

Est-ce que les athlètes transitionnés jouissent d'un avantage ou d'un désavantage par rapport aux individus physiquement masculins et féminins depuis la naissance : Une revue de la littérature scientifique

Michaela C. Devries PhD
18 mai 2008

Pratiques prometteuses: collaborer avec les athlètes transitionnés
et en transition de genre dans le sport

Remerciements

Le projet, intitulé *Pratiques prometteuses: collaborer avec les athlètes transitionnés et en transition de genre dans le sport*, fut mené conjointement par le Centre canadien pour l'éthique dans le sport (CCES) et l'Association canadienne pour l'avancement des femmes, du sport et de l'activité physique (ACAFS). Le projet examine les questions d'inclusion et d'intégration des athlètes transitionnés ou en transition de genre dans le sport canadien.

Membres du groupe de travail

AthlètesCAN

Jasmine Northcott, directrice exécutive

Moira Lassen, directrice exécutive intérimaire

Association canadienne pour l'avancement des femmes, du sport et de l'activité physique (ACAFS)

Janice Forsyth, présidente

Karin Lofstrom, directrice exécutive

Centre canadien pour l'éthique dans le sport (CCES)

Doug MacQuarrie, directeur, services d'éthique et antidopage

*Nous reconnaissons l'appui
financier du gouvernement du
Canada par l'entremise du ministère
du Patrimoine canadien (Sport Canada)*

*We acknowledge the financial
support of the Government of
Canada through the Department
of Canadian Heritage (Sport Canada)*

Canada 

Table des matières¹

Préface.....	2
1. Résumé.....	3
2. Introduction.....	4
3. Différences entre les sexes au niveau de la performance, de l’anthropométrie et du métabolisme	4
4. Effets métaboliques de la testostérone et de l’œstrogène	8
4.1 Effets métaboliques de la testostérone	9
4.2 Effets métaboliques de l’œstrogène	10
5. Niveaux d’hormones chez les hommes et les femmes transitionnés comparativement aux individus nés de sexe masculin ou féminin.....	12
5.1 Limites acceptables de testostérone et d’œstrogène dans le sport et comment cela s’applique aux athlètes transitionnés	13
6. Effets des hormones du sexe opposé sur les paramètres pouvant influencer la performance	14
6.1 Administration de testostérone chez les hommes transitionnés.....	14
6.2 Administration d’œstrogène chez les femmes transitionnées.....	15
6.3 À la lumière des preuves présentées ci-haut, est-ce que les hommes ou les femmes transitionnés jouissent d’un avantage lorsqu’ils compétitionnent contre des hommes et des femmes?.....	16
6.4 Comment les conclusions actuelles peuvent-elles être comparées au consensus de stockholm?	17
7. Perspectives.....	18
7.1 Existe-t-il un avantage ou un désavantage au niveau de la performance?.....	18
8. Conclusions.....	18
9. Bibliographie.....	20

¹ Note de la traductrice : En vue de simplifier le texte, les termes ‘homme’ et ‘femme’ désignent les individus nés de sexe masculin et les individus nés de sexe féminin, respectivement.

Préface

Ce rapport résume l'une de deux revues de littérature exécutées à la demande de l'association AthlètesCAN, du Centre canadien pour l'éthique dans le sport (CCES) et de l'Association canadienne pour l'avancement des femmes, du sport et de l'activité physique (ACAFS) dans le cadre du projet *Pratiques prometteuses : collaborer avec les athlètes transitionnés et en transition de genre dans le sport*. Ce projet a pour objet d'identifier et de contribuer à l'examen des barrières pouvant faire obstacle à la participation sportive des athlètes transitionnés ou en transition de genre au Canada.

Ces deux revues de littérature examinent l'état de la recherche sur les athlètes transitionnés dans les domaines des sciences sociales et de la biologie. Elles ont été rédigées par des auteurs différents et elles s'intéressent à un champ de littérature particulier de façon à enrichir les connaissances actuelles dans chacun des domaines en question. Le lecteur doit prendre soin de ne pas tirer de conclusions basées uniquement sur l'une de ces deux revues de littérature.

Un document de travail a également été rédigé. Ce dernier résume les conclusions des deux revues de littérature, il examine les informations pertinentes et propose des démarches à suivre pour atteindre les objectifs du projet.

Il est possible que le projet *Pratiques prometteuses : collaborer avec les athlètes transitionnés et en transition de genre dans le sport* mène à la mise en œuvre de politiques et de pratiques justes et équitables qui assureront l'usage d'approches éthiques, sécuritaires et éducatives pour l'intégration des personnes en transition de genre ou transitionnées à tous les niveaux du sport. Ces conclusions pourraient également profiter aux organismes de sport au Canada et dans les autres pays.

1. *Résumé*

Les athlètes transitionnés posent un défi aux instances dirigeantes du sport en ce qui a trait à l'établissement de l'admissibilité de ces athlètes aux épreuves où ils devront se mesurer à des individus nés de sexe masculin ou féminin. Le Consensus de Stockholm du CIO concernant les changements de sexe dans le sport permet aux hommes et aux femmes transitionnés de compétitionner contre des membres de leur nouveau sexe, pourvu qu'ils aient subi leurs transformations anatomiques chirurgicales, qu'une reconnaissance légale du nouveau sexe ait été accordée par les autorités officielles compétentes, et qu'un traitement hormonal approprié au nouveau sexe ait été administré durant une période d'au moins deux ans. Cette prise de position vise permet de s'assurer que les effets de l'exposition préalable aux hormones sexuelles sur la performance sportive soient minimisés. Cette revue a pour objectif d'examiner les preuves scientifiques qui existent afin de déterminer si les athlètes transitionnés jouissent d'un avantage ou d'un désavantage comparativement aux individus nés de sexe masculin ou féminin. Les performances sportives des hommes surpassent celles des hommes d'environ 11 à 18%, probablement en raison des différences notoires entre les sexes, notamment les différentes caractéristiques d'utilisation des substrats et le fait que les hommes sont généralement plus grands, qu'ils possèdent des capacités aérobiques et anaérobiques maximales plus importantes, que leur masse musculaire est plus grande, et qu'ils sont plus forts. Les différences sexuelles observées découlent des différences entre les taux de testostérone et d'œstrogène. La testostérone augmente la masse musculaire, la force, la taille des os, le contenu minéral des os et le contenu en hémoglobine. L'œstrogène affecte considérablement le métabolisme des substrats pendant l'exercice, ce qui augmente la dépendance sur les réserves de lipides. La testostérone et l'œstrogène peuvent influencer les mesures de performance, alors il est important de s'assurer que les taux d'hormones sexuelles des athlètes transitionnés se situent dans les zones physiologiques considérées normales pour les personnes de leur nouveau sexe. Les concentrations d'hormones chez les femmes transitionnées se conforment aux taux observés chez les personnes nées de sexe féminin, mais les hommes transitionnés connaissent généralement des taux de testostérone supraphysiologiques et des taux d'œstrogène supérieurs comparativement aux individus de sexe masculin. Suite à l'administration d'hormones du sexe opposé, le contenu en hémoglobine, le taux de graisse sous-cutanée et la surface de section transversale du muscle des individus transitionnés sont comparables à ceux des hommes et des femmes. Jusqu'à présent, aucune étude n'a examiné les effets des hormones du sexe opposé sur les mesures objectives de la performance sportive (capacité aérobique maximale, tests chronométriques). De plus, aucun test n'a été mené auprès d'athlètes transitionnés pour les comparer aux athlètes physiquement masculins et féminins depuis la naissance. Par conséquent, il n'existe aucune preuve concrète pour appuyer ou réfuter l'hypothèse selon laquelle les athlètes transitionnés bénéficient d'avantages ou de désavantages dans les compétitions sportives comparativement à leurs homologues de sexe masculin ou féminin.

2. Introduction

Les athlètes transitionnés posent un défi aux instances dirigeantes du sport en ce qui a trait à l'établissement de l'admissibilité de ces athlètes aux épreuves où ils devront se mesurer à des individus physiquement masculins et féminins depuis la naissance. Il existe maintes différences entre les hommes et les femmes. Cependant, nous ne savons pas encore si ces différences persistent après la transition ou si elles influencent la performance. Cette revue de littérature a pour objectif d'examiner la littérature scientifique afin de déterminer s'il existe présentement suffisamment d'information pour aborder la question à savoir si les athlètes transitionnés connaissent des avantages ou des désavantages dans les compétitions sportives comparativement aux hommes et aux femmes. Dans ce document, nous utiliserons les définitions génotypiques de l'homme et de la femme. Plus précisément, un génotype XY désigne un homme, et un génotype XX désigne une femme. Tout au long de ce rapport, nous traiterons des différences entre les hommes et les femmes, des effets métaboliques des hormones sexuelles, des niveaux d'hormones chez les hommes et les femmes transitionnés comparativement aux hommes et aux femmes et enfin, nous discuterons des futures recherches dans ce domaine.

3. Différences entre les sexes au niveau de la performance, de l'anthropométrie et du métabolisme

En général, la performance des hommes excède celle des femmes dans une mesure de 11 à 18% , dépendamment du type d'activité (20). De plus, une marge de 5 à 37% sépare les records mondiaux des hommes de ceux des femmes dans une panoplie d'épreuves sportives, tel qu'indiqué dans le tableau 1. Pour tout état d'entraînement, les hommes ont une capacité aérobique maximale supérieure (VO_{2max}) relativement au poids corporel, comparativement aux femmes (26, 27). Les différences de performance observées entre les hommes et les femmes sont probablement dues aux nombreux facteurs pouvant varier entre les hommes et les femmes. Au niveau anthropométrique, les hommes sont environ 12-15 cm plus grands que les femmes, (26, 27, 93), ils possèdent une masse musculaire supérieure et moins de graisse corporelle (26, 27, 57, 93), leurs os sont plus larges (45, 56, 57) et leur densité minérale osseuse est supérieure (12, 56, 93).

Tableau 1: Records mondiaux par épreuve sportive pour les hommes et les femmes en date du 18 mai 2008 et le pourcentage de différence entre les résultats des hommes et ceux des femmes pour chaque épreuve.

Sport	Épreuve	Hommes	Femmes	% de différence*
Athlétisme				
	100 m	9,74 s	10,49 s	7,7
	400 m	43,18 s	47,60 s	10,2
	1000 m	2:11,96 min	2:28,98 min	12,9
	10 km	27:02 min	30:21 min	12,3
	42 km	2:04:26 h	2:15:25 h	8,8
	100 km	6:13:33 h	6:33:11 h	5,3
	Saut en hauteur	2,45 m	2,09 m	17,2
	Saut à la perche	6,14 m	5,01 m	22,6
	Saut en longueur	8,95 m	7,52 m	19,0
	Javelot	98,48 m	71,70 m	37,4
Patinage de vitesse (courte piste)				
	500m	41,051 s	43,216 s	5,3
	1000m	1:23,815 min	1:29,495 min	6,8
	1500m	2:10,639 min	2:16,729 min	4,7
Patinage de vitesse (longue piste)				
	500m	34,03 s	37,02 s	8,8
	1000m	1:07,00 min	1:13,11 min	9,1
	1500m	1:42,01 min	1:51,79 min	9,6
	5000m	6:03,32 min	6:45,61 min	11,6
Natation				
	50m libre	21,28 s	23,97 s	12,6
	100m libre	47,50 s	52,88 s	11,3
	200m libre	1:43,86 min	1:55,52 min	11,2
	400m libre	3:40,08 min	4:01,53 min	9,7

* % de différence des records de distance pour le saut en hauteur, le saut à la perche et le javelot, et des records de vitesse pour les autres sports.

Données fournies par la *International Association of Athletics Federations* (<http://www.iaaf.org>) et le site officiel du Mouvement olympique (<http://www.olympic.org>).

Le fait d'être plus mince peut procurer un avantage au niveau de la performance car pour un poids corporel donné, une plus grande masse musculaire augmente les tissus métaboliquement actifs et augmente la capacité du corps à générer de la force. De plus, des os

plus larges et plus denses peuvent améliorer la stabilité et réduire le risque de blessure. La distribution de la graisse chez les hommes diffère de celle des femmes. En effet, on retrouve une distribution de graisse gynoïde (région du fessier et fémorale) plus importante chez les femmes, alors que l'on observe une distribution androïde de graisse (région abdominale) plus importante chez les hommes (11, 93). Par conséquent, le centre de gravité des femmes est plus bas que celui des hommes. La distribution et l'importance des réserves lipidiques peuvent influencer la performance car plus le corps possède de réserves lipidiques, plus la masse corporelle à déplacer pendant l'épreuve sportive sera lourde. D'autre part, la distribution de la graisse peut influencer la biomécanique de la performance. Fait intéressant, à la naissance, les différences anthropométriques entre les sexes existent déjà : les garçons sont plus longs et leur masse maigre est supérieure comparativement aux filles (93).

Les hommes ont une force musculaire supérieure (57, 58) en raison d'une plus grande masse musculaire et d'une plus grande surface de section transversale des muscles (57). Cependant, même en tenant compte de la surface de section transversale des muscles, on observe une plus grande force musculaire des muscles fléchisseurs et extenseurs des genoux chez les hommes (57), alors qu'il n'existe aucune différence de la force musculaire entre les sexes pour les muscles fléchisseurs et extenseurs du coude lorsqu'elle est déterminée par rapport à la surface de section transversale des muscles (57). Cette force musculaire des jambes disproportionnellement supérieure chez les hommes pourrait être causée par un pourcentage plus élevé de fibres musculaires de type II (contractions rapides) (68, 79, 81). Les fibres musculaires de type II, comparativement aux fibres de type I (contractions lentes), sont plus volumineuses et par conséquent, les contractions sont plus fortes et génèrent une plus grande puissance (41). Les fibres musculaires de type I ont un contenu mitochondrial plus élevé, produisant une meilleure endurance musculaire (41). Une plus grande proportion de fibres musculaires de type II suggèrerait donc une meilleure performance dans les sports exigeant une grande force musculaire et des mouvements explosifs, alors que les individus possédant une plus large proportion de fibres de type I connaîtraient de meilleures performances dans les épreuves d'endurance. De plus, une masse musculaire supérieure chez les hommes produit une capacité anaérobie supérieure (63, 92). Cependant, chez les hommes et les femmes qui s'entraînent, les différences de la capacité anaérobie entre les sexes n'existent plus lorsqu'elles sont relatives à la masse du corps excluant la graisse (63). Chez les hommes et les femmes qui ne s'entraînent pas, les différences au niveau de la capacité anaérobie entre les sexes persiste malgré le contrôle de la masse maigre (92). Encore une fois, ces divergences de la capacité anaérobie entre les deux sexes pourraient être dues aux types de fibres musculaires que l'on retrouve chez les hommes et les femmes (68, 79, 81) et elles pourraient disparaître avec l'entraînement lorsque les types de fibres musculaires changent (48, 78, 82) pour répondre aux besoins métaboliques de l'athlète. Une meilleure capacité anaérobie permettrait à un athlète de continuer à performer à des niveaux supérieurs au seuil anaérobie (au-delà du VO_{2max}) pendant une période de temps plus longue, permettant ainsi à l'athlète de performer plus longtemps à une intensité supérieure.

L'angle Q (l'angle formé par les quadriceps et le genou) est plus grand chez les femmes en raison d'un bassin plus large (2, 39). L'angle Q est un déterminant de l'alignement rotulien et on l'estime en mesurant l'angle formé au genou lorsque l'on trace une ligne de l'épine iliaque antéro-supérieure au centre de la rotule, et du centre de la rotule au centre de la tubérosité tibiale antérieure (39). En raison d'un angle Q plus large, le positionnement valgus de l'appareil

extenseur du genou sera plus grand (35), ce qui augmente les risques de blessure au genou (35) et peut influencer la performance sportive, particulièrement l'efficacité de la course (3). En effet, les coureuses d'élite ont généralement des bassins plus étroits que les groupes témoin du même âge (95). Cependant, on a récemment remis en question l'importance anatomique de la différence de l'angle Q (différence de $\sim 2.3^{\circ}$) entre les hommes et les femmes (39).

La capacité pulmonaire des hommes est également supérieure à celle des femmes. Les hommes ont un volume pulmonaire plus élevé (64, 65) et des voies respiratoires plus larges (76) que les femmes de même taille. Tel que le résume Harms (42), le débit respiratoire des femmes pourrait être plus restreint parce que leurs voies respiratoires sont plus petites, ce qui peut provoquer une fatigue prématurée des muscles respiratoires (i.e. le diaphragme) pendant l'exercice intense chez les femmes. De plus, la capacité de diffusion des poumons au repos est inférieure chez les femmes parce que leurs voies respiratoires sont plus étroites et parce que les poumons contiennent un nombre inférieur d'alvéoles (46). Ensemble, ces conclusions suggèrent que l'échange gazeux et la ventilation peuvent être limités chez les femmes pendant l'exercice. Cependant, une demande en oxygène inférieure en raison d'un poids corporel moins élevé pourrait annuler l'effet de ces différences sur la performance pendant l'exercice (46). Toutefois, si l'échange gazeux était limité chez les femmes pendant l'exercice, le transport d'oxygène aux muscles actifs serait également limité et réduirait le métabolisme aérobie maximal.

Le transport d'oxygène aux muscles peut également être limité chez les femmes en raison d'un taux inférieur d'hémoglobine (37). L'hémoglobine est une métalloprotéine que l'on retrouve dans les globules rouges qui permet de transporter l'oxygène des poumons aux tissus (41). Pendant l'exercice, l'hémoglobine apporte l'oxygène aux muscles sollicités; un contenu en hémoglobine inférieur chez les femmes limite donc le transport d'oxygène aux muscles actifs et réduit la capacité aérobie maximale. Qui plus est, il existe une corrélation positive entre les concentrations de testostérone dans le sang et le taux d'hémoglobine (37). De plus, la masse et le volume cardiaques sont plus grands chez les hommes que chez les femmes (72, 73). Lorsqu'elles sont normalisées en fonction de la surface corporelle pour contrôler les différences au niveau du poids et de la taille entre les hommes et les femmes, les différences entre les sexes au niveau du volume ventriculaire gauche, mais non le volume ventriculaire droit ou les fonctions ventriculaires gauche et droite, disparaissent (73). Cependant, le débit cardiaque (une fonction de la fréquence cardiaque et du débit systolique) n'est pas différent entre les deux sexes (73).

D'un point de vue métabolique, les femmes puisent davantage dans leurs réserves lipidiques pendant l'exercice comparativement aux hommes car leur ratio d'échange respiratoire (RER) est inférieur (17, 26, 34, 47, 69, 86, 88, 90). Il a également régulièrement été démontré que les femmes utilisent moins les glycogènes/glucose du foie (taux d'apparition du glucose, taux de disparition et taux de clairance métabolique inférieurs) (26, 34), que leur taux de lipolyse est plus élevé (renouvellement du glycérol plus élevé) (17), que leur concentration d'acide gras libre du plasma est plus élevée (9, 66) et que dépendamment du type d'exercice et de la phase du cycle menstruel dans laquelle se trouvent les femmes testées, elles connaissent une utilisation du glycogène musculaire inférieure (26, 86), sans aucune différence au niveau de l'utilisation des lipides intramyocellulaires (IMCL) (27, 94) pendant les exercices d'endurance. De plus, la déplétion en glycogène des muscles et du myocarde est inférieure chez les rats femelles

comparativement aux rats mâles après l'exercice (36, 51). Il a été suggéré que ces écarts entre les sexes pendant l'exercice sont dus à des divergences de la concentration d'œstrogène/activité (15, 61). En fait, les études sur la supplémentation d'œstrogène chez les animaux et les humains appuient les conclusions susmentionnées en ce qui a trait à l'oxydation supérieure des graisses chez les femmes pendant les exercices d'endurance (17, 25, 71).

L'utilisation des IMCL est la même pour les hommes et les femmes pendant l'exercice, mais il a systématiquement été démontré que la concentration des IMCL des femmes est supérieure à celle des hommes (26, 33, 68, 83). Une concentration des IMCL plus élevée peut affecter la performance pendant l'exercice, car il s'agit d'une source de carburant rapidement et facilement utilisable dans le muscle. De plus, à l'aide de la microscopie électronique, il a été montré qu'avant et après la période d'exercice d'endurance, les femmes possèdent un nombre plus élevé d'IMCL dans une zone musculaire donnée, mais la taille des lipides n'est pas supérieure comparativement aux hommes, et ce nombre supérieur d'IMCL provoque une hausse de la concentration des IMCL chez les femmes (26). Donc, les femmes possèdent une disponibilité accrue des IMCL pouvant être utilisés à titre de source de substrat pendant l'exercice. Toutefois, l'utilisation des IMCL est la même pour les deux sexes.

Fait intéressant, pendant l'exercice, le stockage des IMCL est différent entre les deux sexes, mais non leur utilisation. Toutefois, l'inverse semble être vrai en ce qui concerne le stockage des glycogènes musculaires et leur utilisation. Dépendamment du type d'exercice effectué (pendant la course, les femmes économisent les stocks de glycogène musculaire comparativement aux hommes (86)) ou de la période du cycle menstruel dans laquelle se trouvent les femmes testées (pendant la phase lutéinique, les femmes économisent les stocks de glycogène musculaire comparativement aux hommes (26)) les femmes utilisent moins de glycogènes musculaires pendant l'exercice comparativement aux hommes. Toutefois, on n'a observé aucune différence entre les deux sexes en ce qui concerne le stockage des glycogènes musculaires (26, 53, 86, 87). En général, la dépendance accrue sur les réserves lipidiques et la dépendance décroissante sur les réserves glucidiques pendant l'exercice chez les femmes peuvent influencer la performance pendant les exercices d'endurance par un ralentissement de la déplétion glucidique. La déplétion glucidique atténuée chez les femmes leur permet de pratiquer une activité physique plus intense pendant une période plus longue, puisque les glucides sont nécessaires pour maintenir l'intensité de l'exercice au-delà d'environ 65-70% (90).

Les experts n'ont pas encore établi dans quelle mesure les différences entre les sexes décrites dans cette section influencent la performance sportive, ou si elles influencent vraiment la performance. De plus, on ne sait pas si les différents niveaux d'hormones entre les sexes médient ces différences, avec quelques exceptions.

4. Effets métaboliques de la testostérone et de l'œstrogène

Le milieu hormonal est l'un des principaux éléments qui distingue les hommes des femmes. Le tableau 2 décrit les concentrations moyennes de testostérone et d'œstrogène chez les hommes et les femmes en phase mi-folliculaire et mi-lutéale.

Tableau 2: Concentrations hormonales normales chez les individus physiquement masculin ou féminin depuis la naissance

	Testostérone (nmol/L)	Œstrogène (pmol/L)
Hommes	21 ± 1	128 ± 13
Femmes (phase mi-folliculaire)	1.1 ± 0.1	184 ± 71
Femmes (phase mi-lutéale)	1.0 ± 0.2	361 ± 107

Les données sont les moyennes \pm erreur-type, où l'erreur-type est une mesure de la variance dans la population de l'étude. Données tirées de Devries, MC et al. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2006; 291:R1120-R1128.

À l'exception du rôle évident que jouent les hormones sexuelles sur les caractéristiques sexuelles primaires et secondaires, ces hormones peuvent également influencer plusieurs autres systèmes métaboliques.

4.1 Effets métaboliques de la testostérone

La testostérone est un agent anabolique connu qui régule la masse musculaire (6, 44, 75, 85) et la force (6, 31, 75, 85). En fait, la supplémentation de testostérone peut augmenter la force de ~5-20% et augmenter la masse du corps (excluant la graisse) de ~2-5 kg (43). De plus, l'effet de la testostérone sur la masse musculaire et sur la force dépend de la dose. Toutefois, son effet d'augmentation de la force se manifeste généralement uniquement lorsque les niveaux de testostérone se situent dans la zone maximale normale ou à des niveaux supra-physiologiques (7). En fait, si la testostérone est administrée à des niveaux qui simulent les concentrations physiologiques normales, la force musculaire demeure inchangée malgré les augmentations de la masse musculaire (80). Chez les souris ayant subi une orchidectomie et ne produisant plus de testostérone, on observe une réduction de la surface de section transversale des fibres musculaires de type I et II; cet effet est toutefois atténué par une administration de testostérone (5). Plus précisément, les fibres musculaires à contraction lente (type I) sont les plus sensibles à l'ablation et à la supplémentation de la testostérone (5). La force maximale générée par les souris fut réduite suite à l'orchidectomie, alors que chez les souris orchidectomisées et traitées à la testostérone, la force maximale générée était identique à celle du groupe contrôle de souris (5). Toutefois, même si la force maximale générée est supérieure suite à l'administration de testostérone chez les souris orchidectomisées, les vitesses de contraction sont les mêmes (5).

On croit également que la testostérone joue un rôle au niveau de la résistance à la fatigue et de la récupération des muscles. L'administration de testostérone à des souris ayant subi une orchidectomie a augmenté la résistance à la fatigue des fibres musculaires à contraction lente (type I), mais non celle des fibres musculaires à contraction rapide (type II) (5). Cependant, chez les humains, on a observé qu'une large gamme de doses de testostérone n'influçait pas la fatigabilité des muscles (85). De plus, la tension spécifique au muscle, une mesure de la qualité du muscle, n'a été affectée par aucune des doses de testostérone (85). Le rôle de la testostérone

dans la récupération musculaire n'est pas déterminant. Malgré la présence de concentrations de testostérone plus élevées suite à des exercices de résistance où les répétitions furent effectuées à un rythme lent, comparativement à des répétitions effectuées à vitesse régulière, on n'a décelé aucune différence au niveau de la récupération de la force maximale ou de la performance de saut chez les humains (38).

Les différences au niveau de la taille des os, du contenu minéral et du contenu d'hémoglobines entre les deux sexes découlent directement des différences entre les concentrations de testostérone qui existent entre les sexes. Pendant la puberté, chez les garçons, les effets anaboliques de la testostérone augmentent la masse osseuse et augmentent la rétention de calcium dans les os, produisant des os plus larges et plus forts (41). La testostérone influence également la forme du bassin : elle rétrécit et allonge l'entrée du bassin, et elle renforce le bassin pour augmenter sa résistance (41). En l'absence de testostérone, le bassin d'un homme ressemble à celui d'une femme (41). La testostérone stimule également la production de globules rouges qui, tel que décrit en détails précédemment, contiennent de l'hémoglobine, laquelle transporte l'oxygène jusqu'aux muscles. L'administration de testostérone à un homme castré pour simuler les niveaux physiologiques de testostérone augmente le nombre de globules rouges de 15 à 20% (41).

Les différences observées entre les métabolismes des hommes et des femmes pendant l'exercice ne sont pas médiés par les différences de testostérone. En fait, une étude récente a examiné l'utilisation des substrats pendant l'exercice chez les hommes. On a comparé des hommes possédant des niveaux physiologiques de testostérone, des hommes ne produisant plus de testostérone et des hommes dont les concentrations étaient à des niveaux supra-physiologiques, et on n'a observé aucune différence au niveau de l'oxydation lipidique et glucidique pendant l'exercice (13). Donc, même s'il semble que la testostérone régule certaines différences entre les sexes, le métabolisme des substrats pendant l'exercice ne fait pas partie de ces différences.

4.2 Effets métaboliques de l'œstrogène

Les différences métaboliques observées entre les sexes pendant l'exercice sont médiées par les différences de concentration d'œstrogène entre les sexes. Des études cliniques au cours desquelles on a administré 17- β -estradiol (E2) à des animaux (16, 60, 61) et à des humains (18, 25, 71, 89) ont montré que l'administration à court terme d'E2 peut modifier la sélection de carburant pendant les exercices d'endurance. Chez les animaux, la supplémentation d'E2 à des femelles ovariectomisées ou à des rats mâles a épargné le glycogène hépatique, myocardique et musculaire pendant l'exercice exhaustif et sous-maximal, ce qui a amélioré la performance (16, 60, 61, 70). Chez les femmes aménorrhéiques, une supplémentation de 100 $\mu\text{g/d}$ d'E2 pendant 3 jours a augmenté la concentration d'acide gras libre, réduisant l'utilisation de glucose par le foie, sans aucun effet sur la lipolyse de tout le corps et sans affecter le RER et l'oxydation des glucides et des graisses (71). Cependant, la supplémentation d'E2 n'a eu aucun effet sur la performance pendant une course jusqu'à l'épuisement à 85% $\text{VO}_{2\text{max}}$ précédée par une course de 90 minutes à 65% $\text{VO}_{2\text{max}}$ (71). Les tests de supplémentation d'E2 chez les hommes ont produit des résultats semblables (18, 25, 89). La supplémentation d'E2 à faible dose (100-300 $\mu\text{g/d}$)

chez les hommes, pendant 11 jours, a produit des concentrations d'estradiol similaires aux niveaux que connaissent les femmes pendant la phase folliculaire de leur cycle menstruel. Cette supplémentation n'a influencé ni la performance, ni l'utilisation de glycogène musculaire pendant une séance de cyclisme de 90 minutes à 60% $\text{VO}_{2\text{max}}$; cependant, on a remarqué une tendance vers une oxydation supérieure des lipides et une oxydation inférieure des glucides pendant la séance d'exercice (89).

Lorsque la dose d'E2 administrée aux hommes fut augmentée (1-3 mg/d, 8 jours), le RER et l'oxydation des glucides ont diminué, alors que l'oxydation lipidique a augmenté (25). De plus, des doses élevées d'E2 abaissent l'utilisation de glucose dans le foie (18, 25) et le contenu de glycogène musculaire au repos sans agir sur l'utilisation des glycogènes musculaires (25). Enfin, tout comme l'ont indiqué Ruby *et al.* (71), une supplémentation à forte dose d'E2 n'a eu aucun effet sur le lipolyse global chez les hommes (18). Jusqu'à présent, une seule recherche clinique évaluant la supplémentation d'E2 a noté un effet de l'E2 sur l'utilisation des substrats du corps entier en réduisant le RER et l'oxydation des cellules CHO, et en augmentant l'oxydation lipidique (25). Il est possible qu'il existe un rapport dose-efficacité entre l'E2 et le RER, car une faible dose d'E2 n'a produit aucun effet sur le RER (71, 89). Cependant, dans l'étude menée par Carter *et al.* (18), les concentrations d'estradiol dans le sérum étaient supérieures à celles notées dans l'étude de Devries *et al.* (25), mais on n'a toutefois observé aucun effet de l'E2 sur le RER. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que Carter *et al.* (18) ont utilisé un échantillon plus petit dans leur étude, produisant une erreur de type II. D'autre part, on sait que l'E2 augmente le contenu IMCL et l'activité de la lipoprotéine lipase chez les rats (22, 67, 96). Etant donné l'estérification des AGL et l'hydrolyse de l'IMCL pendant l'exercice (40), et étant donné le fait qu'une augmentation de la synthèse de l'IMCL augmenterait le RER, il est possible que le RER puisse être faussement augmenté par l'E2. Dans l'étude menée par Carter *et al.* (18), il est donc possible que le régime de dosage soit si élevé que les effets produits par l'E2 sur la synthèse lipidique excèdent ceux de la mobilisation lipidique, entraînant une incapacité à déceler l'effet de l'E2 sur la réduction du RER. Conjointement, ces données suggèrent que l'E2 a un effet primaire sur la glycogénolyse dans le foie et la libération de glucose, tandis que la glycogénolyse musculaire n'est pas affectée par une supplémentation à court terme d'E2. Toutefois, sachant que l'E2 réduit le contenu en glycogène musculaire (25), peut-être qu'avec le temps on observerait un effet de l'E2 sur l'utilisation du glycogène musculaire. De plus, ces études suggèrent qu'au niveau de l'utilisation des substrats, l'E2 a un impact supérieur sur le CHO, par opposition aux lipides, sur le métabolisme.

L'œstrogène agit également à titre d'antioxydant, atténuant le stress oxydatif provoqué par l'effort et l'inflammation (54, 84). Des périodes intenses d'exercice augmentent la production d'espèces réactives de l'oxygène chez les humains (1, 24, 74). Les augmentations de la production d'espèces réactives de l'oxygène provoquent le stress oxydatif et peuvent entraîner des dommages oxydatifs dans les muscles et dans le sang (1, 10, 55, 74, 97). Les dommages musculaires causés par des agents oxydants peuvent réduire la fonction musculaire et produire des douleurs musculaires (24, 62) ainsi que la fatigue musculaire (4), ce qui réduit la capacité de performance. Dans différentes lignées cellulaires, l'E2 inhibe la production d'espèces réactives de l'oxygène en inhibant l'activité enzymatique de la NADPH oxydase (50, 91). Des effets similaires d'E2 inhibant la production d'espèces réactives de l'oxygène ont été observés dans les modèles animaux (21, 32, 50, 54). Cependant, des hausses extrêmes de la production d'espèces

réactives de l'oxygène pendant l'exercice stimulent la transcription de gènes pour augmenter les concentrations d'enzymes antioxydants (77). En fait, malgré l'augmentation de la production d'espèces réactives de l'oxygène pendant les périodes intenses d'exercice, les niveaux de stress oxydatif des individus entraînés sont inférieurs et leurs niveaux d'enzymes antioxydants sont supérieurs (14, 23, 59) comparativement à leurs homologues sédentaires. Ces résultats peuvent être interprétés de deux façons. Tout d'abord, si l'œstrogène atténue la production d'espèces réactives de l'oxygène, peut-être que l'effet oxydant d'une période intense d'exercice est inférieur chez les femmes comparativement aux hommes, si bien que les dommages et les douleurs musculaires sont moins importants. En revanche, l'atténuation de la production d'espèces réactives de l'oxygène pendant l'exercice causé par l'œstrogène peut engendrer une adaptation inférieure pendant les périodes intenses d'exercices répétitifs (i.e. l'entraînement d'endurance) chez les femmes. Donc, l'œstrogène joue un rôle important dans la régulation du métabolisme des substrats pendant l'exercice, ainsi que sur le stress oxydatif causé par l'exercice.

5. Niveaux d'hormones chez les hommes et les femmes transitionnés comparativement aux individus nés de sexe masculin ou féminin

Le tableau 3 décrit les concentrations typiques d'hormones sexuelles chez les hommes et les femmes transitionnés, ainsi que chez les individus nés de sexe masculin ou féminin. Les données montrent que les individus nés de sexe féminin et les femmes transitionnées ont des concentrations de testostérone et d'œstrogène très similaires. Toutefois, les hommes transitionnés semblent avoir des concentrations de testostérone et d'œstrogène supérieures à celles des personnes nées de sexe masculin.

Tableau 3: Concentrations de testostérone et d'œstrogène des individus transitionnés et des individus nés de sexe masculin ou féminin

	Testostérone (nmol/L)	Œstrogène (pmol/L)
Individus nés de sexe masculin	22 ± 6	96 ± 12
Hommes transitionnés	31 ± 11	134 ± 35
Individus nés de sexe féminin	1.6 ± 0.6	161 ± 55
Femmes transitionnées	1.0 ± 0.0	175 ± 37

Moyennes ± erreur-type. Données tirées de Elbers *et al. Am J Physiol Endocrinol Metab*, 1999; 276:E317-E325.

Ces données sont surprenantes, car elles suggèrent que les hommes transitionnés peuvent profiter d'avantages de performance en raison des niveaux supérieurs de testostérone (force et masse musculaires) et d'œstrogène (meilleure utilisation des réserves lipidiques pendant l'exercice). Traditionnellement, la testostérone est administrée aux hommes transitionnés une fois tous les 14 jours, engendrant des concentrations supraphysiologiques de testostérone qui demeurent élevées pendant au moins 5-9 jours après l'administration de testostérone (8), pour ensuite redescendre à des niveaux sous la normale pendant les jours précédant la prochaine injection (52). Un régime

de dosage à action prolongée de testostérone, la testostérone undécanoate, a récemment été développé. Ce régime de dosage exige que les individus transitionnés de femme à homme reçoivent les deux premières injections à six semaines d'intervalle, suivies d'une injection toutes les 12 semaines (52). Ce régime exige donc que l'on administre seulement 4 doses par année aux hommes transitionnés. Il est donc avantageux parce que les concentrations de testostérone obtenues immédiatement après l'injection se situent dans la zone physiologique et demeurent stables entre les doses (52). De plus, après avoir reçu les doses de testostérone undécanoate pendant un an, les niveaux de testostérone des hommes transitionnés se situent au milieu de la zone des valeurs physiologiques normales pour les hommes (52).

La testostérone a une multitude d'effets qui améliorent la performance (voir ci-haut). Les hommes transitionnés qui souhaitent compétitionner au niveau d'élite devraient tenter de minimiser les fluctuations extrêmes des concentrations de testostérone (sommets et creux) causées par les régimes traditionnels d'injection de testostérone, et ils devraient avoir recours aux régimes de testostérone undécanoate tels que décrits ci-haut. Nous recommandons ceci pour deux raisons. D'abord, comme nous l'avons expliqué, les régimes traditionnels de dosage de testostérone engendrent des niveaux supraphysiologiques de testostérone pendant au moins 5-9 jours après l'injection d'hormones. État donné que les hommes transitionnés doivent recevoir une dose de testostérone tous les 14 jours, leur concentration de testostérone demeurera à des niveaux supraphysiologiques la plupart du temps, ce qui pourrait améliorer leur performance sportive et leur procurer un avantage déloyal comparativement aux hommes. Deuxièmement, les contrôles de dopage étant fréquents au niveau d'élite, l'athlète pourrait échouer le contrôle de testostérone s'il suit un régime traditionnel de dosage puisque pendant les deux semaines suivant l'administration de la dose (au moins 36 à 64% du temps), ses niveaux de testostérone demeureront élevés. Les nouveaux régimes à action prolongée d'administration de testostérone permettent de s'assurer que les hommes transitionnés ne jouissent pas d'un avantage déloyal dans les compétitions, comparativement aux hommes. De plus, ces régimes évitent aux athlètes masculins transitionnés d'échouer les tests de dépistage de testostérone car cette méthode permet d'éviter l'atteinte de concentrations hormonales supraphysiologiques.

5.1 Limites acceptables de testostérone et d'œstrogène dans le sport et comment cela s'applique aux athlètes transitionnés

Le Centre canadien pour l'éthique dans le sport est responsable de la gestion du programme canadien antidopage (19). Aucun niveau de testostérone ou d'œstrogène synthétique ou exogène n'est acceptable chez les athlètes de compétition (19). Les athlètes transitionnés prenant des hormones du sexe opposé doivent donc présenter une demande d'Autorisation d'usage à des fins thérapeutiques (AUT) qui les autorise à prendre de la testostérone ou de l'œstrogène synthétique (i.e. undécanoate de testostérone, ethinyl estradiol) (19). Si un athlète transitionné n'a pas présenté une demande d'AUT et que l'on décèle des traces de testostérone ou d'œstrogène de source exogène dans l'échantillon de l'athlète, on déterminera qu'il y a infraction de dopage (19). Dans un tel cas, l'athlète transitionné pourrait porter sa cause en appel en expliquant pourquoi son échantillon contenait des hormones endogènes (19).

6. Effets des hormones du sexe opposé sur les paramètres pouvant influencer la performance

Les données sur les effets de l'administration d'hormones du sexe opposé sur les facteurs pouvant affecter la performance sont rares.

6.1 Administration de testostérone chez les hommes transitionnés

Chez les hommes transitionnés, l'administration de testostérone augmente le contenu en hémoglobine et en hématocrite dans l'année suivant la supplémentation hormonale (37, 52), mais ce contenu n'augmente plus après un an (37), ce qui peut amplifier le transport d'oxygène aux muscles pendant l'exercice. Mais surtout, il n'existe pas de différence en ce qui concerne les niveaux d'hémoglobine entre les hommes transitionnés et les hommes (37). L'administration de testostérone aux hommes transitionnés augmente également la surface de section transversale des muscles. Cependant, la surface de section transversale des muscles demeure plus petite que celle des femmes transitionnées avant la privation de testostérone (i.e. chez les individus nés de sexe masculin) (28, 29, 37). Cependant, il est à noter que même si la surface moyenne de section transversale chez les hommes est supérieure, on retrouve une zone large de variance des surfaces dans les deux groupes d'hommes (37). Un examen approfondi des données montre que la surface moyenne de section transversale des muscles est plus large chez les hommes uniquement parce que leur surface minimale de section transversale est plus grande comparativement aux hommes transitionnés (37). Dans la zone supérieure de la courbe, la surface de section transversale des muscles est la même chez les hommes transitionnés et les individus nés de sexe masculin (37). Ces résultats suggèrent que dans le cas d'une population sportive où l'on retrouve une masse musculaire plus large et où la surface maximale de section transversale des muscles des hommes transitionnés et des individus nés de sexe masculin est la même, les différences au niveau de la masse musculaire entre ces deux groupes d'individu pourrait ne pas être problématique lorsqu'on compare la performance sportive. Cependant, les sujets de l'étude mentionnée précédemment n'étant pas des athlètes, cette hypothèse exige une analyse plus approfondie.

L'administration de testostérone aux hommes transitionnés réduit également la masse adipeuse des triceps et des biceps, ainsi que des régions supra-iliaques et para-ombilicales, sans toutefois affecter la région sous-scapulaire (28). Plus particulièrement, on a observée une décroissance générale des graisses sous-cutanées suite à l'administration de la testostérone (28, 29), malgré une hausse de la masse corporelle (28). La baisse des réserves lipidiques de l'organisme la plus marquée fut observée dans la région gynoïde, réduisant ainsi le rapport taille-hanches (28). De plus, en raison de la taille réduite des cellules adipeuses, les réserves lipidiques ont diminué suite au traitement de testostérone (30). Cependant, le contenu en graisse sous-cutanée est demeuré supérieur chez les hommes transitionnés comparativement aux hommes (28). En revanche, l'administration de testostérone a augmenté le contenu en graisse viscérale dans la première année du traitement (28, 29), qui a continué à augmenter après trois années de traitement (29). On a également noté une hausse de l'activité lipolytique basale, mais non de l'activité lipolytique stimulée, au niveau des adipocytes abdominaux, mais non au niveau des adipocytes de la région fessière, pendant la première année de supplémentation de testostérone (30).

6.2 Administration d'œstrogène chez les femmes transitionnées

L'administration d'œstrogène et d'anti-androgène chez les femmes transitionnées réduit leur contenu en hémoglobine et ces niveaux sont comparables aux valeurs observées chez les femmes (37). Encore une fois, on a remarqué ces mêmes changements chez les femmes transitionnées une année après l'administration des hormones du sexe opposé. Le contenu en hémoglobine est demeuré inchangé trois ans après l'administration des hormones (37). Jusqu'à ce jour, aucune étude n'a examiné l'effet de l'administration d'œstrogène sur le contenu en hématocrites des femmes transitionnées. La supplémentation d'œstrogène et d'anti-androgène chez les femmes transitionnées a réduit la surface de section transversale des muscles (28, 37); cependant, la surface de section transversale des muscles est demeurée plus grande que celle des hommes transitionnés avant l'administration de testostérone (i.e. individus nés de sexe féminin). Mais surtout, malgré le fait que la surface de section transversale moyenne du muscle soit plus grande chez les femmes transitionnées, on a remarqué un très grand intervalle des mesures de la surface dans les deux groupes (37). Plus précisément, dans la zone inférieure de la courbe, la surface de section transversale des muscles était plus petite chez les femmes. En revanche, dans la zone supérieure de la courbe, la surface de section transversale des muscles des femmes transitionnées et celle des hommes étaient la même (37). Cette découverte est importante car la masse musculaire des individus (i.e. les femmes transitionnées et les individus nés de sexe féminin) qui participent aux sports serait probablement plus grande que la masse observée dans la population moyenne. Alors étant donné que l'on n'observe aucune différence dans la zone supérieure de la courbe des valeurs des surfaces de section transversale des muscles, il est possible qu'il n'y ait pas de différence au niveau de la surface de section transversale des muscles entre les femmes transitionnées et les femmes athlètes. Cependant, étant donné que l'étude mentionnée ci-haut n'a pas comparé la surface de section transversale des muscles des femmes athlètes transitionnées à celle des femmes athlètes, ce prémisses demeure non corroboré.

L'administration d'œstrogène et d'anti-androgène modifie également les réserves lipidiques de l'organisme et la distribution de la graisse (28, 30). Plus précisément, chez les femmes transitionnées, la supplémentation d'œstrogène a augmenté le contenu de graisse sous-cutanée (28, 30) et de graisse viscérale (28), augmentant ainsi le pourcentage de graisse corporelle. De plus, l'augmentation de graisse sous-cutanée fut la plus marquée dans la région gynoïde (augmentation 66% vs 57%); cependant, le rapport taille-hanches des femmes transitionnées est demeuré le même (28). De plus, le contenu total de graisse sous-cutanée semblait encore être inférieur à celui des femmes transitionnées après une année de traitement à l'œstrogène, comparativement aux femmes (28). L'administration d'œstrogène et d'antiandrogène a augmenté le pourcentage de graisse corporelle dans les triceps et les biceps, ainsi que dans les régions sous-scapulaires, supra-iliaques et para-ombilicales (28). La supplémentation d'œstrogène et d'antiandrogène a également augmenté la taille des adipocytes et a réduit l'activité lipolytique basale des cellules adipeuses des régions fessière et abdominale (30). Cependant, semblable à l'effet de la supplémentation de testostérone chez les hommes transitionnés, la supplémentation d'œstrogène et d'antiandrogène chez les femmes transitionnées n'a pas modifié les taux de lipolyse stimulée (30).

Malgré le fait que les femmes sont généralement moins lourdes que les hommes (26, 27), le poids corporel des femmes transitionnées a augmenté en réponse à la supplémentation d'œstrogène et d'anti-androgène, malgré une augmentation de la masse musculaire (28). Par conséquent, dans les épreuves sportives où un athlète devrait déplacer sa propre masse corporelle (i.e. courir), une hausse du poids suite à un traitement d'œstrogène et d'anti-androgène pourrait nuire à la performance. Encore une fois, jusqu'à présent, aucune étude n'a examiné l'effet de la supplémentation d'œstrogène sur le poids corporel des athlètes féminines transitionnées. Les athlètes étant très actives, une bonne alimentation joue un rôle de premier plan dans la performance sportive et par conséquent, il est probable que cette sous-population de femmes transitionnées connaisse une perte de poids. De plus, la perte de poids serait probablement due au fait que l'œstrogène réduit la masse musculaire, alors que les réserves de graisse corporelle n'augmenteraient pas de manière aussi significative que chez les femmes transitionnées non sportives. Cette théorie n'a toutefois pas encore été vérifiée.

Jusqu'à présent, on n'a effectué aucune étude examinant les effets à long terme de la supplémentation d'œstrogène sur le métabolisme des glucides ou des lipides pendant les exercices d'endurance. Cependant, tel que décrit en détail précédemment (voir « effets métaboliques de l'œstrogène »), la supplémentation d'E2 chez les hommes peut réduire l'utilisation de glucose/glycogène dans le foie (17, 25), ce qui réduit l'oxydation de glucides et augmente l'oxydation des lipides pendant une séance d'exercices d'endurance (25). Cependant, les périodes de dosage pendant ces essais de supplémentation d'E2 variaient de 72 heures à 11 jours (18, 25, 71, 89), alors leur applicabilité au métabolisme pendant l'exercice chez les femmes transitionnées doit donc être étudiée plus en profondeur.

6.3 À la lumière des preuves présentées ci-haut, est-ce que les hommes ou les femmes transitionnés jouissent d'un avantage lorsqu'ils compétitionnent contre des hommes et des femmes?

À la lumière des conclusions présentées dans ce document, jusqu'à présent, il n'existe aucune preuve pour appuyer ou réfuter l'hypothèse selon laquelle les hommes ou les femmes transitionnés bénéficieraient d'un avantage dans les compétitions sportives s'ils se mesuraient à des hommes et des femmes. L'administration de testostérone aux hommes transitionnés produit des niveaux d'hémoglobine semblables à ceux des individus nés de sexe masculin (37). De plus, dans la zone supérieure de la courbe, la surface transversale des muscles des hommes n'était pas différente de celle des hommes transitionnés (37). En fait, l'unique différence entre les sexes ayant persisté après une année d'administration de testostérone fut un taux plus élevé de graisse sous-cutanée chez les hommes transitionnés comparativement aux individus nés de sexe masculin (28). Par conséquent, s'il s'agissait d'un facteur déterminant important de la performance, il pourrait en résulter un désavantage au niveau de la performance lorsque les hommes transitionnés compétitionnent contre des hommes. Cependant, tel que nous l'avons mentionné dans notre discussion sur les différences entre les sexes, la masse musculaire absolue n'est pas nécessairement signe de qualité musculaire (57), tel que le démontre le constat selon lequel lorsque la masse musculaire absolue est une variable contrôlée, la force musculaire des jambes chez les hommes demeure supérieure (57).

Les traitements d'œstrogène et d'anti-androgène chez les femmes transitionnées élèvent les niveaux d'hémoglobine à des niveaux semblables à ceux que l'on retrouve chez les femmes (37). Au niveau anthropométrique, dans la zone supérieure de la courbe, la surface transversale des muscles des femmes transitionnées était la même que celle des personnes nées de sexe féminin (37), alors que le contenu en graisse sous-cutanée demeurait inférieur et le poids corporel supérieur chez les femmes transitionnées, comparativement aux femmes (28).

Il est important de noter qu'aucune des études menées jusqu'à présent n'a examiné explicitement les variables de performance des individus transitionnés par rapport aux hommes et aux femmes. La seule étude abordant la question des individus transitionnés dans le sport de compétition (37) fut une étude rétrospective dans une population non sportive. De plus, aucune étude n'a noté si la taille de l'individu avait varié suite à l'administration d'hormones du sexe opposé. Les renseignements présentement disponibles indiquent qu'il n'existe pas suffisamment de preuves pour appuyer ou réfuter l'hypothèse que les athlètes transitionnés jouissent d'un avantage déloyal ou d'un désavantage lorsqu'ils compétitionnent contre des hommes et des femmes.

6.4 Comment les conclusions actuelles peuvent-elles être comparées au Consensus de Stockholm?

En 2003, un groupe spécial convoqué par la commission médicale du Comité international olympique (CIO) s'est réuni à Stockholm pour émettre des recommandations concernant la participation d'athlètes (hommes et femmes) ayant subi un changement de sexe (49). Le groupe a émis les recommandations suivantes (49):

- 1) Tout homme ayant subi un changement de sexe avant la puberté devrait être considéré comme étant de sexe féminin. Cela s'applique également aux femmes, qui devraient donc être considérées comme étant de sexe masculin. Il ne devrait y avoir aucune restriction en ce qui a trait à la participation dans le sport.
- 2) Les hommes (et femmes) ayant subi un changement de sexe après la puberté doivent être autorisés à participer à des compétitions féminines ou masculines, selon le cas, à condition:
 - a. Que des transformations anatomiques chirurgicales aient été effectuées, notamment changement des organes génitaux externes et gonadectomie;
 - b. Qu'une reconnaissance légale du nouveau sexe ait été accordée par les autorités officielles compétentes;
 - c. Qu'un traitement hormonal approprié au nouveau sexe ait été administré de manière vérifiable et durant une période suffisamment longue pour réduire au minimum les avantages liés au sexe dans les compétitions sportives;
 - d. De l'avis du groupe, l'athlète ne devrait pas être admissible avant un minimum de deux ans après la gonadectomie.

Cependant, les données présentées dans le présent document suggèrent qu'une période de moins de deux ans pourrait s'avérer suffisante pour minimiser les effets de l'exposition aux hormones

sexuelles avant la transition sur la performance sportive. L'administration de testostérone aux hommes transitionnés augmente le contenu en hémoglobine et la surface de section transversale des muscles dans une année, et aucun autre changement n'est observé après trois ans (37). L'administration d'œstrogène aux femmes transitionnées diminue le contenu en hémoglobine dans une année, et aucun autre changement n'est observé après trois ans (37). De plus, la supplémentation d'œstrogène réduit la surface de section transversale des muscles dans une année, suivi d'une légère diminution après trois ans (37). Ces résultats préliminaires suggèrent qu'une année de supplémentation d'hormones du sexe opposé pourrait être suffisante pour minimiser les effets secondaires d'une exposition préalable aux hormones sur la performance chez les hommes et les femmes transitionnés. Cependant, il ne faut pas oublier que ces résultats sont basés sur des individus transitionnés moyens, et non des athlètes transitionnés. L'applicabilité de ces résultats à une population sportive demeure à déterminer.

7. Perspectives

7.1 Existe-t-il un avantage ou un désavantage au niveau de la performance?

Jusqu'à présent, il existe peu de données concernant les effets associés à l'administration d'hormones du sexe opposé sur la performance. Aucune étude n'a été menée auprès d'athlètes transitionnés et aucune étude n'a effectué de tests objectifs de la performance (i.e. VO_{2max} , performance chronométrée ou test de force). Nous ne connaissons pas les effets de l'administration de testostérone et d'œstrogène sur la composition du corps et la masse musculaire. Cependant, ces facteurs en soi ne déterminent pas la performance. Jusqu'à ce que des études spécifiques comparant les mesures de performance des individus transitionnés aux individus de sexe féminin ou masculin soient menées, il demeure impossible de se positionner quant aux avantages ou désavantages compétitifs. Il a été déterminé que dépendamment du type de testostérone administré aux hommes transitionnés, les concentrations supraphysiologiques de testostérone persistent pendant 5-9 jours après l'injection, ce qui semble un facteur important en ce qui concerne le franc-jeu. Étant donné que les périodes de dosage des régimes traditionnels d'injection ont lieu tous les 14 jours, les taux de testostérone des hommes transitionnés sont presque toujours élevés (8). La testostérone est un agent anabolique qui augmente la masse et la force musculaires (6, 31, 75, 85), alors il faut s'assurer que les niveaux de testostérone chez les hommes transitionnés correspondent aux niveaux des hommes. On peut recommander d'utiliser l'undécanoate de testostérone pour les hommes transitionnés souhaitant participer à des épreuves sportives, car ce régime de dosage produit des niveaux stables de testostérone à long terme (52). Cependant, il sera sans doute nécessaire d'effectuer d'autres recherches avant que cette recommandation ne soit probante.

8. Conclusions

En général, on remarque une pénurie de données en ce qui concerne les conséquences de la transition sur la performance sportive. Les données qui existent sur la performance n'ont pas été recueillies auprès d'athlètes transitionnés, alors il est incertain qu'elles puissent être applicables à la population sportive. Jusqu'à présent, aucune étude n'a mené de tests d'exercice permettant d'évaluer la performance sportive. La seule étude ayant examiné les athlètes transitionnés dans le sport de compétition était une étude rétrospective, et cette dernière

considérerait la masse musculaire et le contenu en hémoglobine comme étant des indices de prédiction de la compétence sportive. Il ne fait aucun doute que ces facteurs influencent la performance. Cependant, dans les sports, le tout est plus grand que la somme des parties et par conséquent, il est nécessaire d'évaluer la performance pendant les épreuves sportives. Bien que les données disponibles en ce moment ne semblent pas suggérer que les athlètes transitionnés jouiraient d'un avantage ou d'un désavantage comparativement aux athlètes masculins et féminins, nous ne possédons pas suffisamment de preuves pour appuyer entièrement ce constat. Il faudra mener encore de nombreuses études avant que l'on ne parvienne à un consensus. Cependant, en raison du faible nombre d'individus transitionnés dans la population, il sera difficile de mener de telles études. En raison de ces complications, nous ne saurons peut-être jamais vraiment si les athlètes transitionnés sont avantagés ou désavantagés comparativement aux individus nés de sexe masculin ou féminin.

9. Bibliographie

1. **Alessio H.** Exercise-induced oxidative stress. *Med Sci Sports Exerc* 25: 218-224, 1993.
2. **Andersen HA.** The quadriceps angle and its relation to femoral tension. *Acta Orthop Scand* 53: 577-579, 1982.
3. **Anderson T.** Biomechanics and running economy. *Sports Med* 22: 76-89, 1996.
4. **Anguilo A, Tauler P, Sureda A, Cases N, Tur J, and Pons A.** Antioxidant diet supplementation enhances aerobic performance in amateur sportsmen. *J Sports Sci* 25: 1203-1210, 2007.
5. **Axell A, MacLean H, Plant D, Harcourt L, Davis J, Jimenez M, Handelsman D, Lynch G, and Zajac J.** Continuous testosterone administration prevents skeletal muscle atrophy and enhances resistance to fatigue in orchidectomized male mice. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 291: E506-E516, 2006.
6. **Bhasin S, Storer T, Berman N, Callegari C, Clevenger R, Phillips J, Bunnell T, Tricker R, Shirazi A, and Casaburi R.** The effects of supraphysiologic doses of testosterone on muscle size and strength in normal men. *N Engl J Med* 335: 1-7, 1996.
7. **Bhasin S, Woodhouse L, Casaburi R, Singh A, Bhasin D, Berman N, Chen X, Yarasheski K, Magliano L, Dzekov C, Dzekov J, Bross R, Phillips J, Sinha-Hikim I, Shen R, and Storer T.** Testosterone dose-response relationships in healthy young men. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 281: 2001.
8. **Bisschop P, Toorians A, Endert E, Wiersinga W, Gooren L, and Fliers E.** The effects of sex-steroid administration on the pituitary-thyroid axis in transsexuals. *Eur J Endocrinol* 155: 11-16, 2006.
9. **Blatchford F, Knowlton R, and Schneider D.** Plasma FFA responses to prolonged walking in untrained men and women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 53: 343-347, 1985.
10. **Bloomer R, and Goldfarb A.** Anaerobic exercise and oxidative stress: A review. *Can J Appl Physiol* 29: 245-263, 2004.
11. **Blouin K, Boivin A, and Tchernof A.** Androgens and body fat distribution. *J Steroid Biochem Mol Biol* 103: 272-280, 2008.
12. **Bottcher J, Pfeil A, Shafer M, Petrovitch A, Seidl B, Mentzel H, Lehmann G, Malich A, Heyne J, Hein G, Wolf G, and Kaiser W.** Normative data for digital X-ray radiogrammetry from a single female and male German cohort. *J Clin Densitom* 9: 341-350, 2006.
13. **Braun B, Gerson L, Hagobian T, Grow D, and Chipkin S.** No effect of short-term testosterone manipulation on exercise substrate metabolism in men. *J Appl Physiol* 99: 1930-1937, 2005.
14. **Brites F, Zago V, Verona J, Muzzio M, Wikinski R, and Schreier L.** HDL capacity to inhibit LDL oxidation in well-trained triathletes. *Life Sci* 78: 3074-3081, 2006.
15. **Bunt J.** Metabolic actions of estradiol: significance for acute and chronic exercise responses. *Med Sci Sports Exerc* 22: 286-290, 1990.
16. **Campbell SE, and Febbraio MA.** Effect of the ovarian hormones on GLUT 4 expression and contraction-stimulated glucose uptake. *Am J Physiol* 282: E1139-E1146, 2002.
17. **Carter S, McKenzie S, Mourtzakis M, Mahoney D, and Tarnopolsky MA.** Short-term 17-beta-estradiol decreases glucose Ra but not whole body metabolism during endurance exercise. *J Appl Physiol* 90: 139-146, 2001.

18. **Carter SL, McKenzie S, Mourtzakis M, Mahoney DJ, and Tarnopolsky MA.** Short-term 17-beta-estradiol decreases glucose Ra but not whole body metabolism during endurance exercise. *J Appl Physiol* 90: 139-146, 2001.
19. **CCES.** Canadian Centre for Ethics in Sport. <http://www.cces.ca>.
20. **Comben L.** Transgender issues in sport. Problems, solutions and the future. Research Paper, Master of Laws, University of Melbourne, 1996.
21. **Dantas A, Tostes R, Fortes Z, Costa S, Nigro D, and Carvalho M.** In vivo evidence for antioxidant potential of estrogen in microvessels of female spontaneously hypertensive rats. *Hypertension* 39: 405-411, 2002.
22. **De Bellis M, Keshavan M, Beers S, Hall J, Frustaci K, Masalehdan A, Noll J, and Boring A.** Sex differences in brain maturation during childhood and adolescence. *Cerebral Cortex* 11: 552-557, 2001.
23. **Dekany M, Nemeskeri V, Gyare I, Harbula J, Malomsoki J, and Pucsok J.** Antioxidant status of interval-trained athletes in various sports. *Int J Sports Medicine* 27: 112-116, 2006.
24. **Dekkers JvD, LJ, and Kemper H.** The role of antioxidant vitamins and enzymes in the prevention of exercise-induced muscle damage. *Sports Med* 21: 216-238, 1996.
25. **Devries M, Hamadeh M, Graham T, and Tarnopolsky MA.** 17-beta-estradiol supplementation decreases glucose Ra and Rd with no effect on muscle glycogen utilization during moderate intensity exercise in men. *J Clin Endocrinol Metab* 90: 6218-6225, 2005.
26. **Devries M, Hamadeh MJ, Phillips SA, and Tarnopolsky MA.** Menstrual cycle phase and sex influence muscle glycogen utilization and glucose turnover during moderate-intensity endurance exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 291: R1120-R1128, 2006.
27. **Devries M, Lowther S, Glover A, Hamadeh M, and Tarnopolsky M.** IMCL area density, but not IMCL utilization, is higher in women during moderate-intensity endurance exercise, compared with men. *Am J Physiol Regul Comp Physiol* 293: R2336-R2342, 2007.
28. **Elbers J, Asscheman H, Seidell J, and Gooren L.** Effects of sex steroid hormones on regional fat depots as assessed by magnetic resonance imaging in transsexuals. *Am J Physiol* 276: E317-E325, 1999.
29. **Elbers J, Asscheman H, Seidell J, Megens J, and Gooren L.** Long-term testosterone administration increases visceral fat in female to male transsexuals. *J Clin Endocrinol Metab* 82: 2044-2047, 1997.
30. **Elbers J, de Jong S, Teerlink T, Asscheman H, Seidell J, and Gooren L.** Changes in fat cell size and in vitro lipolytic activity of abdominal and gluteal adipocytes after a one-year cross-sex hormone administration in transsexuals. *Metabolism* 48: 1371-1377, 1999.
31. **Ferrando A, Sheffield-Moore M, Yeckel C, Gilkison C, Jiang J, Achacosa A, Lieberman SA, Tipton K, Wolfe R, and Urban R.** Testosterone administration to older men improves muscle function: molecular and physiological mechanisms. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 282: 2002.
32. **Florian M, Freiman A, and Magder S.** Treatment with 17-beta-estradiol reduces superoxide production in aorta of ovariectomized rats. *Steroids* 69: 779-787, 2004.
33. **Forsberg A, Nilsson E, Werneman J, Bergstrom J, and Hultman E.** Muscle composition in relation to age and sex. *Clin Sci* 81: 549-256, 1991.
34. **Friedlander AL, Casazza GA, Horning MA, Huie MJ, Piacentini MF, Trimmer JK, and Brooks GA.** Training-induced alterations of carbohydrate metabolism in women: women respond differently from men. *J Appl Physiol* 85: 1175-1186, 1998.

35. **Fulkerson J, and Arendt E.** Anterior knee pain in females. *Clin Orthop Relat Res* 372: 69-73, 2000.
36. **Goldberg D, Palmer W, Rumsey W, and Kendrick Z.** Effect of sexual maturation and exhaustive exercise on myocardial glycogen metabolism. *Proc Soc Exp Biol Med* 174: 53-58, 1983.
37. **Gooren L, and Bunck M.** Transsexuals and competitive sports. *European Journal of Endocrinology* 151: 425-429, 2004.
38. **Goto K, Takahashi K, Yamamoto M, and Takamatsu K.** Hormone and recovery responses to resistance exercise with slow movement. *J Physiol Sci* 58: 7-14, 2008.
39. **Grelsamer R, Dubey A, and Weinstein C.** Men and women have similar Q angles. A clinical and trigonometric evaluation. *J Bone Joint Surg (Br)* 87: 1498-1501, 2005.
40. **Guo Z, Burguera B, and Jensen MD.** Kinetics of intramuscular triglyceride fatty acids in exercising humans. *J Appl Physiol* 89: 2057-2064, 2000.
41. **Guyton A, and Hall J.** *Textbook of Medical Physiology*. Philadelphia, PA: W.B. Saunders Company, 2000, p. 1064.
42. **Harms C.** Does gender affect pulmonary function and exercise capacity. *Respiratory Physiology and Neurobiology* 151: 124-131, 2005.
43. **Hartgens F, and Kuipers H.** Effects of androgenic-anabolic steroids in athletes. *Sports Med* 34: 513-554, 2004.
44. **Herbst K, and Bhasin S.** Testosterone action on skeletal muscle. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 7: 271-277, 2004.
45. **Hogler W, Blinkie C, Cowell C, Inglis D, Rauch F, Kemp A, Wiebe P, Duncan C, Farpour-Lambert N, and Woodhead H.** Sex-specific developmental changes in muscle size and bone geometry at the femoral shaft. *Bone* Jan 26 Epub ahead of print: 2008.
46. **Hopkins S, and Harms C.** Gender and pulmonary gas exchange during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 32: 50-56, 2004.
47. **Horton TJ, Pagliassotti MJ, Hobbs K, and Hill JO.** Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. *J Appl Physiol* 85: 1823-1832, 1998.
48. **Hostler D, Schwirian C, Campos G, Toma K, Crill M, Hagerman G, Hagerman F, and Staron R.** Skeletal muscle adaptations in elastic resistance-trained young men and women. *Eur J Appl Physiol* 86: 112-118, 2001.
49. **IOC.** Stockholm Consensus on sex reassignment in sports. http://www.olympic.org/uk/organisation/commissions/medical/full_story_uk.asp?id=841.
50. **Itagaki T, Shimizu I, Cheng X, Yuan Y, Oshio A, Tamaki K, Fukuno H, Honda H, Okamura Y, and Ito S.** Opposing effects of oestradiol and progesterone on intracellular pathways and activation processes in the oxidative stress induced activation of cultured rat hepatic stellate cells. *Gut* 54: 1782-1789, 2005.
51. **Ivey P, and Gaesser G.** Postexercise muscle and liver glycogen metabolism in male and female rats. *J Appl Physiol* 62: 1250-1254, 1987.
52. **Jacobeit J, Gooren L, and Schulte H.** Long-acting intramuscular testosterone undecanoate for treatment of female-to-male transgender individuals. *J Sex Med* 4: 1479-1484, 2007.
53. **James A, Lorraine M, Cullen D, Goodman C, Dawson B, Palmer T, and Fournier P.** Muscle glycogen supercompensation: absence of a gender-related difference. *Eur J Appl Physiol* 85: 533-538, 2001.

54. **Ji H, Zheng W, Menini S, Pesce C, Kim J, Wu X, Mulrone S, and Sandberg K.** Female protection in progressive renal disease is associated with estradiol attenuation of superoxide production. *Gender Medicine* 4: 56-70, 2007.
55. **Ji L, and Fu R.** Responses of glutathione system and antioxidant enzymes to exhaustive exercise and hydroperoxide. *J Appl Physiol* 72: 549-554, 1992.
56. **Kaji H, Kosaka R, Yamauchi M, Kuno K, Chihara K, and Sugimoto T.** Effects of age, grip strength and smoking on forearm volumetric bone mineral density and bone geometry by peripheral quantitative computed tomography: comparisons between female and male. *Endocr J* 52: 659-666, 2006.
57. **Kanehisa H, Ikegawa S, and Fukunaga T.** Comparison of muscle cross-sectional area and strength between untrained women and men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 68: 148-154, 1994.
58. **Kanehisa H, Okuyama H, Ikegawa S, and Fukunaga T.** Sex difference in force generation capacity during repeated maximal knee extensions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 73: 557-562, 1996.
59. **Karolkiewicz J, Szczesniak L, Deskur-Smielecko E, Nowak A, Stemplewski R, and Szeklicki R.** Oxidative stress and antioxidant defense system in healthy, elderly men: relationship to physical activity. *Aging Male* 6: 100-105, 2003.
60. **Kendrick ZV, and Ellis GS.** Effect of estradiol on tissue glycogen metabolism and lipid availability in exercised male rats. *J Appl Physiol* 71: 1694-1699, 1991.
61. **Kendrick ZV, Steffen CA, Rumsey WL, and Goldberg DI.** Effect of estradiol on tissue glycogen metabolism in exercised oophorectomized rats. *J Appl Physiol* 63: 492-496, 1987.
62. **Kuipers H.** Exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 15: 132-135, 1994.
63. **Maud P, and Schultz B.** Gender comparisons in anaerobic power and anaerobic capacity test. *Br J Sports Med* 20: 51-54, 1986.
64. **McClaran S, Harms C, Pegelow D, and Dempsey J.** Smaller lungs in women affect exercise hyperpnea. *J Appl Physiol* 84: 1872-1881, 1998.
65. **Mead J.** Dysanapsis in normal lungs assessed by the relationship between maximal flow, static recoil, and vital capacity. *Am Rev Respir Dis* 121: 339-343, 1980.
66. **Mittendorfer B, Horowitz JF, and Klein S.** Effect of gender on lipid kinetics during endurance exercise of moderate intensity in untrained subjects. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 283: E58-65, 2002.
67. **Ramirez I.** Estradiol-induced changes in lipoprotein lipase, eating, and body weight in rats. *Am J Physiol (Endocrinol Metab)* 240: E533-E538, 1981.
68. **Roepstorff C, Thiele M, Hillig T, Pilegaard H, and Richter E.** Higher skeletal muscle alpha-2-AMPK activation and lower energy charge and fat oxidation in men than women during submaximal exercise. *J Physiol* 574: 2006.
69. **Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt J, and Wolfe RR.** Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *J Appl Physiol* 88: 1701-1714, 2000.
70. **Rooney TP, Kendrick ZV, Carlson J, Ellis GS, Matakovich B, Lorusso SM, and McCall JA.** Effect of estradiol on the temporal pattern of exercise-induced tissue glycogen depletion in male rats. *J Appl Physiol* 75: 1502-1506, 1993.

71. **Ruby B, Robergs R, Waters D, Burge M, Mermier C, and Stolarczyk L.** Effects of estradiol on substrate turnover during exercise in amenorrheic females. *Med Sci Sports Exerc* 29: 1160-1169, 1997.
72. **Salton C, Chuang M, O'Donnell C, Kupka M, Larson M, Kissinger K, Edelman R, Levy D, and Manning W.** Gender differences and normal left ventricular anatomy in an adult population free of hypertension. A cardiovascular magnetic resonance study of the Framingham Heart Study Offspring cohort. *J Am Coll Cardiol* 39: 1055-1060, 2002.
73. **Sandstede J, Lipke C, Beer M, Hofmann S, Pabst T, Kenn W, Neubauer S, and Hahn D.** Age- and gender-specific differences in left and right ventricular cardiac function and mass determined by cine magnetic resonance imaging. *Eur Radiol* 10: 438-442, 2000.
74. **Sastre J, Asensi M, Gasco E, Pallardo F, Ferrero J, and Furukawa T.** Exhaustive physical exercise causes oxidation of glutathione status in blood: Prevention by antioxidant administration. *Am J Physiol* 263: R992-R995, 1992.
75. **Schroeder E, Terk M, and Sattler F.** Androgen therapy improves muscle mass and strength but not muscle quality: results from two studies. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 285: 2003.
76. **Schwartz J, Katz S, Fegley R, and Tockman M.** Sex and race differences in the development of lung function. *Am Rev Respir Dis* 138: 1415-1421, 1988.
77. **Sen C, and Packer L.** Antioxidant and redox regulation of gene transcription. *FASEB J* 10: 709-720, 1996.
78. **Simoneau J, Lortie G, Boulay M, Marcotte M, Thibault M, and Bouchard C.** Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 54: 250-253, 1985.
79. **Simoneau J, Lortie G, Boulay M, Thibault M, Theriault G, and Bouchard C.** Skeletal muscle histochemical and biochemical characteristics in sedentary male and female subjects. *Can J Physiol Pharmacol* 63: 30-35, 1985.
80. **Snyder P, Peachey H, Hannoush P, Berlin J, Loh L, Lenrow D, Holmes J, Dlewati A, Santanna J, Rosen C, and Strom B.** Effect of testosterone treatment on body composition and muscle strength in men over 65 years of age. *J Clin Endocrinol Metab* 88: 2647-2653, 1999.
81. **Staron R, Hagerman F, Hikida R, Murray T, Hostler D, Crill M, Ragg K, and Toma K.** Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *J Histochem Cytochem* 48: 623-629, 2000.
82. **Staron R, Karapondo D, Kraemer W, Fry A, Gordon S, Falkel J, Hagerman F, and Hikida R.** Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 76: 1247-1255, 1994.
83. **Steffensen CH, Roepstorff C, Madsen M, and Kiens B.** Myocellular triacylglycerol breakdown in females but not in males during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 282: E634-642, 2002.
84. **Stirone C, Duckles S, Krause D, and Procaccio V.** Estrogen increases mitochondrial efficiency and reduces oxidative stress in cerebral blood vessels. *Mol Pharmacol* 68: 2005.
85. **Storer T, Magliano L, Woodhouse L, Lee M, Dzekov C, Dzekov J, Casaburi R, and Bhasin S.** Testosterone dose-dependently increases maximal voluntary strength and leg power, but does not affect fatigability or specific tension. *J Clin Endocrinol Metab* 88: 1478-1485, 2003.
86. **Tarnopolsky L, MacDougall J, Atkinson ST, Tarnopolsky MA, and Sutton J.** Gender differences in substrate for endurance exercise. *J Appl Physiol* 68: 302-308, 1990.

87. **Tarnopolsky M, Zawada C, Richmond L, Carter S, Shearer J, Graham T, and Phillips S.** Gender differences in carbohydrate loading are related to energy intake. *J Appl Physiol* 91: 225-230, 2001.
88. **Tarnopolsky MA, Atkinson SA, Phillips SA, and MacDougall JD.** Carbohydrate loading and metabolism during exercise in men and women. *J Appl Physiol* 78: 1360-1368, 1995.
89. **Tarnopolsky MA, Roy BD, MacDougall JD, McKenzie S, Martin J, and Ettinger S.** Short-term 17-beta-estradiol administration does not affect metabolism in young males. *Int J of Sports Med* 22: 175-180, 2001.
90. **Venables MC, Achten J, and Jeukendrup AE.** Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J Appl Physiol* 98: 160-167, 2005.
91. **Wagner A, Schroeter M, and Hecker M.** 17beta-estradiol inhibition of NADPH oxidase expression in human endothelial cells. *FASEB J* 15: 2121-2130, 2001.
92. **Weber C, and Schneider D.** Maximal accumulated oxygen deficit expressed relative to the active muscle mass for cycling in untrained male and female subjects. *Eur J Appl Physiol* 82: 255-261, 2000.
93. **Wells J.** Sexual dimorphism of body composition. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 21: 415-430, 2007.
94. **White L, Ferguson M, McCoy S, and Kim H.** Intramyocellular lipid changes in men and women during aerobic exercise: a (1)H-magnetic resonance spectroscopy study. *J Clin Endocrinol Metab* 88: 5638-5643, 2003.
95. **Williams K, Cavanagh P, and Ziff J.** Biomechanical studies of elite female distance runners. *Int J Sports Med* 8: 107-118, 1987.
96. **Wilson D, Flowers C, Carlile S, and Udall K.** Estrogen treatment and gonadal function in the regulation of lipoprotein lipase. *Atherosclerosis* 24: 491-499, 1976.
97. **Witt E, Reznick A, Viguie C, Starke-Reed P, and Packer L.** Exercise, oxidative damage and effects of antioxidant manipulation. *J Nutr* 122: 766-773, 1992.