, entre expertise et performance en termes d'imagerie spécifique du mouvement, les résultats au MIST des sportifs experts étant

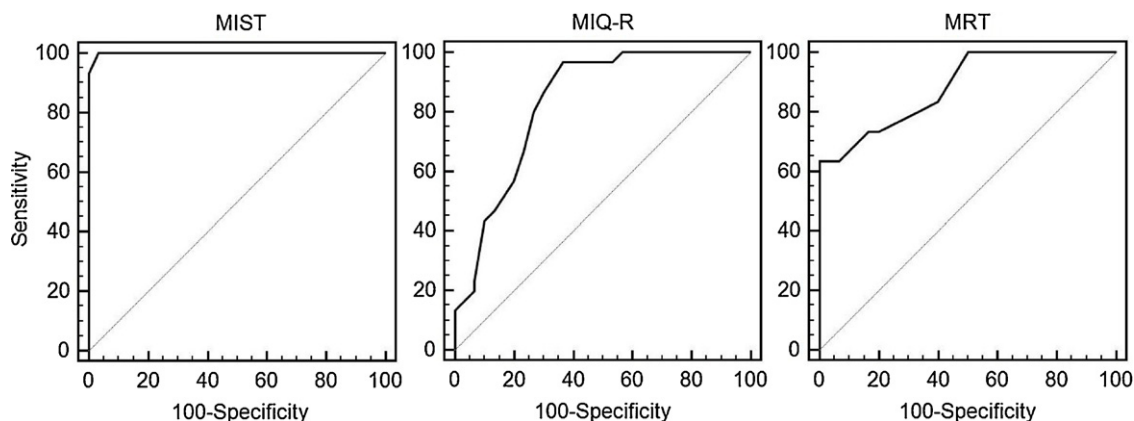


Figure 2 Courbes ROC pour les résultats complets du test spécifique d'imagerie du mouvement (MIST), du Movement Imagery Questionnaire version française (MIQ-R) et du Mental Rotation Test (MRT).

Tableau 3 Caractéristiques respectives du test spécifique d'imagerie du mouvement (MIST), du Mental Rotation Test (MRT) et du Movement Imagery Questionnaire version française (MIQ-R) utilisés comme mesure de la qualité des représentations mentales chez le sportif.

Variables	MIST	MRT	MIQ-R
Type de test	Performance	Performance	Questionnaire
Procédure	Objective	Objective	Subjective
Items	Verbaux	Spatiaux	Verbaux
Modalité de réponses	Correcte/Incorrecte	Correcte/Incorrecte	Échelle
Contrainte temporelle	Oui	Oui	Non
Avantages	Écologique/Précis	Général	Général
Inconvénients	Non généralisable	Abstrait	Inadapté

supérieurs à ceux des novices. Ce résultat est cohérent puisque le MIST implique la construction de représentations motrices pour chaque action décrite, ainsi que le maintien de celles-ci durant la manipulation mentale. Les sportifs experts semblent avoir développé un répertoire de représentations plus larges, par ailleurs, ainsi qu'une efficacité supérieure à les manipuler et combiner. La pratique de sports de combat favorise l'apparition de situations spatiales complexes, couplée à la nécessité d'anticiper les configurations spatiales à venir du fait des contraintes temporelles importantes qui, si elles ne sont pas respectées, conduisent souvent à l'échec de l'action initiée. Ces processus sont proches de ceux en jeu lors d'une tâche d'imagerie du mouvement : maintien des propriétés visuo-spatiales du stimulus présenté afin d'en optimiser la manipulation et prise de décision appropriée, tout en respectant les contraintes spatio-temporelles de la tâche. Ainsi, l'expertise motrice est apparente lors de la simulation ou l'exécution d'un mouvement, toutes deux étant fonctionnellement équivalentes et dépendantes d'un niveau représentationnel commun [7,10].

Cette étude montre également une relation significative entre genre et résultat au MIST : de manière générale, les hommes réussissent mieux que les femmes, ce qui vient conforter les résultats des recherches concernant le domaine des différences interindividuelles en termes de capacités spatiales, notamment pour les tests de rotation mentale, connus pour engendrer les plus grandes différences entre les genres [42]. Cela est cohérent puisque de nombreux processus cognitifs sont communs à la fois aux tests de rotation mentale et au MIST [43], en raison de modalités de présentation similaires. Il convient néanmoins de souligner que la littérature existante concernant les capacités spatiales montre que celles-ci sont malléables [44,45], et qu'une pratique adéquate permet jusqu'à l'annulation des différences de genre [46–48]. Par conséquent, on pourrait s'attendre à observer de tels résultats au MIST, puisque corrélés au MRT. Or, l'effet du genre est significatif chez les experts mais pas les novices. Cela s'explique par des différences entre les genres dans les pratiques d'entraînement (intensité, fréquence, précocité), à l'avantage des sportifs de haut niveau masculins dans les activités décrites précédemment. En d'autres termes, à haut niveau, hommes et femmes n'ont pas pratiqué leur activité sportive à durées équivalentes, à l'avantage des premiers. Ce facteur est à prendre en compte afin de ne pas interpréter de manière

hâtive et erronée l'effet du genre sur la performance au MIST. Ajoutons à cela la corrélation positive observée entre MIST et MRT pour les groupes experts et novices, associée à l'absence de corrélation MIQ-R/MIST ou MIQ-R/MRT pour ces mêmes groupes, qui toutes deux confirment et précisent la littérature dans les domaines de l'imagerie mentale et de la cognition visuo-spatiale. De fait, les résultats présentés ici suggèrent que lorsque la variable subjective liée aux modalités de réponses est contrôlée, comme c'est le cas pour le MIST et le MRT, les performances sont corrélées, malgré des modalités de présentation d'items différentes (verbaux pour le MIST, et spatiaux pour le MRT, Tableau 3). À l'inverse, lorsque les modalités de réponses diffèrent, les résultats obtenus montrent une absence de corrélations.

Un point particulier mérite d'être souligné concernant le MIST et son contenu. Bien que les problèmes présentés soient parfois cognitivement exigeants, les situations décrites sont rédigées dans un langage simple et clair. En aucun cas, des connaissances métacognitives concernant l'activité pratiquée ne peuvent permettre de répondre directement aux questions posées. La pertinence des questions posées a été vérifiée au préalable, en travaillant avec des entraîneurs reconnus et compétents dans les trois disciplines sportives concernées, mais également via un pré-test réalisé sur un groupe n'ayant pas pris part à l'étude, afin de vérifier la bonne compréhension du vocabulaire technique par des novices dans chaque activité. Ces précautions avaient pour but d'éviter que des différences experts-novices n'émergent en raison de compréhensions verbales inégales. Nous nous sommes également assurés que tous les participants comprenaient parfaitement le vocabulaire technique utilisé. L'utilisation d'items verbaux, et non visuels, est destinée à limiter l'émergence d'ambiguïtés dues aux différentes interprétations possibles d'une même image, en utilisant au contraire une nomenclature internationale et universellement reconnue par les sportifs et leurs entraîneurs durant les phases d'apprentissage et d'acquisition.

Confirmant le caractère commun entre les représentations motrices activées lors d'un comportement moteur et lors de l'imagerie de celui-ci, le MIST se présente comme un outil, à destination des chercheurs, entraîneurs, enseignants, éducateurs, et sportifs, permettant l'évaluation de la capacité de manipulation des images motrices générées sous contrainte temporelle. Ainsi, le diagnostic réalisé à partir du MIST pourrait servir de base à

l'élaboration de programmes d'entraînement (affinage) et d'amélioration (remodelage) des représentations motrices spécifiques à l'activité de combat pratiquée. Lorsque le travail d'imagerie sans support est difficile ou pour étayer et différencier celui-ci, le MIST peut également s'avérer un complément intéressant, carrefour entre les tests de performances généraux, comme les tests de rotation mentale, très éloignés de la pratique sportive, et les questionnaires classiques d'imagerie du mouvement, moins adaptés à l'étude d'actions motrices complexes telles que celles requises par la pratique sportive de performance. Enfin, l'identification de problèmes techniques particuliers pourrait être facilitée par le MIST, qui du reste pourrait aider à corriger les séquences motrices concernées.

5. Conclusion

Le MIST se positionne comme un complément intéressant aux tests classiques utilisés pour mesurer la qualité des représentations chez le sportif. Les résultats présentés ici sont encourageants et prometteurs ; néanmoins, ils devront être répliqués et confirmés pour que les différentes versions du MIST puissent être pleinement utilisées et diffusées. De manière plus générale, sans se cantonner aux trois disciplines sportives étudiées ici, notre travail vise à montrer l'intérêt de développer un panel d'outils complémentaires, avec des dispositifs de mesure variés et différenciés, afin de cerner au mieux la richesse et l'importance des représentations motrices au sein des activités sportives.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Annexe A. Exemples d'items verbaux tirés de chacune des trois versions du test spécifique d'imagerie du mouvement (MIST).

MIST Escrime

Je suis à l'engagement de sixte avec mon adversaire, qui a la main droite armée. Si j'exécute un coup droit en fente, suis-je dans la quarte ou la sixte adverse ?

- Quarte
 Sixte

MIST Judo

Sur quelle jambe adverse suis-je en train d'effectuer *uchimata* si je saisis son col avec ma main droite et sa manche avec ma main gauche ?

- Droite
 Gauche

MIST Lutte

Je réalise un *enfoucement* sur la jambe gauche de mon adversaire. Quel est le bras adverse que je saisis ?

- Droit
 Gauche

MIST : test spécifique d'imagerie du mouvement.

Annexe B. Matériel complémentaire

Le matériel complémentaire accompagnant la version en ligne de cet article est disponible sur <http://dx.doi.org/10.1016/j.scispo.2012.01.002>.

Références

- [1] Wolpert DM, Ghahramani Z, Jordan MI. An internal model for sensorimotor integration. *Science* 1995;269:1880–2.
- [2] Halsband U. Motorisches Lernen. In: Gauggel S, Herrmann M, editors. *Handbuch der Neuro- und Biopsychologie*. Göttingen: Hogrefe; 2006.
- [3] Atkeson CG. Learning arm kinematics and dynamics. *Ann Rev Neurosci* 1989;3:171–6.
- [4] Deiber MP, Wise SP, Honda M, Catalan MJ, Grafman J, Hallett M. Frontal and parietal networks for conditional motor learning: a positron emission tomography study. *J Neurophysiol* 1997;78:977–91.
- [5] Jueptner M, Ottinger S, Fellows SJ, Adamschewski J, Flerich L, Muller SP, et al. The relevance of sensory input for the cerebellar control of movements. *Neuroimage* 1997;5:41–8.
- [6] Grafton ST, Fadiga L, Arbib MA, Rizzolatti G. Premotor cortex activation during observation and naming of familiar tools. *Neuroimage* 1997;6:231–6.
- [7] Jeannerod M. Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia* 1995;33:1419–33.
- [8] Jeannerod M. The 25th Bartlett Lecture. To act or not to act: Perspectives on the representation of actions. *Q J Exp Psychol* 1999;52A:1–29.
- [9] Blandin Y. L'apprentissage par observation d'habiletés motrices : un processus d'apprentissage spécifique ? *Ann Psychol* 2002;102:523–54.
- [10] Grèzes J, Decety J. Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Hum Brain Mapp* 2001;12:1–19.
- [11] Feltz DL, Landers DM. The effects of mental practice on motor skill learning and performance: a meta-analysis. *J Sports Psychol* 1983;5:25–57.
- [12] Guillot A, Nadrowska E, Collet C. The effect of motor imagery on basketball performance. *J Sport Behav* 2009;32:189–206.
- [13] Féry Y, Vom Hofe A. Imagery processes in evaluating duration of a ball flight. *Percept Mot Skills* 1998;87(3):1129–30.
- [14] Grèzes J, Fonlupt P, Decety J. Equivalence fonctionnelle : mythe cognitif ou réalité neurologique ? *Cerv Percept Action Psychol Fr* 2000;45(4):319–32.
- [15] Roth M, Decety J, Raybaudi M, Massarelli R, Delon-Martin C, Segebarth C, et al. Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroreport* 1996;7:1280–4.
- [16] Bonnet M, Decety J, Jeannerod M, Requin J. Mental simulation of an action modulates the excitability of spinal reflex pathways in man. *Cogn Brain Res* 1997;5:221–8.
- [17] Sirigu A, Duhamel JR. Le rôle du cortex pariétal dans la représentation des mouvements manuels. *Cerv Percept Action Psychol Fr* 2000;45(4):343–52.
- [18] Fadiga L, Craighero L, Fogassi V. Représentation interne de l'action : nouvelles perspectives. *Cerv Percept Action Psychol Fr* 2000;45(4):307–18.
- [19] Arbib MA. Perceptual structures and distributed motor control. *Handbook of physiology*. V.B. Brooks Editions; 1981.
- [20] Rizzolatti G, Gentilucci M. Motor and visual-motor functions of the premotor cortex. In: Rákic P, Singer W, editors. *Neurobiology of neocortex*. Chichester: Wiley; 1988. p. 269–84.

- [21] Fadiga L, Fogassi L, Pavesi G, Rizzolatti G. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *J Neurophysiol* 1995;73:2608–11.
- [22] Driskell JE, Copper C, Moran A. Does mental practice enhance performance? *J Appl Psychol* 1994;79(4): 481–92.
- [23] Halpern DF, Collaer ML. Sex differences in visuo-spatial abilities: more than meets the eye. In: Shah P, Miyake A, editors. *The Cambridge Handbook of visuo-spatial thinking*. New York: Cambridge University Press; 2005. p. 170–212.
- [24] Richardson A. *Individual differences in imaging*. New York: Baywood; 1994.
- [25] Kosslyn SM, Brunn J, Cave KR, Wallach RW. Individual differences in mental imagery ability: a computational analysis. *Cognition* 1984;18:195–243.
- [26] Poltrock SE, Agnoli F. Are spatial visualization ability and visual imagery ability equivalent? In: Sternberg RJ, editor. *Advances in the psychology of human intelligence*, vol. 3. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum; 1986. p. 255–96.
- [27] Hall C, Buckolz E, Fishburne G. Searching for a relationship between imagery ability and memory of movements. *J Hum Mov Stud* 1989;17:89–100.
- [28] Goss S, Hall C, Buckolz E, Fishburne G. Imagery ability and the acquisition and retention of movements. *Mem Cogn* 1986;14(6):469–77.
- [29] Hall C, Pongrac J. *Movement Imagery Questionnaire*. London, Ontario: University of Western Ontario; 1983.
- [30] Hall C, Martin K. Measuring movement imagery abilities: a revision of the Movement Imagery Questionnaire. *J Ment Imagery* 1997;21(1&2):143–54.
- [31] Lorant J, Nicolas A. Validation de la traduction française du Movement Imagery Questionnaire-Revised (MIQ-R). *Sci Motr* 2004;53:57–68.
- [32] Hall C, Pongrac J, Buckolz E. The measurement of imagery ability. *Hum Mov Sci* 1985;4:107–18.
- [33] Atienza F, Balaguer I, Garcia-Merita ML. Factor analysis and reliability of the movement imagery questionnaire. *Percept Mot Skills* 1994;78:1323–8.
- [34] Schroeder DH, Salthouse TA. Age-related effects on cognition between 20 and 50 years of age. *Pers Individ Diff* 2004;36:393–404.
- [35] Kirasic KC, Allen GL. Aging, spatial performance and spatial competence. In: Charness N, editor. *Aging and Human Performance*. John Wiley & Sons, Ltd; 1985. p. 191–223.
- [36] Vandenberg SG, Kuse AR. Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Percept Mot Skills* 1978;47:599–604.
- [37] Wraga M, Thompson WL, Alpert NM, Kosslyn SM. Implicit transfer of motor strategies in mental rotation. *Brain Cogn* 2003;52:135–43.
- [38] Kosslyn SM, Thompson WL, Wraga M, Alpert NM. Imagining rotation by endogenous versus exogenous forces: distinct neural mechanisms. *Neuroreport* 2001;12:2519–25.
- [39] Shepard RN, Metzler J. Mental rotation of three-dimensional objects. *Science* 1971;171:701–3.
- [40] Albaret JM, Aubert E. Étalonnage 15–19 ans du test de rotation mentale de Vandenberg. *Evol Psychomotr* 1996;34(8): 276–9.
- [41] Hegarty M, Waller DA. Individual differences in spatial abilities. In: Shah P, Miyake A, editors. *The Cambridge Handbook of visuo-spatial thinking*. New York: Cambridge University Press; 2005. p. 121–69.
- [42] Voyer D, Voyer S, Bryden MP. Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychol Bull* 1995;117:250–70.
- [43] Kaufman SB. Sex differences in mental rotation and spatial visualization ability: can they be accounted for by differences in working memory capacity? *Intelligence* 2006;35:211–23.
- [44] Lohman D, Nichols P. Training spatial abilities: effects of practice on rotation and synthesis tasks. *Learn Individ Diff* 1990;2(1):67–93.
- [45] Leone G, Taine M, Droulez J. The influence of long-term practice on mental rotation of 3D objects. *Cogn Brain Res* 1993;1(4):241–55.
- [46] Vasta R, Knott JA, Gaze CE. Can spatial training erase the gender differences on the water-level task? *Psychol Women Q* 1996;20:549–68.
- [47] Ackerman P, Kanfer R, Goff M. Cognitive and non-cognitive determinants and consequences of complex skill acquisition. *J Exp PsycholAppl* 1995;1(4):270–304.
- [48] Devon R, Engel R, Turner G. The effects of spatial visualization skill training on gender and retention in engineering. *J Women Minor Sci Eng* 1998;4:371–80.