



HAL
open science

La planification du microcycle compétitif en football dans les centres de formation : vers une reconsidération des principes fondamentaux de l'entraînement

Tom Douchet

► To cite this version:

Tom Douchet. La planification du microcycle compétitif en football dans les centres de formation : vers une reconsidération des principes fondamentaux de l'entraînement. Education. Université Bourgogne Franche-Comté, 2023. Français. NNT : 2023UBFCK024 . tel-04198331

HAL Id: tel-04198331

<https://theses.hal.science/tel-04198331v1>

Submitted on 7 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**THESE DE DOCTORAT DE L'ETABLISSEMENT UNIVERSITE BOURGOGNE
FRANCHE-COMTE**

Préparée au sein du laboratoire INSERM U1093 Cognition, Action, et Plasticité

Sensorimotrice

et au Dijon Football Côte d'Or

École doctorale n°554

Environnement - Santé

En vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences du Sport

Présentée par

Tom DOUCHET

La planification du microcycle compétitif en football dans les centres de formation :

vers une reconsidération des principes fondamentaux de l'entraînement

Thèse présentée et soutenue à Dijon, le 16 Juin 2023

Composition du Jury :

Pr, Jacques Prioux
Pr, Laurent Bosquet
Pr, Nathalie Boisseau
Pr, Émilie Simoneau
Pr, Nicolas Babault
Dr, Christos Paizis
Dr, Christopher Carling

École Normale Supérieure de Rennes
Université de Poitiers
Université Clermont Auvergne
Université polytechnique des Hauts de France
Université de Bourgogne Franche-Comté
Université de Bourgogne Franche-Comté
Fédération Française de Football

Rapporteur
Rapporteur
Examinatrice
Présidente du jury
Directeur de thèse
Codirecteur de thèse
Invité



ÉCOLE DOCTORALE
Environnements - Santé
Bourgogne | Franche-Comté

Titre : La planification du microcycle compétitif en football dans les centres de formation : vers une reconsidération des principes fondamentaux de l'entraînement.

Mots clés : Charge de travail – Développement physique – Performance – Microcycle – Récupération

Résumé : L'objectif des centres de formation en football est de combler l'écart de niveau technique, tactique, et physique entre les jeunes et les professionnels. De ce fait, le développement physique des joueurs de football en formation doit représenter une partie significative de l'entraînement, au contraire des équipes professionnelles qui se concentrent sur les résultats compétitifs. Pour autant, la littérature semble rapporter des planifications du microcycle (hebdomadaire) semblables entre ces deux populations malgré leurs objectifs distincts. Le but de ce travail de thèse était donc de tester différentes organisations de la planification du microcycle permettant d'optimiser le développement physique. Notre première étude a consisté à objectiver les pratiques de planification physique du microcycle dans tous les centres de formation français à travers un questionnaire. Notre deuxième étude a testé l'impact d'une planification alternative des séances dédiées au développement par rapport à la planification typique, sur les charges externes réalisées lors de ces séances, et l'état de forme le jour du match. Notre troisième étude a alors utilisé les

résultats de la deuxième, afin de tester l'ordre des séances visant chacune le développement de qualités physiques distinctes sur les charges externes réalisées et l'état de forme le jour du match. La quatrième étude était quant à elle dédiée à l'exploration de l'impact des durées d'entraînements lors de la séance typique de veille de match, supposée satisfaire l'objectif d'affûtage, sur l'état de forme le jour du match. Enfin, notre cinquième étude a testé l'impact de la quantification des charges d'entraînement en utilisant des valeurs individuelles relatives aux performances en matchs, plutôt que des valeurs absolues, afin de proposer des planifications individualisées. À travers cette thèse, nos résultats mettent alors en avant la nécessité de reconsidérer les principes de l'entraînement (individualisation, spécificité, progressivité, récupération, variation, périodicité), qui doivent dicter la planification du microcycle dans les centres de formation. Les conclusions scientifiques issues de cette thèse doivent être appréhendées comme des orientations qui guident les staffs dans la construction de leurs planifications.

Title: Competitive microcycle periodization in academy soccer players: towards a reconsideration of the fundamental principles of training.

Keywords: Workload – Physical development – Performance – Microcycle – Recovery

Abstract: The aim of soccer academies is to bridge the gap in technical, tactical, and physical levels between youth and professional players. Therefore, physical development must represent a significant part of the training process in academies, unlike professional teams that focus on competitive results. However, the literature seems to report similar microcycle (weekly) periodization between these two populations despite their distinct objectives. The purpose of this thesis was to test different microcycle periodization that would optimize physical development. Our first study consisted in objectifying the physical microcycle periodization practices in all French academies through a survey. Our second study tested the impact of an alternative periodization of the sessions dedicated to development compared to the typical periodization, on the external loads performed during these sessions, and matchday's readiness level. Our third study then used the results of the second study to

test the order of the sessions, each aiming to develop distinct physical qualities, on the external loads performed during these sessions and matchday's readiness level. The fourth study was dedicated to exploring the impact of the training duration during the typical session of the day before the match, supposed to satisfy the tapering objective, on matchday's readiness level. Finally, our fifth study tested the impact of quantifying training loads using individual values relative to match performance, rather than absolute values, to propose individualized periodization. Through this thesis, our results highlight the need to reconsider the fundamental principles of training (individualization, specificity, progressive overload, recovery, variation, periodicity), which should dictate the periodization of the microcycle in academies. The scientific conclusions of this thesis should be understood as guidelines for staffs to build their periodization.

« Les sciences n'existent et ne progressent que par le conflit des idées et théories ainsi que par la difficile victoire d'une théorie déviante sur les idées dominantes et reçues. »

Edgar Morin

Remerciements

Alors que ce projet de thèse s'achève, je souhaiterais remercier toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à cette aventure.

Mes premiers remerciements vont à mes directeurs de thèse, **Nicolas Babault** et **Christos Paizis**. Je dois dire que j'ai pris énormément de plaisir à vos côtés dans cette aventure, même lorsque vous me disiez qu'on était encore loin du compte, que mon anglais n'était pas assez bon, et qu'une fois de plus, il allait falloir tout recommencer... Alors merci de m'avoir laissé me tromper autant de fois. Merci aussi pour cette liberté que vous m'avez accordée. J'ai eu l'immense chance de pouvoir réaliser ce projet qui me tenait à cœur en lui donnant les orientations que je souhaitais, accompagné de vos précieux conseils. De la recherche dans le foot, désolé Nicolas... Merci enfin de m'avoir fait réfléchir. C'est la chose la plus importante que vous m'avez permis. Durant toutes ces années, vous m'avez demandé de questionner le sens de ce que l'on réalisait. Vous m'avez intégré sur d'autres projets, pour certains plus « complexes » que d'autres... Merci pour tout.

Un remerciement particulier à **Christopher Carling**, pour avoir pris part à ce travail de thèse, et pour tout le temps que vous m'avez accordé.

Je voudrais également remercier le laboratoire et son directeur **Harris Papaxanthis** pour avoir accepté ce projet et compris mon statut particulier.

Merci à **Nathalie Boisseau**, **Émilie Simoneau**, **Laurent Bosquet**, et **Jacques Prioux** de me faire l'honneur d'expertiser mon travail.

Je tiens à remercier également le **Dijon Football Côte d'Or**. J'ai débuté le football dans ce club, j'y ai grandi pendant dix saisons, gagné parfois, perdu aussi. Nos chemins se sont séparés, manque de talent sûrement... puis nous nous sommes retrouvés mais cette fois de l'autre côté de la barrière, en tant que préparateur physique. Une fois encore j'y ai grandi, et tellement appris. Tout n'a pas été parfait, mais je crois pouvoir dire qu'en tant que joueur ou préparateur physique, j'aurai tout donné. Alors je tiens à remercier toutes les personnes que j'y ai rencontré, sans exception. Vous m'avez aidé à avancer d'une manière ou d'une autre. Qui aurait pu croire qu'un gamin de 6 ans, réalisant son premier entraînement de foot, finirait, quelques 20 années plus tard, par réaliser sa thèse au sein de ce même club ? La boucle est bouclée.

Je veux aussi remercier le **Centre d'Expertise de la Performance Gilles Cometti, Carole Cometti**, et tous les préparateurs physiques que j'ai rencontrés. Mon passage au sein de cette institution de la préparation physique aura été un élément déterminant de cette aventure.

Je dois aussi remercier ceux avec qui j'ai passé des moments tellement importants. Ceux qui sont à l'origine de toutes ces discussions qui n'ont pas vraiment fait avancer la science :

Mes deux coloc's, Pierre, Thibaut. À nos parties de Uno, de 2K, nos trails à finir sous la couverture de survie...

Mes potes de longue date, du lycée. « Comment est votre blanquette ? »

Les membres « du goûter ». Rendez-vous à 15h45 pour de nouvelles « dingeries ».

Hugo et Antoine. Les brookies, les chutes en tout genre, la nuit sous l'orage, les face time...

Merci à tous.

Une pensée particulière pour ma famille et spécialement **mes parents**. Vous avez toujours été un exemple de ce que signifiait le mot travail. Vous m'avez accompagné dans tous mes projets avec un soutien indéfectible et je vous en remercie. Je suis fier d'être votre fils.

Puis, forcément, ceux qui partagent mon quotidien, **Laurine et Saga**.

Je dois reconnaître que beaucoup d'idées me sont venues lors des balades matinales avec Saga, une bonne partie de la réussite lui revient donc !

Laurine, tu m'as tellement aidé durant toutes ces années. Tous ces moments passés à concevoir les posters, à regarder mes PowerPoint et me dire « c'est pas aligné... c'est pas beau... laisse-moi faire », à m'accompagner partout, à m'aider à réviser mes présentations à 7h du matin à Séville, à minuit à Sao-Paulo, à relire tous mes documents... Cette aventure, on l'a réellement vécue à deux, et rien n'aurait été pareil sans toi. Merci infiniment.

Publications et communications

Ce travail a fait l'objet des publications suivantes :

Douchet T., Paizis C., Babault N. Physical Impact of a Typical Training Session with Different Volumes on the Day Preceding a Match in Academy Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113828>

Douchet, T., Paizis C., Cometti C., Carling C., Babault N. Typical weekly physical periodization in French academy soccer teams: a survey. *Biology of Sport* 2023. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.119988>

Douchet, T., Paizis C., Carling C., Babault N. Influence of a modified versus a typical microcycle periodization on the weekly external loads and match day readiness level in elite academy soccer players. *Soumis dans the Journal of Strength and Conditioning Research*.

Douchet, T., Paizis C., Babault N. Influence of the order of the physical qualities during the microcycle on the weekly external loads and match day's readiness level in elite academy soccer players. *Soumis dans the Journal of Strength and Conditioning Research*.

Douchet, T., Paizis C., Roche H., Babault N. Positional differences in absolute vs. relative training loads in elite academy soccer players. *Soumis dans the Journal of Sport Science and Medicine (en navette)*.

Ce travail a fait l'objet des communications suivantes :

Communications orales :

Douchet T., Paizis C., Carling C., Cometti C., Babault N. (2021) Typical weekly periodization in French academy soccer teams : a survey. 26^{ème} Congrès du Collège Européen des Sciences du Sport (Congrès virtuel).

Douchet T., Paizis C., Roche H., Babault N. (2022) Positional differences in absolute vs. relative training loads in elite academy soccer players. 27^{ème} Congrès du Collège Européen des Sciences du Sport (Séville – Espagne).

Communications affichées :

Douchet T., Paizis C., Babault N. (2021) Impact de l'entraînement typique de veille de match selon différents volumes sur les paramètres physiques et psychologiques le jour du match. 19^{ème} Congrès de l'Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives (Montpellier - France).

Douchet T., Paizis C., Babault N. (2021) Influence of undulating versus traditional microcycle periodization on the weekly external loads and match day's readiness level in elite academy soccer players. 4^{ème} Congrès de la Strength and Conditioning Society (Porto – Portugal).

Douchet T., Paizis C., Babault N. (2021) Influence of the order of the physical qualities during the microcycle on the weekly external loads and match day's readiness level in elite academy soccer players. 4ème Congrès de la Strength and Conditioning Society (Porto – Portugal).

Autres publications et communications :

Douchet T., Humbertclaude A., Cometti C., Paizis C., Babault, N. Quantifying Accelerations and Decelerations in Elite Women Soccer Players during Regular In-Season Training as an Index of Training Load. *Sports* **2021**, 9, 109. <https://doi.org/10.3390/sports9080109>

Douchet T., Juillard E., Paizis C., Babault N. (2022) Impact of the Menstrual Cycle on Physical and Psychological Factors in Elite Academy Women Soccer Players. 5ème Congrès de la Strength and Conditioning Society – communication affichée (Sao Paulo – Brésil).

Douchet T., Babault N., Sounie M., Paizis C., (2022) French female soccer player's physiological profile: Differences between professional and amateur young players. 5ème Congrès de la Strength and Conditioning Society – communication affichée (Sao Paulo – Brésil).

Publications en préparation :

Douchet T., Juillard E., Paizis C., Babault N. Impact of the Menstrual Cycle on Physical and Psychological Factors in Elite Academy Women Soccer Players.

Douchet T., Paizis C., Bogdanis G., Nassis G., Vieira DCL., Babault N. Stretching practices amongst soccer players: a survey.

Sommaire

Remerciements	1
Publications et communications	4
Liste des figures	8
Liste des tableaux	11
I. Introduction	12
I.1. Préambule	15
II. Cadre théorique	17
II.1. Planification – fondements théoriques	17
II.1.1. Les concepts physiologiques sur lesquels reposent la planification.....	17
II.1.1.1. Une brève histoire de la planification.....	17
II.1.1.2. Le syndrome général d'adaptation (GAS).....	22
II.1.1.3. Le modèle Fitness-Fatigue.....	26
II.1.2. Les paramètres d'entraînement, leur quantification, et leur impact sur la performance.....	32
II.1.2.1. Charge de travail – définitions.....	32
II.1.2.2. Interaction charge externe – charge interne.....	36
II.1.2.3. Relation dose-réponse.....	37
II.1.2.4. Modèles prédictifs.....	47
II.1.3. Les principes fondamentaux de l'entraînement qui guident la planification.....	52
II.1.3.1. Individualisation.....	52
II.1.3.2. Spécificité.....	53
II.1.3.3. Gestion de la charge de travail.....	55
II.1.3.4. Variation.....	57
II.1.3.5. Réversibilité.....	58
II.1.3.6. Périodicité.....	60
II.2. Planification – fondements pratiques	65
II.2.1. Planification traditionnelle.....	65
II.2.2. Planification ondulée.....	69
II.2.3. Planification en bloc.....	71
II.2.4. Planification polarisée, pyramidale, au seuil.....	76
II.3. Planification – le cas particulier des sports collectifs	79
II.3.1. Définition et challenges.....	79
II.3.2. Application des modèles de planification.....	84
II.3.3. Le microcycle compétitif.....	88
III. Problématique	98
IV. Contributions expérimentales	102
IV.1. État des lieux de la planification du microcycle en centre de formation	102
IV.1.1. Étude 1 : Planification physique hebdomadaire typique dans les équipes de football des centres de formation français : une enquête.....	104
IV.2. De l'état des lieux de la planification du microcycle vers sa modification pour l'optimisation du développement physique	119
IV.2.1. Étude 2 : Influence d'une planification du microcycle modifiée par rapport à une planification typique sur les charges externes hebdomadaires et l'état de forme le jour du match chez des joueurs de football élite d'un centre de formation.....	122
IV.2.2. Étude 3 : Influence de l'ordre des séances du microcycle compétitif sur les charges externes hebdomadaires et l'état de forme le jour du match chez des joueurs de football élite d'un centre de formation.....	136

IV.3. De l'optimisation du développement physique vers l'optimisation de l'état de forme compétitif	150
IV.3.1. Étude 4 : Impact physique d'une séance d'entraînement typique le jour précédant un match avec différents volumes chez des joueurs de football élite en centre de formation.	152
IV.4. De l'optimisation de la performance compétitive vers l'individualisation de la planification de l'entraînement	167
IV.4.1. Étude 5 : Différences entre les postes dans les charges d'entraînement absolues et relatives chez des joueurs de football élite en centre de formation	169
IV.5. La nécessité de considérer l'individu et ses spécificités compétitives	184
V. Discussion générale	185
V.1. État des lieux du microcycle	185
V.2. Manipulation de la planification	187
V.3. Perspectives d'entraînement	192
VI. Conclusion et perspectives	199
VII. Bibliographie	201

Liste des figures

Figure 1. Évolution du nombre de publications sur la planification de l'entraînement. Les termes « training periodization » ont été recherchés sur PubMed.	17
Figure 2. Fresque d'évolution de la planification au cours des temps anciens au moyen-âge. D'après (Stone et al., 2021).	18
Figure 3. Fresque d'évolution de la planification du moyen-âge aux temps modernes. D'après (Stone et al., 2021).	20
Figure 4. Fresque d'évolution de la planification au cours des temps modernes. D'après (Stone et al., 2021).	21
Figure 5. Les trois étapes du stress général d'adaptation (réaction d'alarme, résistance, et épuisement). D'après (Cunanan et al., 2018).	22
Figure 6. Les trois étapes du stress général d'adaptation (réaction d'alarme, résistance, et épuisement) et leur application dans le domaine sportif. D'après (Cunanan et al., 2018).	25
Figure 7. a : charge de travail optimal résultant en une amélioration continue au fil du temps ; b : charge de travail trop fréquente ou trop élevée ne permettant pas une récupération suffisante, et menant donc à une maladaptation, un surmenage voir un surentraînement ; c : charge de travail pas assez fréquente ou trop légère entraînant une stagnation voir un désentraînement. D'après (Cunanan et al., 2018).	26
Figure 8. Le modèle fitness-fatigue. A : évolution de la performance dans le temps. B : évolution des paramètres de condition physique et fatigue dans le temps. Chaque paramètre de la relation fitness-fatigue a ses propres effets sur la performance. CE : charge de travail. Redessiné d'après (Chiu & Barnes, 2003).	27
Figure 9. A : performance sur 1RM en back-squat avant, pendant, et après les 3 semaines d'entraînement à haute intensité. B : performance en sprint sur 9,1m pendant les 3 semaines d'entraînement à haute intensité. Une charge de travail condensée sur une qualité peut avoir des effets négatifs sur d'autres du fait du surmenage. D'après (Fry et al., 2000).	30
Figure 10. Cadre théorique du processus d'entraînement ajusté par la quantification des charges d'entraînement externes et internes. Les objectifs d'entraînement sont ajustés selon les réponses de l'athlète, connues grâce au suivi de la charge interne en fonction de la charge externe. D'après (Impellizzeri et al., 2019).	37
Figure 11. Rôle de la charge de travail et de la récupération sur les perturbations homéostatiques. La récupération permet de contrer les effets néfastes liés à l'application de charges d'entraînement. D'après (Soligard et al., 2016).	38
Figure 12. Impact d'une interaction A : équilibrée entre charge de travail et récupération menant à des adaptations positives ; B : non-équilibrée entre charge de travail et récupération menant à une maladaptation. L'application d'une récupération suffisante permet l'adaptation aux charges d'entraînement et donc la progression de l'athlète. Dans le cas contraire, on observera des maladaptations menant à une réduction de la tolérance au stress, et une augmentation du risque de blessure. D'après (Soligard et al., 2016).	39
Figure 13. Relation dose-réponse pour l'intensité et le volume d'entraînement en force. Les intensités et les volumes permettant les gains optimaux sont dépendants du niveau d'entraînement de la population. D'après (Rhea, Alvar, et al., 2003).	40
Figure 14. Relation dose-réponse entre la charge de travail (TRIMP mensuel) et les indices cardiovasculaires statiques. SV : volume systolique (A) ; Interval R-R (B) ; SBP : pression sanguine systolique (C) ; DBP : pression sanguine diastolique (D) ; TPR : résistance périphérique totale (E) ; SDR-R : déviation standard des intervalles R-R (F). *P < 0,05 par rapport à la ligne de base avant l'entraînement. Les graphiques C, D, E, F démontrent une	

relation en « U » ou « U inversé » avec les charges de travail. D'après (Iwasaki et al., 2003).	42
Figure 15. Représentation schématique des zones de stimulation selon le niveau des athlètes. La zone de stimulation se réduit à mesure que l'athlète progresse. Les charges d'entraînement à proposer aux athlètes expérimentées doivent donc être élevées pour provoquer un développement. Ces charges de travail liées aux zones permettant le développement des athlètes de haut niveau s'accompagneront alors d'une certaine fatigue, plus complexe à gérer que chez les débutants. Redessiné d'après (Platonov, 1988).	43
Figure 16. Ratio charge aigue-charge chronique et risque de blessure. Plus l'athlète réalise des charges pour lesquelles il n'est pas préparé, plus le risque de blessure augmente. D'après (Soligard et al., 2016).	45
Figure 17. Relation entre charge de travail et risque de maladie, selon le niveau de pratique des athlètes. L'augmentation du niveau, attesté par des qualités physiques supérieures, permet de réduire le risque de maladaptation à l'entraînement. D'après (Schwellnus et al., 2016). ...	46
Figure 18. Application d'un modèle de prédiction à un nageur. A : charge de travail quotidienne moyenne. B : Ajustement entre la performance prédite (ligne) et réelle (points). La prédiction des performances montre une efficacité limitée. D'après (Chalencon et al., 2015).	50
Figure 19. Proportions de fibres de type I (A), IIA (B) et de fibres hybrides de type I/IIA (C) et IIA/IIID(X) (D), surfaces de section transversale (CSA) des fibres de type I (E) et IIA (F) dans le groupe témoin, le groupe entraîné en force, le groupe entraîné en endurance et le groupe entraîné en force et en endurance de manière combinée. « a » indique une différence par rapport au groupe témoin avant l'entraînement dans un groupe. D'après le principe de spécificité, seuls les groupes comportant de l'entraînement de force ont subi une augmentation des paramètres de performance neuromusculaire. D'après (Putman et al., 2004).	54
Figure 20. Changement de performance sur le drop jump suite à un entraînement en musculation à charges élevées (a), ou en saut spécifique (b). Dans le but de progresser sur un test de saut, l'entraînement en saut, d'après le principe de spécificité, permet une optimisation des gains. D'après (Hakkinen & Komi, 1986).	55
Figure 21. Impact des charges « stimulantes », « de maintien », ou « de désentraînement » sur le développement de la condition physique des athlètes. Seules les charges stimulantes permettent une amélioration des performances des athlètes. L'ampleur de l'amélioration de la performance est dépendante du niveau des athlètes. D'après (Zatsiorsky, 2006).	56
Figure 22. Interaction entre temps d'entraînement, charge de travail et augmentation des performances. Sans le facteur de variation, les stimuli d'entraînement perdent de leur efficacité à mesure qu'on les applique. Redessiné d'après (Zatsiorsky, 2006).	57
Figure 23. Effets du désentraînement sur la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2\text{max}$), le volume systolique (SV), la fréquence cardiaque maximale (HRmax), le débit cardiaque maximal estimé (Q max), et la différence d'oxygène artériel-veineux (mixte) maximale ($a-vO_2\text{max diff.}$), * = significativement différent ($p < 0,05$) de l'état entraîné. Suivant une période de désentraînement, les paramètres de performance cardiorespiratoire subissent une diminution rapide (dès 3 semaines). D'après (Neufer P. Darrell, 1989) redessiné de (Coyle et al., 1984).	60
Figure 24. Division théorique du plan d'entraînement. D'après (Bompa & Haff, 2019).	62
Figure 25. Quatre façons de planifier le mésocycle. D'après (Bompa & Buzzichelli, 2015).	63
Figure 26. Planification traditionnelle telle que théorisée par Matveiev. On observe une évolution des paramètres de volume et d'intensité. D'après (Bompa & Haff, 2019).	65

Figure 27. Cycle d'entraînement à 1, 2 et 3 macrocycles, montrant l'évolution des performances en comparaison de la meilleure performance compétitive. D'après (Issurin, 2010).....	66
Figure 28. Exemple de planification traditionnelle. La performance est progressivement améliorée à mesure que la planification avance. D'après (Bompa & Haff, 2019).....	68
Figure 29. Représentation schématique de la planification ondulée. Redessiné d'après (Harries et al., 2015).....	69
Figure 30. Exemple d'une planification en bloc multifactoriel/semi-unidirectionnel. OR : surmenage planifié. D'après (Stone et al., 2021).	73
Figure 31. Effets résiduels de l'entraînement produits par les différents mésocycles de la planification en bloc. D'après (Stone et al., 2021).	74
Figure 32. Comparaison des durées des effets résiduels de l'entraînement en unité arbitraire de chaque qualité. D'après (Stone et al., 2021).....	75
Figure 33. Modèle à trois zones d'intensité basé sur l'identification des seuils ventilatoires. La- : lactate ; LT : Seuil lactique ; VT : seuil ventilatoire ; MLSS : État d'équilibre maximal du lactate. D'après (Seiler, 2010).....	77
Figure 34. Charge de travail (A) et intensité (B) des séances en présaison et en saison. La présaison représente une partie plus intense et chargée que la saison compétitive pour la majeure partie des composantes, mis à part les matchs. D'après (Moreira et al., 2015).	80
Figure 35. Temps en sprint sur (A) 5m, (B) 15m, (C) 25m. START-PRE : Début présaison ; END-PRE : fin de présaison ; MS : moitié de saison ; ES : fin de saison. * différence avec « START-PRE » ; ^ Différence avec « ES ». En fin de saison compétitive, la performance neuromusculaire attestée par les temps en sprint sur différentes distances montrent des diminutions en comparaison de la présaison ou d'autres moments de la saison. D'après (Mara et al., 2015).....	82
Figure 36. Les résultats individuels (lignes pointillées) et moyens (lignes pleines) du couple maximal en extension du genou à 60°.s ⁻¹ (A) et du couple maximal en extension du genou à 180°.s ⁻¹ (B) pour le groupe de planification en bloc (BP) et le groupe traditionnel (TRAD). £ Tendance à augmenter par rapport à Pre (P = 0,08), # Le changement par rapport à Pre est plus grand que dans TRAD (P < 0,05). La planification en bloc semble promouvoir des adaptations supérieures en comparaison de la planification traditionnelle. D'après (Rønnestad et al., 2019).....	86
Figure 37. Planification du microcycle selon la méthodologie de la planification tactique. Redessiné d'après (Tee et al., 2018).	87
Figure 38. Effets d'un entraînement de 10 semaines suivi d'une réduction d'un tiers (lignes pleines) et de deux tiers (lignes brisées) de la fréquence, de la durée et de l'intensité d'entraînement sur la consommation maximale d'oxygène sur tapis roulant. D'après (Hickson et al., 1985).....	90
Figure 39. 1RM au back squat (A) et temps de sprint au quarante mètres (B) avant le début de la saison (présaison) et après 12 semaines de saison (mi-saison) dans le groupe ayant effectué un entraînement en force par semaine (groupe 2 + 1) et le groupe ayant effectué un entraînement en force toutes les deux semaines (groupe 2 + 0,5). Les points de données individuels sont indiqués. Les colonnes représentent la valeur moyenne. D'après (Rønnestad et al., 2011).....	91
Figure 40. Évolution des charges de travail en unité arbitraire lors du microcycle compétitif selon différents formats retrouvés dans la littérature. A : planification la plus répandue avec une journée de repos complet à J+1 et la charge la plus élevée à J-3. B : planification classique avec une inversion entre J-4 et J-3. C : planification à deux jours de repos complets. D : Planification avec jour de repos à J-2 au lieu de J-1. D'après (R Akenhead et al., 2016).....	

Anderson et al., 2016; Brito et al., 2016; Castillo et al., 2019; Clemente, Owen, et al., 2019; Clemente et al., 2020; Coppalle, Ravé, Moran, Salhi, Abderrahman, et al., 2021; Coutinho et al., 2015; Diaz-Seradilla et al., 2022; Guerrero-Calderón et al., 2022; J. J. Malone, Di Michele, et al., 2015; Martín-García et al., 2018; Oliva-Lozano, Gómez-Carmona, Fortes, et al., 2022; Owen et al., 2017; Raya-González et al., 2020; Stevens et al., 2017; Wrigley et al., 2012)..... 93

Figure 41. Z-score (\pm écart-type) pour toutes les variables quantifiées lors d'un microcycle compétitif présenté jour par jour. D'après (H. Silva et al., 2023). 94

Figure 42. Charge externe moyenne (\pm écart type) quotidienne (A) et intensité (B) en fonction des jours selon leur distance par rapport au match. Les distances de vitesses faibles ($<12 \text{ km.h}^{-1}$, barre inférieure) et élevées ($>12 \text{ km.h}^{-1}$, barre supérieure) sont empilées. MD : jour du match. *petite, **modérée, ***grande, **** très grande différence de charge externe et d'intensité quotidienne entre joueurs professionnels et U19. D'après (Houtmeyers et al., 2020)..... 96

Liste des tableaux

Tableau 1. Mesures de charge externe et interne 34

Tableau 2. Différences majeures entre la planification traditionnelle et la planification en bloc unidirectionnel ou multi facteurs. D'après (Stone et al., 2021)..... 72

Tableau 3. Caractéristiques des microcycles courts, normaux et longs. 88

I. Introduction

Les clubs de football professionnels sont aujourd'hui tous pourvus de centres de formation dans lesquels s'entraînent quotidiennement les joueurs représentant le futur du club. Compte tenu de l'explosion de l'économie liée au football, les clubs aux budgets modestes doivent s'appuyer de manière accrue sur la filière interne pour constituer le groupe de joueurs professionnels. Cette stratégie représente un enjeu majeur pour la survie des clubs à haut niveau. De ce fait, les centres de formation doivent s'adapter aux demandes techniques, tactiques et physiques du niveau professionnel. Ces dernières années, ces demandes ont évolué.

Pour ce qui est de la dimension physique, sur laquelle nous nous concentrerons tout au long de ce travail de thèse, entre les saisons 2006/07 et 2012/13 en Premier League, les distances parcourues à haute intensité, le nombre d'actions réalisées à haute intensité, et la distance parcourue en sprint ont respectivement augmenté de 29%, 49% et 8% (Barnes, Archer, Hogg, Bush, & Bradley, 2014). Dans le même temps, la distance totale parcourue n'a subi qu'une augmentation triviale de 2%. Cette observation se confirme encore aujourd'hui dans une étude récente entre les saisons 2012/13 et 2018/19 en Espagne. Cette étude a montré une légère baisse de la distance totale parcourue, pour une augmentation du nombre d'efforts à haute intensité comprise entre 9% et 15% selon les postes (Lago-Peñas, Lorenzo-Martinez, Lopez-Del Campo, Resta, & Rey, 2022). Aussi, en prenant en compte le taux d'augmentation annuel sur ces 20 dernières années, il est prédit que cette évolution se poursuive d'ici 2030 (Nassis et al., 2020). De ce fait, le développement physique des joueurs de football en formation doit représenter une partie significative de l'entraînement et s'adapter à ces nouvelles exigences, afin de combler l'écart avec les joueurs professionnels (Houtmeyers et al., 2020).

Cet objectif de développement physique des centres de formation diffère de celui des équipes professionnelles, qui s'oriente naturellement sur le résultat compétitif. Ces objectifs variés

devraient alors mener à des différences substantielles de pratiques d'entraînement. Pour autant, la littérature semble rapporter des planifications du microcycle (hebdomadaire) semblables entre centres de formation et équipes professionnelles (Brito, Hertzog, & Nassis, 2016; Martín-García, Gómez Díaz, Bradley, Morera, & Casamichana, 2018). En effet, quelle que soit la population, des charges d'entraînement légères sont proposées aux joueurs 1 et 2 jours après le match, avant de réaliser des charges élevées 4 et 3 jours avant le prochain match. Puis, les charges d'entraînement diminuent lors des deux derniers jours avant la compétition (Rey, Corredoira, Costa, Pérez-Ferreirós, & Fernández-Villarino, 2020). Cette planification typique des équipes professionnelles, dans le cas où un seul match est joué par semaine, est supposée permettre un maintien des qualités physiques tout au long de la saison, tout en permettant un état de forme optimal lors de la compétition afin d'y performer au mieux (Los Arcos, Mendez-Villanueva, & Martínez-Santos, 2017). Côté centre de formation, la planification de la semaine devrait permettre de réaliser des charges d'entraînement suffisantes pour développer physiquement les athlètes, quitte à compromettre légèrement l'état de forme le jour du match. De ce point de vue, il semble donc peu probable qu'une planification identique entre ces deux populations, mène à la réussite d'objectifs distincts.

La littérature concernant l'impact de différents modèles de planification de la semaine sur les charges de travail réalisées et l'état de forme le jour du match est plus que limitée. L'objectif de ce travail de thèse était donc d'explorer les pratiques de planification de la semaine dans les centres de formation de football français, et de manipuler la planification du microcycle afin de tenter de l'optimiser pour satisfaire l'objectif prioritaire de développement physique des joueurs en vue de leur passage chez les professionnels. Ce travail de thèse comportait alors cinq études. La première étude a été réalisée sous la forme d'un questionnaire nous permettant d'objectiver les pratiques de planification du microcycle dans les centres de formation français. Suite à cette étude, trois études expérimentales ont été mises en place afin d'optimiser la planification en

manipulant les charges de travail et l'ordre des séances du microcycle pour satisfaire l'objectif de développement physique et de performance compétitive. Une autre manière d'optimiser la planification du microcycle consiste à modifier les contenus d'entraînement. Avant de les manipuler, il était nécessaire de vérifier que les pratiques d'entraînement actuelles permettaient de reproduire les exigences compétitives individuelles des joueurs. Notre dernière étude, quantitative, a donc été mise en place afin de vérifier si l'entraînement satisfaisait cet objectif. Ce travail de thèse tente donc de proposer des pistes de réflexion quant à la planification hebdomadaire en se recentrant sur les principes fondamentaux de l'entraînement qui proposent de s'éloigner de planifications rigides et universelles, au profit de planifications variables et adaptées aux contextes d'intervention.

I.1. Préambule

Ce travail de thèse a pour objectif d'explorer le microcycle compétitif en football dans les centres de formation. Afin de clarifier les objectifs, il nous semble nécessaire de préciser les orientations que nous y donnerons. Nous nous placerons dans le contexte d'une équipe et de ses joueurs sains (nous ne considérerons pas la planification de la réathlétisation), dans le cadre d'une saison compétitive avec une importance égale de toutes les rencontres. De plus, ce travail étant financé par le Dijon Football Côte d'Or (financement établi à travers un contrat de travail entre le DFCO et le doctorant dans le cadre de son activité de préparateur physique), nos travaux expérimentaux seront orientés selon les possibilités que le contexte nous offre. Ces travaux auraient pu être orientés différemment dans un contexte totalement libre. Aussi, le fait que nous examinons le microcycle compétitif au sein d'un centre de formation ne signifie pas forcément que les joueurs évalués sont des « jeunes » joueurs. Ici, nous nous focaliserons sur des joueurs de centre de formation entre 16 et 19 ans ayant dépassé le pic de croissance du stade pubertaire. Cette information est particulièrement importante dans la prise en compte de la planification et de la prescription des contenus d'entraînement. En effet, cela signifie que l'entraînement de ces joueurs ne diffère pas de celui des joueurs professionnels à cause des différences d'âge. La distinction importante à apporter entre ces deux populations est alors l'objectif prioritaire de l'entraînement. Dans les centres de formation, celui-ci est de développer les joueurs sur les composantes techniques, tactiques, et physiques, même durant la saison compétitive. Chez les professionnels cependant, l'objectif prioritaire se situe sur les résultats compétitifs, les entraîneurs cherchant donc à favoriser la récupération entre les matchs. Ces différents paradigmes devraient dès lors donner lieu à des entraînements variés et donc des planifications du microcycle différenciées. Afin de mettre en avant l'impact de ces différents paradigmes sur la construction de la planification de l'entraînement, nous explorerons dans un premier temps les fondements théoriques de la planification de l'entraînement, avec les concepts

physiologiques sur lesquels elle repose, les paramètres d'entraînement, leur quantification, et leur impact sur la performance, et enfin les principes fondamentaux de l'entraînement. À la suite de cette partie théorique, nous observerons les fondements pratiques de la planification avec les types de planification ayant été proposés pour satisfaire les objectifs de développement physique et/ou de performance compétitive. Enfin, nous nous concentrerons plus particulièrement sur les sports collectifs, en les définissant et en exposant les challenges liés à la planification dans ces sports, puis nous explorerons les modèles de planification utilisés dans ces sports, avant de nous focaliser sur le microcycle compétitif. Volontairement, certains aspects de la littérature scientifique comme les mécanismes et adaptations physiologiques (cardiorespiratoires, musculaires, métaboliques, nerveuses, endocriniennes) seront omis, du fait de leur éloignement par rapport au sujet de cette thèse, et de leur faible impact sur la prescription de l'entraînement en football.

II. Cadre théorique

II.1. Planification – fondements théoriques

II.1.1. Les concepts physiologiques sur lesquels reposent la planification

II.1.1.1. Une brève histoire de la planification

Ces dernières décennies, le domaine de la planification a reçu une attention particulière (Kataoka, Vasenina, Loenneke, & Buckner, 2021) (Figure 1).

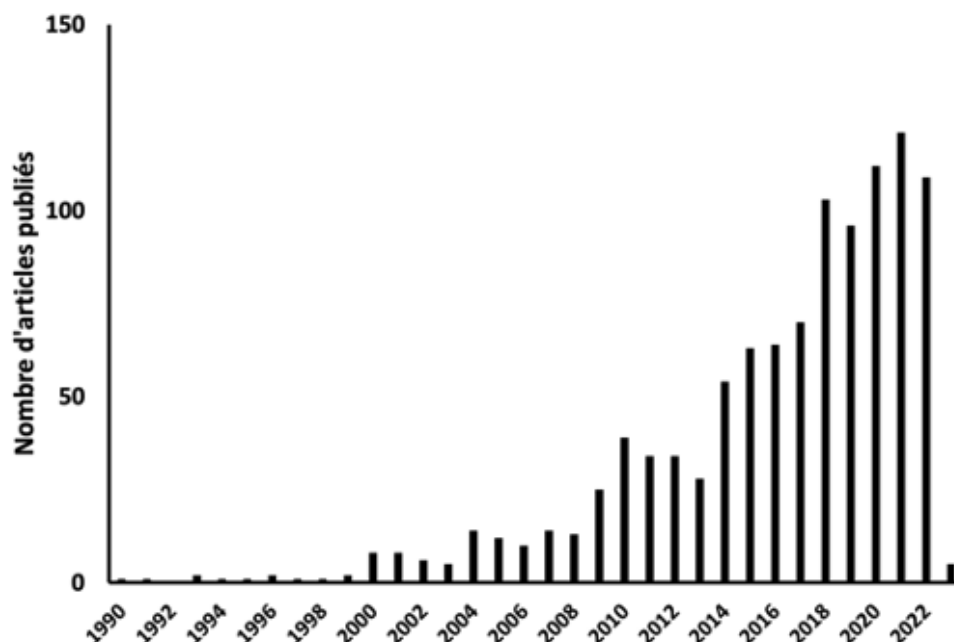


Figure 1. Évolution du nombre de publications sur la planification de l'entraînement. Les termes « training periodization » ont été recherchés sur PubMed.

Pourtant, ce procédé n'est pas récent et on recense des ébauches de planifications de l'entraînement depuis de très nombreuses années, dans la Grèce antique. À cette époque, un système de planification voit le jour nommé tétrade. Philostrate le décrit dans son livre « Gymnasticus » comme l'enchaînement répété de quatre jours d'entraînements, alternant journée difficile et plus légère (Philostrate, 47 av. J.-C.). Il décrit ce modèle comme la période de quatre jours au cours de laquelle différentes activités sportives sont alternées comme le saut

en hauteur, le lancer de disque, la course de vitesse, et la lutte. Chaque jour de la tétrade est réalisé selon une intensité différente. Le premier jour, l'athlète effectue des exercices courts à haute intensité, le deuxième est un entraînement volumineux, avec beaucoup de répétitions, le troisième est moins intensif et volumineux, et le quatrième est réalisé à un rythme intermédiaire (Philostrate, 47 av. J.-C.). L'importance de l'exercice pour la santé et le bien-être est mise en avant depuis de très nombreuses années. Hippocrate (460-370 av. J.-C.) est probablement connu comme étant le premier à préconiser l'exercice modéré pour maintenir et améliorer l'état de santé (Berryman, 1992) (Figure 2). Cette relation entre l'exercice régulier et la santé, telle que préconisée par Hippocrate, a été plus tard acceptée par Platon (429-347 av. J.-C.), Aristote (384-322 av. J.-C.) et d'autres, puis intégrée à la théorie médicale promue par Galien (129-200 apr. J.-C.). Galien croyait que les personnes entraînées avaient une meilleure santé, un plus grand tonus musculaire, et un métabolisme plus rapide (Berryman, 1992).

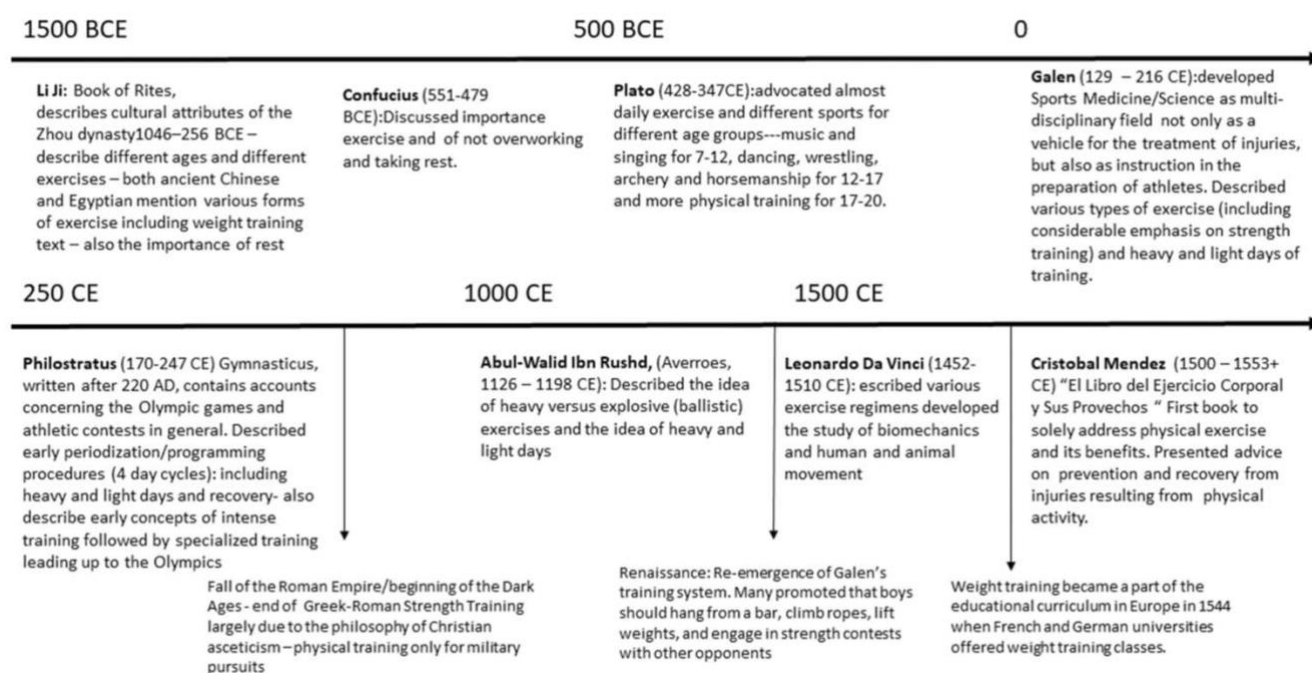


Figure 2. Fresque d'évolution de la planification au cours des temps anciens au moyen-âge. D'après (Stone et al., 2021).

L'un des premiers livres sur l'exercice a été écrit par le médecin espagnol Cristobal Mendez (1500-1561), intitulé « Book of Bodily Exercise » (Mendez, 1553). Il contenait 40 chapitres regroupés selon (1) les avantages de l'exercice, (2) la division des catégories d'exercices, (3) les exercices courants et leur niveau d'importance, et (4) la durée de l'exercice (Ivy, 2007). Nicolas Andry, professeur de médecine à l'Université de Paris, dans son livre « Orthopaedia : or The Art of Correcting and Preventing Deformities in Children », traduit et publié en anglais en 1743, a souligné l'importance de l'exercice modéré et du renforcement musculaire pour améliorer la santé générale et la fonction musculosquelettique (Andry, 1743). Il notait : "De toutes les méthodes propres à préserver la santé, à prévenir et même à guérir un grand nombre de maladies, aucune n'égale l'exercice modéré". Il poursuivait : "L'exercice est beaucoup plus efficace que les médicaments pour la préservation de la santé." (Andry, 1743). Au XIXe siècle, plusieurs nouveaux manuels de médecine comprenaient des chapitres sur les bienfaits de l'exercice pour la santé. De plus, le manque d'exercice était associé à une faiblesse musculaire, à une mauvaise circulation et à un risque de maladie (Combe, 1836). À la fin du XIXe siècle, on commença alors à s'intéresser à la santé personnelle, à l'hygiène, à l'entraînement physique, à l'éducation physique et aux sports (Park, 1992) (Figure 3).

Ce n'est pourtant qu'au XXe siècle que la planification deviendra centrale dans l'entraînement sportif et que l'on dépasse les recommandations d'entraînement modéré. À ce stade, il n'était pas recommandé de s'entraîner de manière intensive plus de huit à dix semaines avant une compétition (Butowskij, 1910; Murphy, 1914). Les entraîneurs avançaient qu'ils ont « tenté de prolonger les durées d'entraînement. Cependant au lieu de devenir plus forts, les athlètes sont en réalité devenus plus faibles » (Butowskij, 1910). Kotov, plus tard rejoint par Grantyn (Grantyn, 1939), fut alors le premier à promouvoir l'idée d'un entraînement continu, allant à l'encontre de la pensée commune d'alors. Il proposa de séparer la saison sportive en trois

phases : générale, préparatoire, spécifique (Kotov, 1916). La phase générale devait permettre de développer le système cardiovasculaire et le renforcement musculaire.

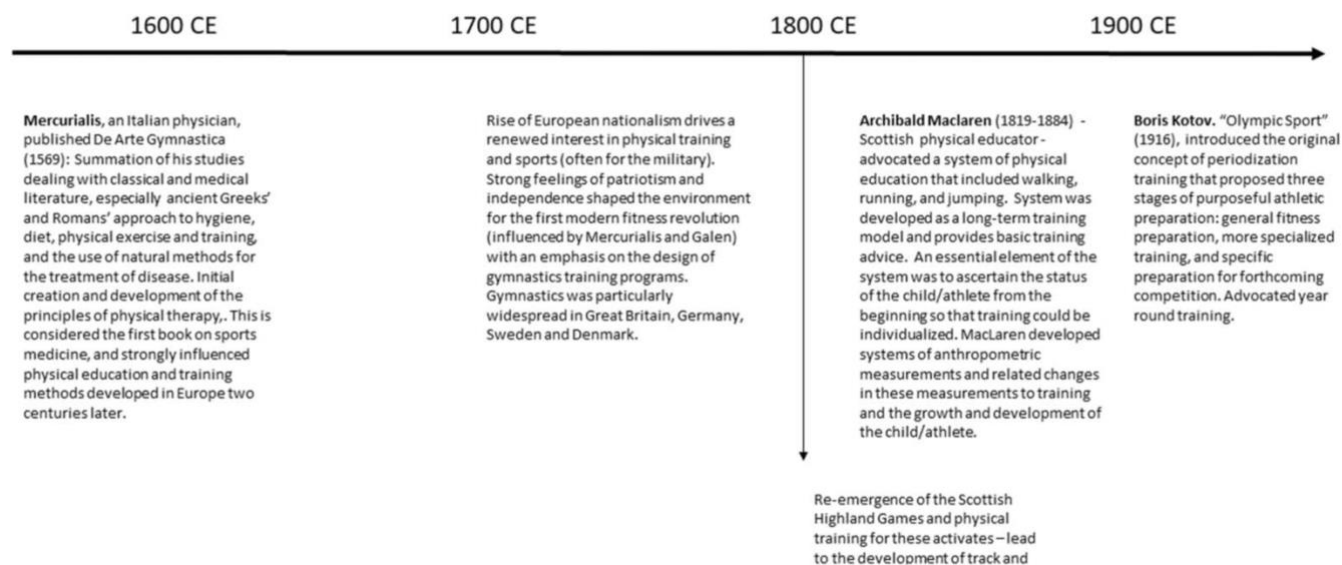


Figure 3. Fresque d'évolution de la planification du moyen-âge aux temps modernes. D'après (Stone et al., 2021).

La phase préparatoire, dont la durée conseillée était comprise entre six et huit semaines, devait mener au développement de la force et de l'endurance au moyen d'exercices différenciés et spécifiques. Enfin, la phase spécifique devait permettre la préparation à la compétition et était divisée en deux parties de quatre semaines chacune minimum. Pihkala développa davantage le modèle de Kotov. Il proposa que le plan d'entraînement devrait évoluer d'un travail extensif (volumineux) à intensif, avec des périodes de repos planifiées pour éviter tout risque de surmenage et de blessures (Pihkala, 1913) (Figure 4).

Plus tard, Matveiev, considéré comme le père de la planification moderne, s'écarta de ces modèles. Il proposa que la planification ne devrait pas s'adapter au calendrier de l'année civile, mais plutôt se construire à partir du niveau compétitif souhaité. Matveiev nota que le niveau sportif est « une unité harmonieuse de toutes les composantes du niveau de forme de l'athlète :

physique, psychique, technique et tactique » (Matveiev, 1981). Les travaux de Matveiev ont alors servi de base à tous les travaux scientifiques sur la planification. Cette théorisation de la planification était basée sur l'idée qu'un individu, pour progresser à long terme, doit recevoir un stimulus d'entraînement optimal, équilibré par une récupération appropriée.

À cet égard, les variations de volume et d'intensité dans la planification serviraient à favoriser l'adaptation permettant l'obtention du niveau sportif compétitif optimal. Cette idée de planification des périodes d'effort et de récupération laissait alors sous-entendre la capacité à prévoir la tolérance d'un athlète au stress de l'entraînement, ainsi que sa capacité de récupération. Cela permettrait alors de prévenir ce que l'on considère aujourd'hui comme le surmenage pouvant mener au surentraînement ou les blessures issues du stress de l'entraînement (Maresh et al., 1994).

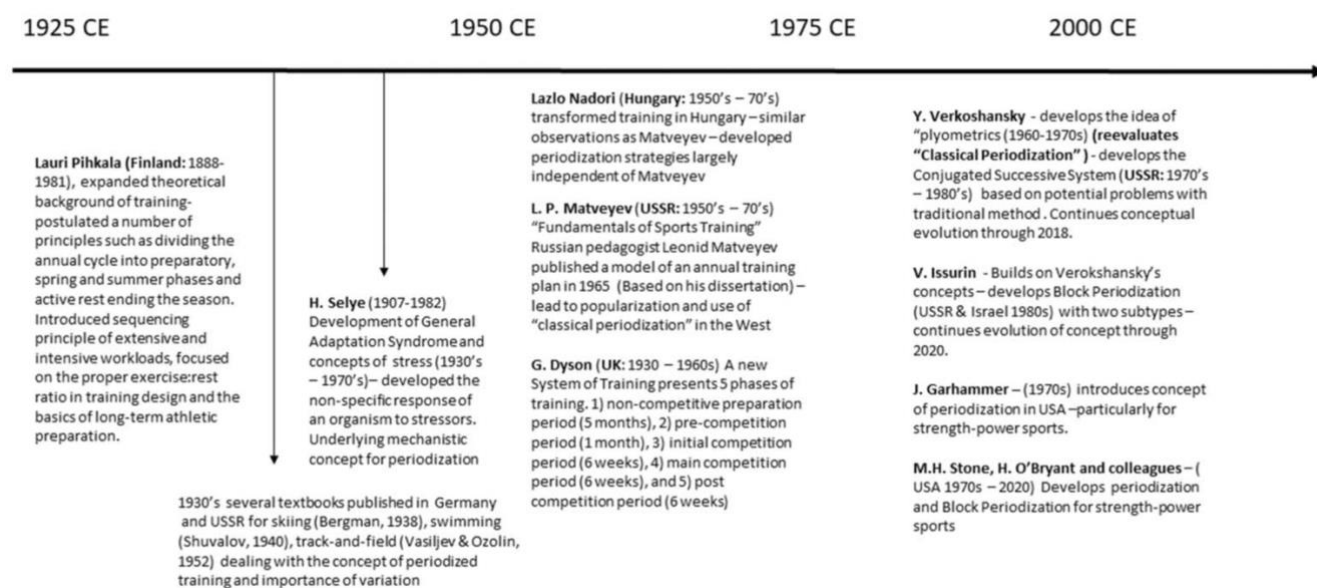


Figure 4. Fresque d'évolution de la planification au cours des temps modernes. D'après (Stone et al., 2021).

Plus récemment, une nouvelle méthodologie de planification a émergée nommée planification tactique, introduite par Vitor Fradé (Tee, Ashford, & Piggott, 2018). Cette planification propre aux sports collectifs repose sur le fait que les éléments techniques, tactiques et physiques

devraient toujours être entraînés conjointement et donc être considérés comme une unité pour gérer la charge de travail des athlètes.

II.1.1.2. Le syndrome général d'adaptation (GAS)

Alors que le domaine de la planification s'imposait dans l'entraînement comme essentiel pour le développement des sportifs, celui-ci manquait de fondements théoriques. Dans un domaine éloigné de l'entraînement sportif, Selye développa un modèle qui permit d'expliquer la réponse d'un organisme biologique face au stress. C'est par le biais de ce qu'il nommera le « general adaptation syndrom » (syndrome général d'adaptation [GAS]) que les différents organes du corps, en particulier les glandes endocrines (qui sécrètent des hormones dans le sang) et le système nerveux, s'adaptent aux demandes constantes de chaque organisme (Selye, 1956). Le GAS est un concept basé sur une série d'études sur des rongeurs testant la réponse au stress à des doses sublétales de différents médicaments (par exemple, morphine, atropine) et stimuli (par exemple, température, exercice) (Selye, 1938). Ces études ont permis de mettre en évidence une réponse identique au stress, quel qu'en soit le type (Figure 5).

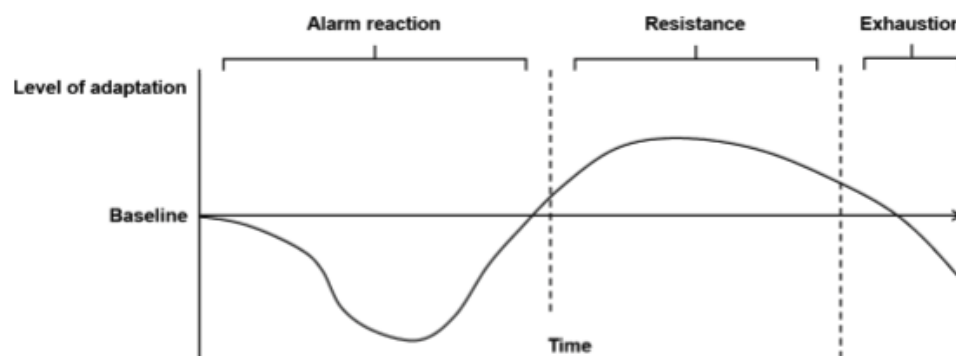


Figure 5. Les trois étapes du stress général d'adaptation (réaction d'alarme, résistance, et épuisement). D'après (Cunanan et al., 2018).

Cette réaction en trois phases (réaction d'alarme, résistance et épuisement), a été définie sur la base des changements hormonaux et tissulaires observés, se produisant pendant un traitement

persistant d'agents nocifs. Selye subdivisa la réaction d'alarme en deux étapes : le choc et le contre-choc. Le choc représente la réponse initiale soudaine de l'organisme aux stimuli auxquels il était exposé. Au cours de l'exercice, les principaux signes sont une augmentation transitoire de la fréquence cardiaque et certaines modifications cellulaires et chimiques dans le sang. Au stade du contre-choc, les changements physiologiques du choc sont généralement inversés et les mécanismes d'adaptation de l'organisme l'emportent sur les mécanismes destructeurs. Dans ces circonstances, l'adaptation désigne un état de l'organisme caractérisé par une résistance accrue au stress grâce à une exposition antérieure à celui-ci (Selye, 1956). En effet, Selye a découvert que l'administration de prétraitements ($\frac{1}{4}$ de la dose alarmante/toxique) de différents agents (adrénaline, atropine, morphine, froid, exercice), suivi d'une dose alarmante complète des mêmes stimuli semblait avoir un effet protecteur contre une dose toxique de cet agent. Ces expériences ont permis de montrer la spécificité de l'adaptation puisque'une pré-dose, en faible quantité, permettait de réduire les réponses néfastes. Aussi, ce travail a mis en avant la limite du pouvoir d'adaptation puisque l'adaptation à un agent via une pré-dose réduit la résistance aux autres agents si le stress se poursuit trop longtemps. C'est le stade de résistance. À ce stade, l'organisme continue de résister à l'agent stressant initial, mais devient plus vulnérable à d'autres stress. La période finale est le stade de l'épuisement où, bien que l'adaptation se soit produite, celle-ci ne peut plus être maintenue. Au cours de ce stade, la résistance à tous les agents stressants a diminué et tout stress supplémentaire précipite une réaction violente de choc prolongé ou la mort.

Selye intégra alors à son modèle les concepts établis de milieu intérieur et d'homéostasie dans le but d'unifier un modèle complet sur la réponse au stress et l'adaptation humaine (Selye, 1951). Il envisagea alors de vastes applications pour le GAS et appela d'autres penseurs à le développer et l'appliquer dans leur domaine (Selye, 1951). Selon lui, le GAS pouvait avoir des applications bénéfiques destinées à induire l'adaptation et à éviter l'épuisement, notamment

lors de l'exercice physique (Selye, 1976). Son application dans l'entraînement physique joua alors un rôle déterminant dans le développement des théories fondatrices de la planification. Brown et Greenwood expliquent que : « La planification a gagné sa popularité et son application à partir d'une théorie physiologique appelée le syndrome général d'adaptation » (Brown & Greenwood, 2005). En 1961, Carlile proposera alors dans une publication d'accepter le modèle de GAS comme « philosophie scientifique de base pour guider l'entraîneur » (Carlile, 1961).

La spécificité de l'adaptation au stress que mis en avant Selye se confirme aujourd'hui pour toutes les adaptations musculosquelettiques, neuromusculaires et métaboliques (Meerson, 1965; Viru, 1984). Par exemple, dans une comparaison de quatre groupes d'entraînement (force, endurance, force et endurance, et contrôle), Putman et al. ont montré que seuls les groupes comportant de l'entraînement de force permettaient une augmentation significative de la taille des fibres rapides (Putman, Xu, Gillies, MacLean, & Bell, 2004). Plus encore, le groupe qui permettait la plus grande amélioration du niveau de force était le groupe s'entraînant uniquement en force (Putman et al., 2004).

Selye montra également que la capacité d'adaptation au stress d'un individu diminue à mesure qu'on le lui applique. En d'autres termes, cela signifie que l'application d'un stress de même nature sur une période prolongée ne permettra pas une adaptation optimisée du système, mais pourrait même mener à une désadaptation. De ce fait il appuya sur la chronologie du GAS et donc de la nécessité d'appliquer des périodes de récupération pour optimiser l'adaptation au stress (Selye, 1937) (Figure 6). En effet, à la suite d'un exercice prolongé épuisant de nature aérobie, les stocks de glycogènes et de lipides mesurés avant l'exercice ne seront recouverts que sept jours après l'exercice au minimum (Staron, Hikida, Murray, Hagerman, & Hagerman, 1989). De ce fait, la répétition d'exercices épuisants dans une période de temps trop courte pour restaurer les stocks de substrats énergétiques mènera à la phase d'épuisement comme décrite

par Selye dans le GAS originel. Dans le domaine sportif, cette dernière phase est remplacée par le surmenage pouvant mener au surentrainement si ces stimuli ne sont pas équilibrés d'une récupération adéquate sur du long terme (Stone, O'Bryant, Garhammer, McMillan, & Rozenek, 1982).

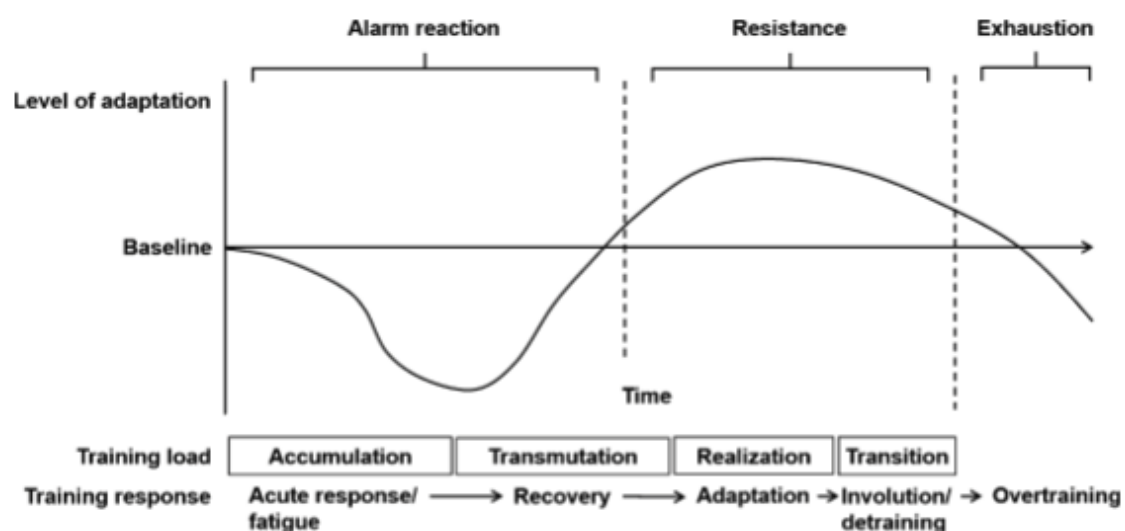


Figure 6. Les trois étapes du stress général d'adaptation (réaction d'alarme, résistance, et épuisement) et leur application dans le domaine sportif. D'après (Cunanan et al., 2018).

De plus, Selye caractérisa le GAS comme l'interaction de multiples facteurs comprenant la nutrition, l'état psychologique et d'autres facteurs de stress (Selye, 1938). Selye nota que l'adaptation, comme décrite par le GAS, ne se produit qu'à condition que « l'organisme soit exposé à un stimulus auquel il n'est pas adapté » (Selye, 1938). Les modèles de GAS et de planification se rejoignent alors sur l'observation qu'un stress trop important, avec une période de récupération insuffisante, mèneront à une diminution des adaptations à ce stress (Cunanan et al., 2018) (Figure 7b). Dans le cas contraire, un stress trop faible, couplé d'une récupération trop importante, mèneront à une désadaptation du système au stress (Figure 7c). Seul le couplage d'un niveau de stress et d'une récupération optimale permettra une adaptation du système, et une progression (Figure 7a) (Foster, 1998; Schweltnus et al., 2016; Soligard et al., 2016).

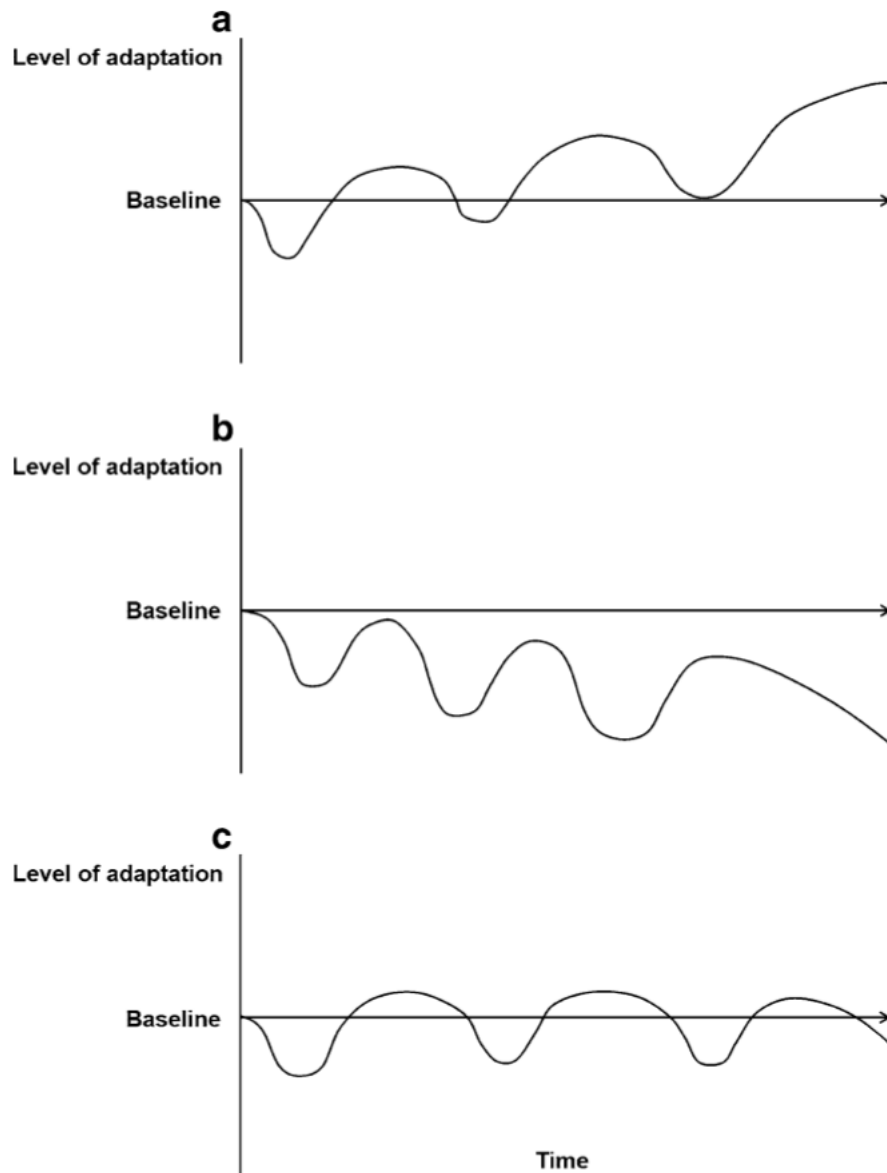


Figure 7. a : charge de travail optimal résultant en une amélioration continue au fil du temps ; b : charge de travail trop fréquente ou trop élevée ne permettant pas une récupération suffisante, et menant donc à une maladaptation, un surmenage voir un surentrainement ; c : charge de travail pas assez fréquente ou trop légère entraînant une stagnation voir un désentraînement. D'après (Cunanan et al., 2018).

II.1.1.3. Le modèle Fitness-Fatigue

Plus tard, un autre modèle expliquant la relation entre stimulus et adaptation a été proposé. Le modèle fitness-fatigue a été introduit en 1982 par Bannister (Banister, 1991). Ce modèle soutient que l'entraînement engendre des réponses physiologiques différentes selon les

caractéristiques du stimulus. Ces réponses sont doubles et peuvent influencer positivement ou négativement les performances : la condition physique (fitness) et la fatigue. La condition physique se définit comme l'état général de l'organisme d'un sujet, déterminant le niveau de ses performances physiques potentielles. D'après le modèle de Banister, l'entraînement suggère des adaptations positives permettant l'amélioration de la condition physique. Cependant l'entraînement suggère également des réponses négatives qui s'expriment sous le terme de fatigue. La fatigue se définit alors comme la difficulté, voire l'incapacité à maintenir un effort, une performance. L'interaction entre ces deux réponses adaptatives entraîne un changement dans les performances après le stimulus (Banister, 1991) (Figure 8). Ce modèle de fitness-fatigue ne représente pas une alternative au modèle présenté par Selye, mais caractérise plus précisément la relation entre stimulus et adaptation dans l'entraînement sportif. En effet, le changement de performance qui en résulte, tel que décrit dans ce modèle, est similaire au GAS (Cunanan et al., 2018).

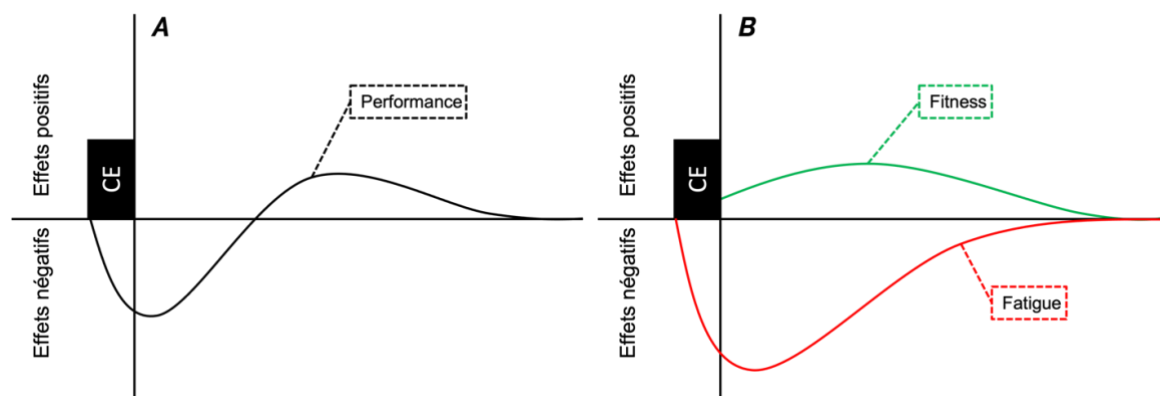


Figure 8. Le modèle fitness-fatigue. A : évolution de la performance dans le temps. B : évolution des paramètres de condition physique et fatigue dans le temps. Chaque paramètre de la relation fitness-fatigue a ses propres effets sur la performance. CE : charge de travail. Redessiné d'après (Chiu & Barnes, 2003).

La distinction entre les réponses adaptatives de la condition physique et de la fatigue est cependant importante pour le développement des théories sous-jacentes à la construction des planifications d'entraînement. Tel que décrit dans le modèle de Banister, la réponse de la fatigue

est de grande ampleur et de courte durée. Elle se décrit par une incapacité transitoire à rééditer une performance auparavant réalisée (semblable au stade d'alarme de Selye). La réponse adaptative de la condition physique est quant à elle de faible intensité, mais d'une longue durée. Elle se traduit par une amélioration à long terme des performances (semblable au stade de résistance de Selye). Cette différence d'ampleur et de durée des réponses, favorisant la condition physique à long terme assure l'adaptation positive à l'entraînement.

La littérature semble confirmer, comme le prédit le modèle de Banister, que la réponse serait dépendante du stimulus, au contraire du modèle de Selye qui n'induit qu'une réponse unifiée (Cunanan et al., 2018). En effet, les bases initiales du GAS sont les réponses endocriniennes au stress (Selye, 1956; Zatsiorsky, 2006). Ces réponses endocriniennes, cependant, ne sont pas les mêmes pour tous les régimes d'exercice. Un entraînement à volume élevé mènerait à une diminution aiguë de la testostérone circulante, tandis qu'un entraînement à intensité élevée mènerait à une augmentation aiguë de la testostérone circulante (Kraemer et al., 1993, 1991, 1990). Un exercice de volume élevé et d'intensité modérée augmenterait l'hormone de croissance, mais un entraînement à faible volume et d'intensité très élevée ne provoquerait aucune réponse de l'hormone de croissance (Kraemer et al., 1991, 1990). Par conséquent, une brève diminution de la performance pourrait se produire indépendamment de l'augmentation ou de la diminution des hormones circulantes (Häkkinen & Pakarinen, 1991; Häkkinen, Pakarinen, Alén, Kauhanen, & Komi, 1988). L'ampleur et la durée des effets secondaires dépendraient donc du stimulus. Banister proposa donc un indicateur du travail total réalisé, le « training impulse » (le produit de la fréquence cardiaque (ou intensité de l'exercice) et de la durée de l'exercice), dont l'équivalent en musculation serait le tonnage (la quantité de poids soulevée au cours d'une séance) (Stone, O'Brayant, & Garhammer, 1981), comme seule variable de quantification des stimuli d'entraînement (Banister, 1991).

Ces indicateurs laissent sous-entendre que le travail total réalisé par l'athlète serait la base de l'adaptation humaine à l'entraînement (Chiu & Barnes, 2003). Cependant, il a été démontré que la réalisation d'exercices à charge/intensité élevée (pourcentage de répétition maximale), avec un volume réduit (tonnage) pourrait également provoquer des adaptations significatives (Fry, Kraemer, Lynch, Triplett, & Koziris, 1994). Ainsi, pour une seule séance d'exercice, la charge absolue, l'intensité de l'entraînement et le travail total sont responsables de l'ampleur et de la durée des réponses adaptatives de la condition physique et de la fatigue (Häkkinen et al., 1988; Linnanio, Häkkinen, & Komi, 1998). Ces résultats illustrent les impacts différents de la théorie GAS et de la théorie fitness-fatigue. Selon la théorie GAS, le travail total seul, quelle que soit l'intensité du stress, est responsable des réponses adaptatives. Dans le modèle fitness-fatigue, la quantité et l'intensité du stimulus contribuent toutes deux à la réponse adaptative post-exercice. Cette distinction peut démontrer la complexité du modèle fitness-fatigue.

Bien que les réponses adaptatives soient indépendantes les unes des autres en fonction de la nature du stimulus, elles ont un effet cumulatif, que ce soit pour la condition physique, ou la fatigue. L'addition des réponses adaptatives de la fatigue représente un sujet très important pour la prescription de l'entraînement. Lorsque les réponses adaptatives négatives de la fatigue sont faibles et brèves, l'effet cumulatif est faible. Cependant, des périodes d'entraînement condensées sans récupération suffisante mènent à une accumulation de la fatigue et une augmentation de l'effet cumulatif de celle-ci (Chiu & Barnes, 2003). Il est important de considérer que les réponses adaptatives de la condition physique et de la fatigue sont dépendantes de l'état de forme de l'athlète. Si l'entraînement a lieu alors que des signes de fatigue persistent, des séquelles supplémentaires se superposeront aux séquelles existantes, exacerbant les maladaptations (Banister, 1991). Au fil du temps, l'addition persistante des réponses adaptatives négatives de la fatigue pourraient mener au surmenage, entraînant une diminution des capacités globales d'adaptation de l'athlète. Fry et al. ont constaté qu'après 3 semaines d'entraînement en

musculature à haute intensité (proche du 1RM), avec une augmentation du nombre d'entraînements, le niveau de force ne changeait pas. Cependant les performances de sprint diminuaient après l'entraînement, avec une augmentation de 10 % du temps de course sur 9,1 mètres (Fry, Webber, Weiss, Fry, & Li, 2000) (Figure 9).

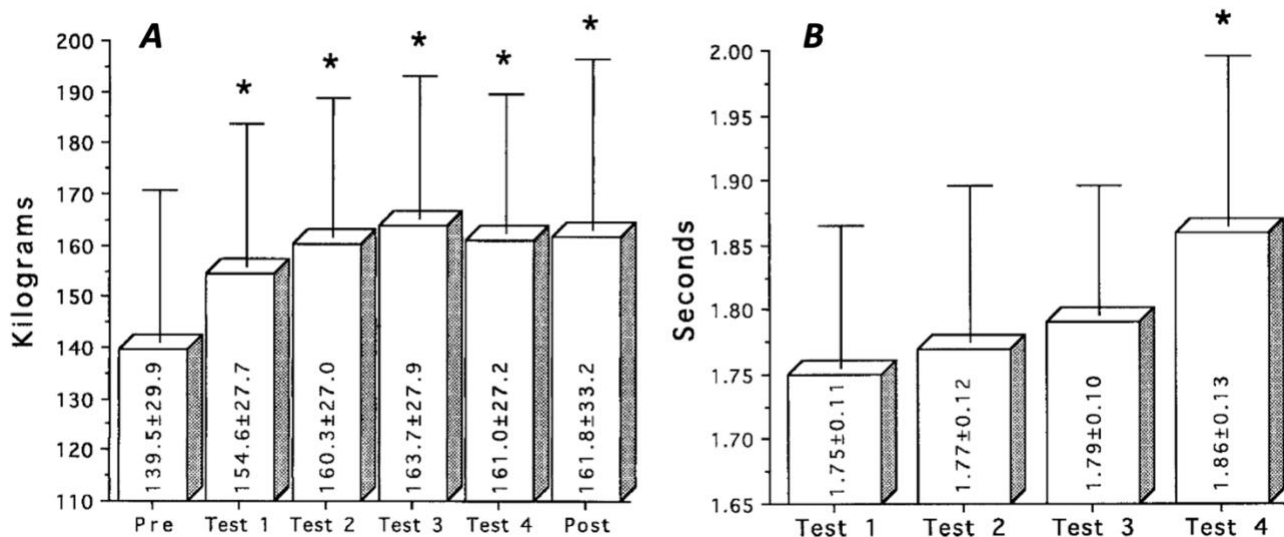


Figure 9. A : performance sur 1RM en back-squat avant, pendant, et après les 3 semaines d'entraînement à haute intensité. B : performance en sprint sur 9,1m pendant les 3 semaines d'entraînement à haute intensité. Une charge de travail condensée sur une qualité peut avoir des effets négatifs sur d'autres du fait du surmenage. D'après (Fry et al., 2000).

Cela signifie alors que lorsque les athlètes doivent entraîner de multiples qualités, la planification des entraînements doit être pensée en fonction des effets des réponses adaptatives que les entraînements passés auront sur les prochains. Il a été proposé que lors de l'entraînement simultané de plusieurs qualités de force, la planification des efforts au cours de la semaine devrait se faire selon les réponses adaptatives de condition physique et de fatigue des diverses intensités de travail afin de ne pas impacter négativement les entraînements suivants. La classification de Zatsiorsky (Zatsiorsky, 2006) des efforts principaux en musculation comporte trois intensités de travail : efforts maximaux (environ 90% de 1RM), efforts répétés (environ 80% de 1RM), et efforts dynamiques (environ 70% de 1RM). Il a été proposé que les séances

d'efforts répétés soient proposées en début de semaine, suivies par les séances d'efforts maximaux, et enfin dynamiques (Chiu & Barnes, 2003; Fry & Kraemer, 1997). Cela s'explique par le fait que les efforts répétés sembleraient provoquer des réponses adaptatives sur la condition physique et la fatigue de grande ampleur mais sur une durée réduite (Hakkinen & Myllyla, 1990; Linnanio et al., 1998). Les efforts maximaux auraient une réponse adaptative plus faible sur la condition physique et la fatigue que les efforts répétés mais avec une durée supérieure (Hakkinen & Myllyla, 1990; Linnanio et al., 1998). Les efforts dynamiques auraient quant à eux la réponse adaptative la plus faible sur la condition physique et la fatigue, mais avec la durée la plus longue (Häkkinen et al., 2003).

Sans la connaissance de ces réponses adaptatives liées à la condition physique et à la fatigue, le risque de surmenage que pourrait provoquer une mauvaise planification des efforts n'est pas négligeable. De ce fait la quantification des charges d'entraînement et de la réponse des athlètes à celles-ci est primordiale pour assurer une prescription cohérente de l'entraînement.

À retenir :

- L'entraînement sportif repose sur une théorie de l'adaptation au stress, le syndrome d'adaptation général.
- Cette théorie, appliquée au domaine sportif, a donné lieu au modèle fitness-fatigue, expliquant la réponse à l'entraînement comme l'interaction entre les facteurs de condition physique et de fatigue.
- L'adaptation à long terme est possible du fait des différences de temporalité entre ces deux facteurs. Le facteur de fatigue laisse rapidement place au facteur de condition physique permettant l'amélioration des performances.
- Ces modèles permettent de comprendre que la mise en place d'une récupération adéquate à la suite de l'application d'un stress, est nécessaire pour inverser les effets néfastes de l'entraînement et optimiser les adaptations positives.

II.1.2. Les paramètres d'entraînement, leur quantification, et leur impact sur la performance

II.1.2.1. Charge de travail – définitions

Le terme charge a été défini par Soligard et al. comme « charge sportive et non sportive (stresseurs physiologiques, psychologiques ou mécaniques uniques ou multiples) en tant que stimulus appliqué à un système biologique humain (y compris des éléments subcellulaires, une cellule unique, des tissus, un ou plusieurs systèmes d'organes ou individuel). La charge peut être appliquée à chaque système biologique humain sur différentes périodes (secondes, minutes, heures à jours, semaines, mois et années) et d'ampleur variable (durée, fréquence et intensité) » (Soligard et al., 2016).

Cette définition comprend donc deux aspects fondamentaux de la charge de travail : la charge externe, et la charge interne. Bien que relativement récents, ces concepts sont aujourd'hui courant dans le domaine des sciences du sport (Impellizzeri, Marcora, & Coutts, 2019; Impellizzeri, Rampinini, & Marcora, 2005). Traditionnellement, la charge externe représente la base de la plupart des systèmes de suivi de la charge de travail. La charge externe est définie comme la charge de travail effectuée par l'athlète à l'entraînement ou en compétition, mesurée indépendamment de ses réponses à celle-ci (Lee K Wallace, Slattery, & Coutts, 2009). Ses mesures courantes peuvent comprendre des mesures de volume (par exemple, le temps d'effort, le nombre de répétitions, la distance parcourue, le nombre d'accélération, le nombre de sprints, le tonnage, ...) et des mesures d'intensité (par exemple, la puissance produite, la vitesse, le pourcentage de répétition maximale, ...) (Bourdon et al., 2017; Soligard et al., 2016) (Tableau 1). Ces variables sont manipulées conjointement à la fréquence (par exemple, le nombre d'entraînements dans la semaine), et permettent à elles trois de prescrire l'entraînement.

Toute charge externe entraîne alors une charge interne, c'est-à-dire, des réponses physiologiques et psychologiques de manière individuelle, à la suite d'une interaction avec plusieurs autres facteurs biologiques et environnementaux et de leurs variations (Impellizzeri

et al., 2005). Des mesures telles que la fréquence cardiaque, le lactate sanguin, la consommation d'oxygène et l'évaluation de l'effort perçu (RPE) sont couramment utilisées pour évaluer la charge interne (Bourdon et al., 2017) (Tableau 1).

Les développements récents de micro technologies plus sophistiquées (par exemple, les systèmes de positionnement global [GPS], les capteurs de fréquence cardiaque, les accéléromètres), permettent d'obtenir des informations de plus en plus détaillées sur la charge de travail des athlètes et leur réponse (Cardinale & Varley, 2017).

Tableau 1. Mesures de charge externe et interne

	Méthode	Définition	Variable
Charge externe	Temps	Fait référence à la durée pendant laquelle un athlète pratique une activité (un entraînement, un exercice)	Unité de temps (s, min, h, jour, semaine, année)
	Fréquence d'entraînement	Nombre d'entraînement au cours d'une période de temps	Quantité de séances
	Type d'entraînement ou compétition	Fait référence à la méthode ou à l'approche spécifique utilisée pour l'entraînement physique dans le but d'améliorer une ou plusieurs qualités	Musculation, course à pied, séance spécifique
	Analyse de mouvement (GPS)	Utilisation de la technologie de positionnement afin de décrire les mouvements des athlètes	Vitesse, distance, accélération, temps dans des zones de vitesse, localisation
	Vitesse	Mesure la distance parcourue par un objet ou un athlète en un temps donné. Elle est définie comme la variation de la position de l'objet ou de l'athlète par rapport au temps.	Mesures de vitesse ($m.s^{-1}$, $m.min^{-1}$, $km.h^{-1}$)
	Mouvements (sauts, ...)	Fait référence à la mesure et à l'analyse du nombre de mouvements du corps humain pendant une période donnée	Nombre de répétitions
	Distance	Définie comme la longueur du trajet suivi pour aller d'un point à un autre. Mesure quantitative de la distance totale qu'un athlète a parcouru pendant une séance d'entraînement, un match ou une compétition.	Unité de distance (m, km)
	Puissance métabolique	Mesure de la quantité d'énergie que le corps humain utilise pour maintenir les fonctions corporelles de base, ainsi que pour effectuer des activités physiques.	Energie (W ou kcal/min)
	Accélérométrie	Mesure de l'accélération d'un objet dans l'espace. Elle consiste à mesurer les changements de vitesse dans les trois axes de l'espace (x, y, z) à l'aide d'un accéléromètre, un capteur qui convertit les mouvements en signaux électriques.	x-y-z g force
	Player load	Calculé en prenant en compte plusieurs paramètres, tels que le nombre de pas effectués, la distance parcourue, la vitesse, l'accélération des mouvements, les impacts. Cette mesure permet de quantifier la charge physique totale subie par l'athlète	Mesurée en u.a.

Charge interne	RPE	Méthode subjective de mesure de l'intensité de l'effort perçu par un individu pendant une activité physique. Elle est basée sur une échelle numérique où le minimum représente un effort très léger et le maximum représente un effort maximal.	Note en u.a. sur une échelle
	Session RPE	Méthode d'évaluation subjective de la charge de travail perçue par un athlète pendant une séance d'entraînement. (RPE multipliée par la durée de séance en min)	Mesurée en u.a.
	TRIMP	Méthode de quantification de la charge de travail en prenant en compte à la fois l'intensité et la durée de l'effort. Elle est basée sur l'hypothèse que la charge de travail totale peut être estimée en multipliant l'intensité de l'exercice par sa durée.	TRIMP = (Durée de l'exercice en minutes) x (FC moyenne – FC repos) x (facteur de pondération)
	Indices de FC	Mesure de la vitesse à laquelle le cœur bat, exprimée en nombre de battements par minute (BPM). Elle est régulée par le système nerveux autonome, qui contrôle l'activité du cœur en réponse aux besoins en oxygène et en nutriments du corps.	Comprend la FC de repos, de réserve, maximale, la FC maximale, la variabilité de FC. Quantification du temps passé dans les zones, de pourcentage de Fcmax, battements par minute.
	Consommation d'O ₂	Mesure de la quantité d'oxygène que l'organisme utilise pour produire de l'énergie pendant un effort physique. Il s'agit de la quantité d'oxygène qui est consommée par les muscles pendant l'exercice, exprimée en millilitres par minute et par kilogramme de poids corporel.	% de $\dot{V}O_2$ max
	Marqueurs sanguins	Molécules présentes dans le sang qui peuvent être utilisées pour évaluer la condition physique d'un athlète	Concentrations
	Questionnaire subjectifs	Outils d'évaluation de l'état de forme physique, psychologique et émotionnel d'un individu, basés sur des réponses subjectives données par l'individu lui-même	Score total

GPS : global positioning system ; RPE : rate of perceived exertion ; TRIMP : Training impulse ; FC : fréquence cardiaque ; u.a. : unité arbitraire.
D'après (Bourdon et al., 2017; Soligard et al., 2016)

II.1.2.2. Interaction charge externe – charge interne

L'influence de la charge externe sur la charge interne a reçu une attention particulière dans la littérature scientifique (Bourdon et al., 2017; Soligard et al., 2016). Toutes ces études montrent que pour une charge externe donnée, la charge interne peut varier de manière inter-individuelle, mais également de manière intra-individuelle (Halson, 2014). Des athlètes qui répètent exactement la même séance à des jours différents peuvent maintenir la même puissance pendant la même durée (c'est-à-dire la même charge externe) mais subir des charges internes très différentes (fréquence cardiaque, lactate sanguin, RPE, etc.) en fonction de leur état de fatigue, état psychologique, de leur historique d'entraînement récent (Halson, 2014). Ces changements dans la charge interne peuvent être influencés par de nombreux facteurs comme ceux mentionnés précédemment (fatigue, état psychologique, historique d'entraînement récent), mais aussi des conditions climatiques (température, vent) qui affectent la réponse psychophysologique à l'exercice. De ce fait, le processus d'entraînement est ajusté selon l'interaction entre charge externe et interne (Figure 10).

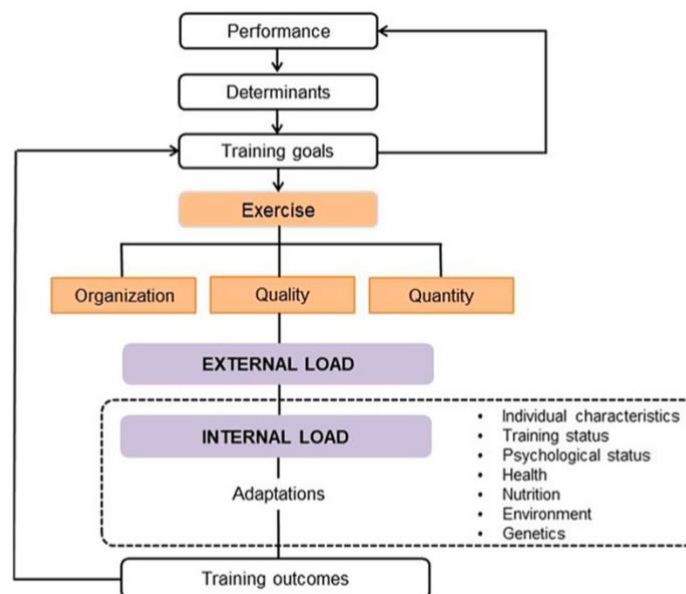


Figure 10. Cadre théorique du processus d'entraînement ajusté par la quantification des charges d'entraînement externes et internes. Les objectifs d'entraînement sont ajustés selon les réponses de l'athlète, connues grâce au suivi de la charge interne en fonction de la charge externe. D'après (Impellizzeri et al., 2019).

En outre, d'un point de vue conceptuel, l'intégration des mesures de charge interne et externe pour le suivi de l'entraînement présente des avantages supplémentaires. Par exemple, la combinaison entre la charge interne et externe peut être utilisée pour identifier la condition physique dans laquelle se trouve l'athlète. Plus précisément, les athlètes qui présentent une charge interne plus faible par rapport à une charge externe standardisée (effectuée dans des conditions similaires), suppose une meilleure forme physique. En revanche, lorsque la charge interne augmente dans cette situation standardisée, l'athlète présenterait des signes de fatigue (Akubat, Patel, Barrett, & Abt, 2012; Kempton, Sirotic, & Coutts, 2015). Le suivi de la charge de travail (donc de la charge externe et de la charge interne) facilite alors la compréhension des réponses individuelles à l'entraînement, pour évaluer la fatigue et le besoin de récupération qui en découle, ainsi que pour minimiser le risque de surmenage, de blessure et de maladie (Bourdon et al., 2017).

II.1.2.3. Relation dose-réponse

Au niveau biologique, l'entraînement physique peut être interprété comme un stimulus qui provoque une perturbation de l'homéostasie (Figure 11). L'homéostasie est un processus physiologique qui permet au corps de maintenir un environnement interne stable et équilibré malgré les variations de l'environnement externe. Cela implique la régulation des variables physiologiques (par exemple, la température corporelle, le pH sanguin, la pression artérielle, la glycémie, l'équilibre hydrique, ...) à des niveaux optimaux pour le fonctionnement du corps. Les systèmes de régulation de l'homéostasie sont principalement sous le contrôle du système

nerveux autonome et des hormones produites par le système endocrinien. La perturbation de l'homéostasie liée à l'entraînement physique est rétablie pendant la phase de récupération après la séance d'entraînement, comme évoqué dans le modèle GAS de Selye (Borresen & Ian Lambert, 2009; Selye, 1956). Cette phase de récupération peut notamment permettre de favoriser la réponse anabolisante. L'anabolisme est le processus par lequel le corps synthétise des protéines pour réparer et développer les fibres musculaires. Ce processus est également responsable de la régénération du glycogène musculaire, qui est la principale source d'énergie musculaire lors de l'exercice (Bergström & Hultman, 1967). On trouve alors une augmentation des hormones liées à la signalisation anabolique dès la fin d'une séance d'entraînement (Kraemer, Ratamess, & Nindl, 2017). Ce processus s'oppose alors au catabolisme qui est le processus de dégradation des molécules complexes en molécules plus simples, avec libération d'énergie, permettant la contraction musculaire, la production d'enzymes, la régulation de la température corporelle, etc.

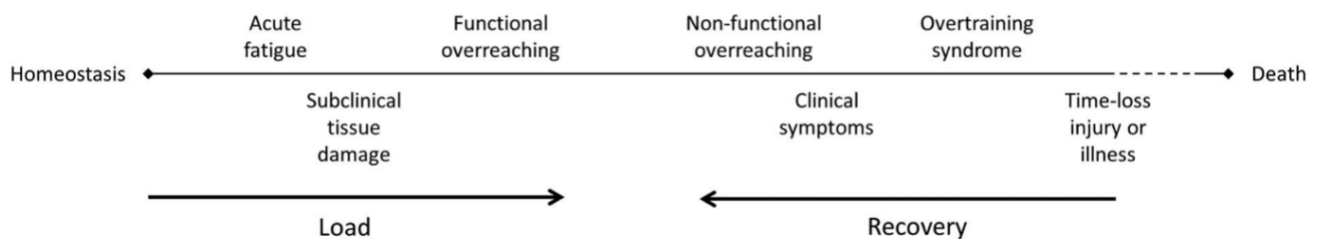


Figure 11. Rôle de la charge de travail et de la récupération sur les perturbations homéostatiques. La récupération permet de contrer les effets néfastes liés à l'application de charges d'entraînement. D'après (Soligard et al., 2016).

Pour produire des adaptations optimales, la charge de travail et la récupération doivent être équilibrées (Figure 12A). Cela permet alors que les systèmes physiologiques de l'athlète soient suffisamment stimulés pour s'adapter et que la récupération ne soit pas entravée (Kuipers & Keizer, 1988; Uusitalo, 2001). Au contraire, une charge de travail, suivie d'une récupération

trop faible, mènera à une maladaptation (surmenage) pouvant mener au surentraînement (Figure 12B).

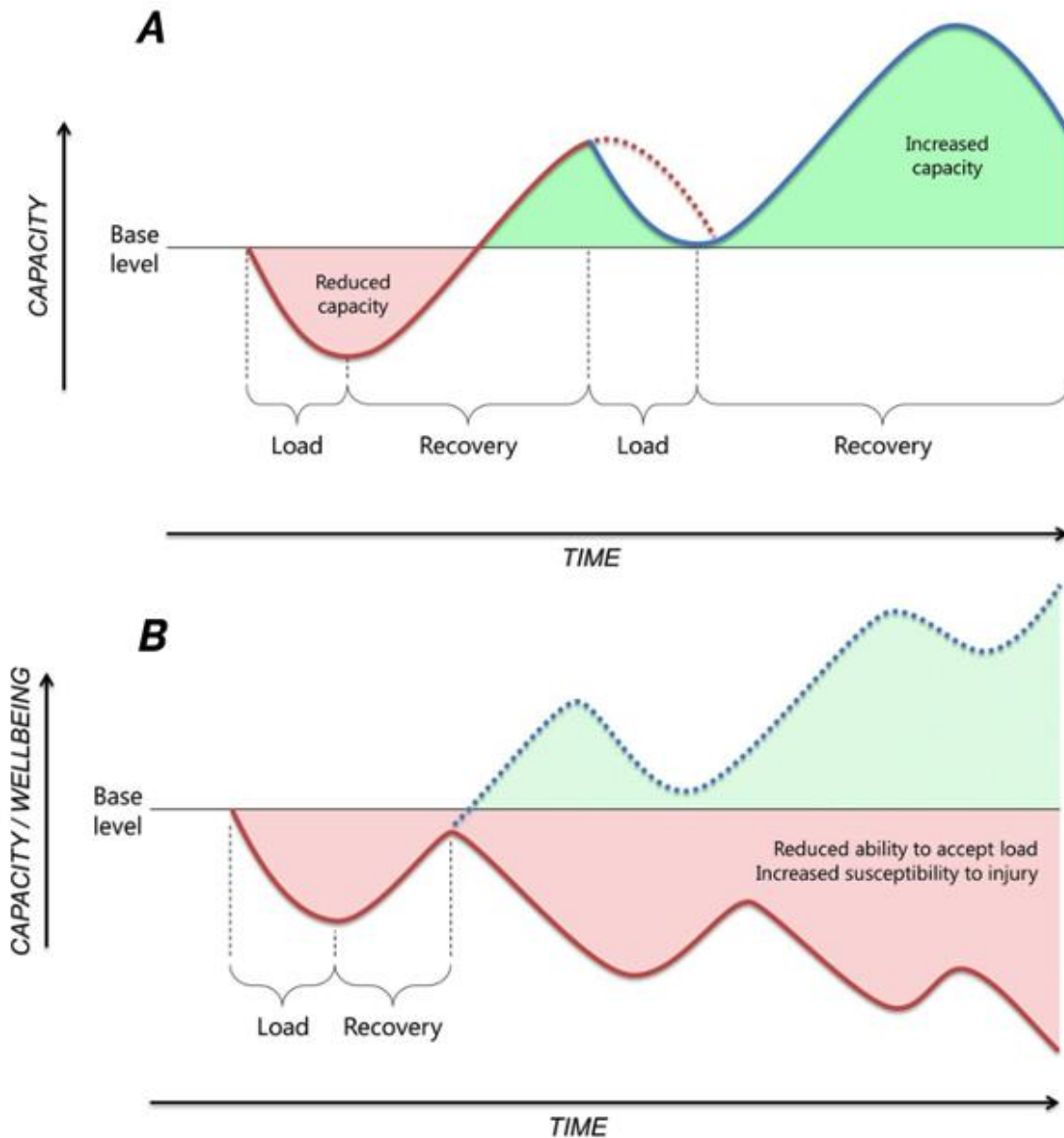


Figure 12. Impact d'une interaction A : équilibrée entre charge de travail et récupération menant à des adaptations positives ; B : non-équilibrée entre charge de travail et récupération menant à une maladaptation. L'application d'une récupération suffisante permet l'adaptation aux charges d'entraînement et donc la progression de l'athlète. Dans le cas contraire, on observera des maladaptations menant à une réduction de la tolérance au stress, et une augmentation du risque de blessure. D'après (Soligard et al., 2016).

La littérature scientifique a permis de mettre en évidence un effet dose-réponse entre charge de travail et adaptation. Cet effet est alors dépendant de la qualité physique, mais également de la population. En effet, concernant l'entraînement de force, il a été démontré qu'il existait une relation entre charge de travail (intensité et volume) et adaptation selon le niveau d'expérience des athlètes (Rhea, Alvar, Burkett, & Ball, 2003). Concernant l'intensité, il a été démontré qu'une intensité de 60% du 1RM permettait d'optimiser les gains de force chez des débutants. Pour une population plus entraînée, la zone optimale de développement de la force se situait aux environs de 80% du 1RM (Figure 13). Ces écarts pourraient être expliqués par la difficulté de recrutement des unités motrices chez des sujets non-entraînés qui a déjà été montré notamment en excentrique (Amiridis & et al., 1996). En ce qui concerne le volume d'entraînement, les populations non entraînées sont plus sensibles aux augmentations de volume que les populations entraînées (Figure 13).

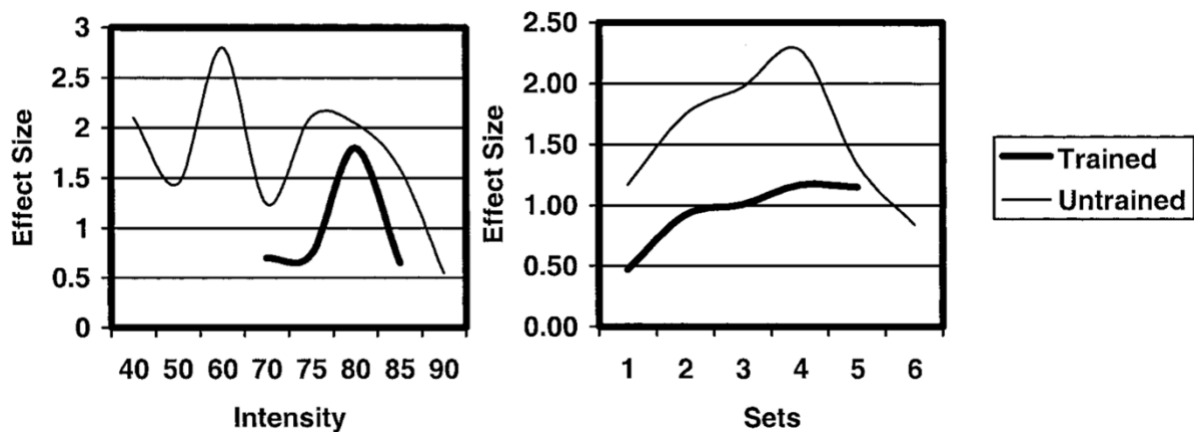


Figure 13. Relation dose-réponse pour l'intensité et le volume d'entraînement en force. Les intensités et les volumes permettant les gains optimaux sont dépendants du niveau d'entraînement de la population. D'après (Rhea, Alvar, et al., 2003).

La revue de littérature de Rhea et al. examinant les tailles d'effet pour chaque série de travail (volume d'entraînement), révèle que les individus non entraînés connaissent un gain de force plus important à tous les volumes que les individus entraînés (Rhea, Alvar, et al., 2003). Les athlètes entraînés devraient effectuer quatre séries pour obtenir des gains de force aussi importants que ceux obtenus par les personnes non entraînées avec une seule série. Ceci est le résultat d'un potentiel accru d'amélioration de la force chez les personnes non entraînées ou moins entraînées par rapport à celles qui se sont entraînées pendant une longue période et qui peuvent s'approcher d'une limite génétique dans le développement global de la force (Rhea, Alvar, et al., 2003). Cela représente également la nécessité de progression vers des volumes d'entraînement plus élevés à mesure que l'expérience d'entraînement augmente.

Il semble toutefois nécessaire de mentionner que les athlètes non entraînés voient leur performance décroître considérablement au-delà d'un certain volume d'entraînement (Figure 13). Toutefois d'autres études montrent que la relation dose-réponse est moins évidente chez des athlètes élites que chez des athlètes débutants. En effet, bien qu'un volume minimal soit requis pour poursuivre les adaptations chez les athlètes élites, l'augmentation de ce volume ne serait pas pour autant corrélé à une optimisation des gains (Peterson, Rhea, & Alvar, 2004). Concernant la qualité aérobie, pour les sportifs débutants, il semblerait que la relation dose-réponse soit en forme de « U » ou « U-inversé » selon les variables (Figure 14C, D, E, F). Cela signifie que réaliser une charge de travail aussi bien faible qu'élevée produirait des gains significativement inférieurs à une charge modérée (Iwasaki, Zhang, Zuckerman, & Levine, 2003).

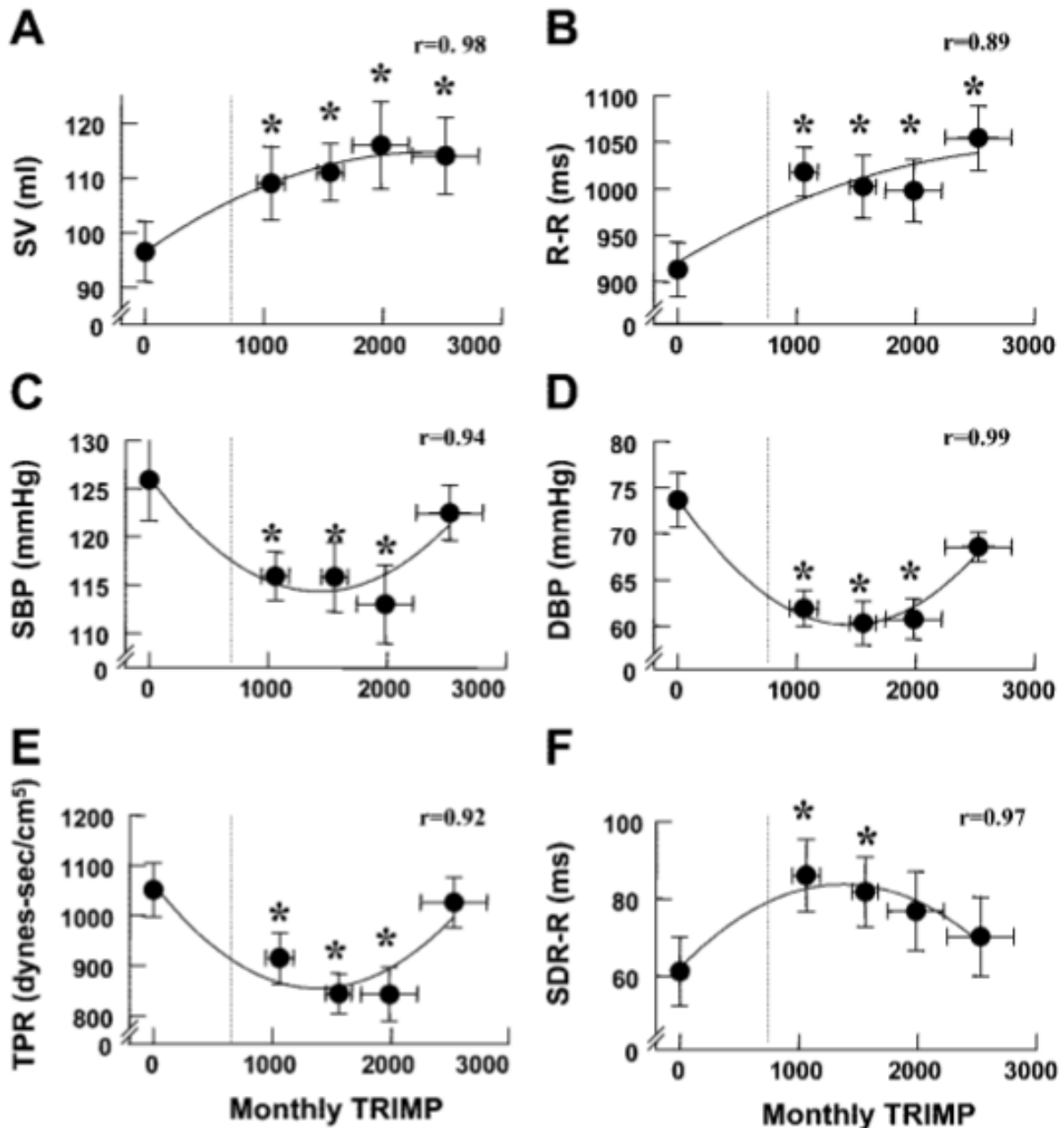


Figure 14. Relation dose-réponse entre la charge de travail (TRIMP mensuel) et les indices cardiovasculaires statiques. SV : volume systolique (A) ; Interval R-R (B) ; SBP : pression sanguine systolique (C) ; DBP : pression sanguine diastolique (D); TPR : résistance périphérique totale (E) ; SDR-R : déviation standard des intervalles R-R (F). *P < 0,05 par rapport à la ligne de base avant l'entraînement. Les graphiques C, D, E, F démontrent une relation en « U » ou « U inversé » avec les charges de travail. D'après (Iwasaki et al., 2003).

Pour les athlètes entraînés, une étude récente a mis en avant la nécessité d'atteindre une fréquence minimale de 2 à 3 séances d'entraînement par intervalle par semaine, à une intensité

de travail de 100% de $\dot{V}O_2\text{max}$ pour produire des adaptations significatives de consommation maximales d'oxygène (Parmar, Jones, & Hayes, 2021). De plus, une augmentation de la charge interne a montré une relation linéaire sur l'amélioration du $\dot{V}O_2\text{max}$ chez des jeunes footballeurs élités (Ellis et al., 2021). Toutefois, la relation dose-réponse chez les sportifs élités reste difficilement mesurable et doit encore être explorée. Quel que soit le type d'entraînement, aérobie ou neuromusculaire, ces différences dans la relation dose-réponse entre des individus non entraînés, et entraînés s'expliquent par ce qui a été décrit comme les zones de stimulation de Platonov (Platonov, 1988) (Figure 15). Les études mentionnées précédemment confirment cette théorie. En effet, les débutants montrent une progression rapide, et ce sur une variété importante de stimuli. Cependant, pour les athlètes confirmés, ou élités, une intensité et un volume minimal, sont nécessaires pour produire des adaptations (Parmar et al., 2021; Rhea, Alvar, et al., 2003).

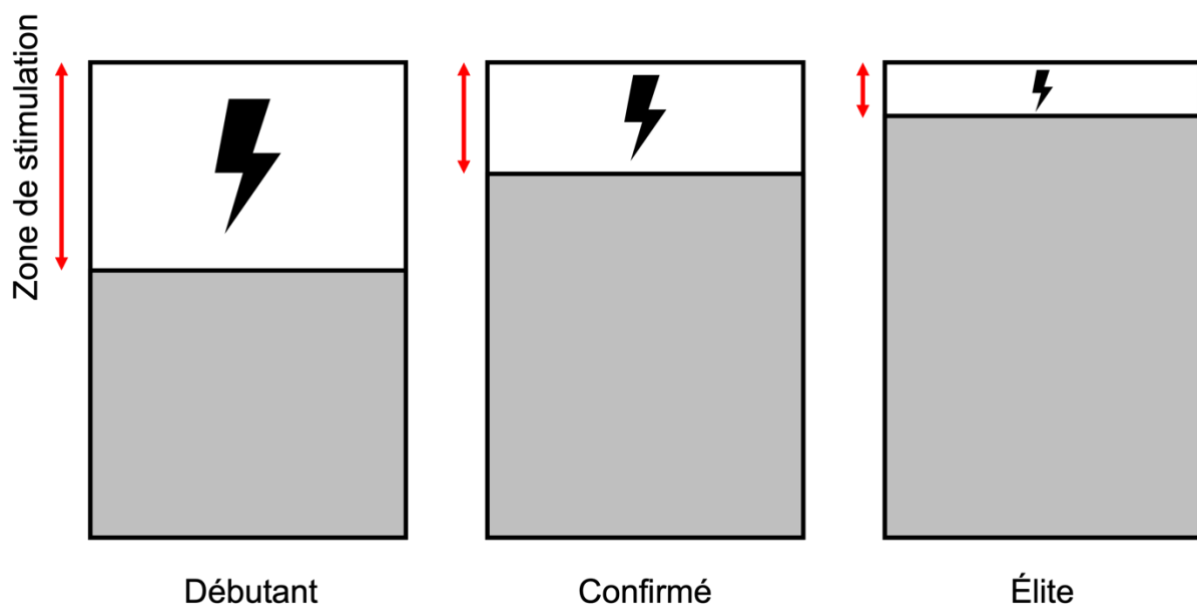


Figure 15. Représentation schématique des zones de stimulation selon le niveau des athlètes. La zone de stimulation se réduit à mesure que l'athlète progresse. Les charges d'entraînement à proposer aux athlètes expérimentés doivent donc être élevées pour provoquer un développement. Ces charges de travail liées aux zones permettant le développement des athlètes de haut niveau s'accompagneront alors d'une certaine fatigue, plus complexe à gérer que chez les débutants. Redessiné d'après (Platonov, 1988).

Aussi, comme nous l'avons noté auparavant, la méta-analyse de Rhea et al. a mis en avant un effet contreproductif d'un volume d'entraînement trop important sur les gains de force des débutants (Rhea, Alvar, et al., 2003). Bien que l'effet dose-réponse sous-entende la nécessité de proposer aux athlètes des charges de travail élevées afin de les préparer aux exigences de la compétition (Soligard et al., 2016), celle-ci peut avoir des effets néfastes. Cela peut s'expliquer par la capacité des athlètes à accepter des variations de charges par rapport à la quantité d'entraînement à laquelle ils sont habitués. En effet, il a été suggéré que la charge de travail en elle-même ne serait pas la cause des effets néfastes de l'entraînement (surmenage, surentrainement, blessure, maladie, ...). Il a été démontré que les athlètes qui répondaient le moins favorablement à une charge de travail élevée étaient ceux qui n'étaient pas habitués à ces charges (charge chronique faible). Une charge chronique élevée permettrait un effet protecteur contre ces effets néfastes (Hulin et al., 2014; Hulin, Gabbett, Lawson, Caputi, & Sampson, 2016; Murray, Gabbett, Townshend, Hulin, & McLellan, 2017). Plus précisément, il a été démontré que si d'importants changements de charge d'une semaine à l'autre (d'intensité, de durée ou de fréquence) se produisaient, l'athlète présenterait un risque de blessure considérablement accru (M. J. Cross, Williams, Trewartha, Kemp, & Stokes, 2016; Rogalski, Dawson, Heasman, & Gabbett, 2013). Basé sur ces observations et le modèle de Banister de fitness-fatigue, le ratio charge aiguë-chronique a été proposé (Hulin et al., 2016) (Figure 16). Ce ratio compare les charges d'entraînement effectuées au cours d'une période récente (généralement 5-10 jours) avec la charge de travail chronique effectuée sur une période plus longue (généralement 4-6 semaines). Si la charge chronique a été progressivement et systématiquement augmentée et si la charge aiguë est basse, l'athlète est considéré comme bien préparé. Inversement, si la charge aiguë dépasse la charge chronique (c'est-à-dire que les charges aiguës ont été rapidement augmentées, entraînant de la fatigue, ou que l'entraînement

au cours des 4 dernières semaines a été insuffisant pour améliorer la condition physique), l'athlète est alors considéré comme à risque accru de blessure (Soligard et al., 2016).

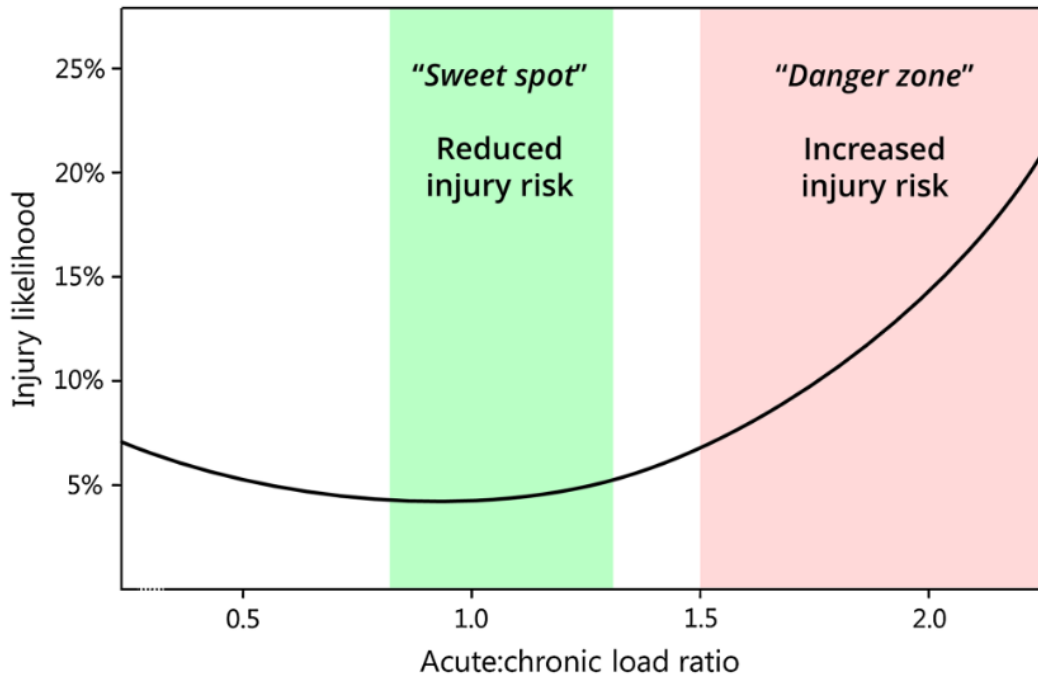


Figure 16. Ratio charge aiguë-charge chronique et risque de blessure. Plus l'athlète réalise des charges pour lesquelles il n'est pas préparé, plus le risque de blessure augmente. D'après (Soligard et al., 2016).

Ce modèle prend donc en compte les effets positifs et négatifs des charges d'entraînement et de compétition comme énoncé par Banister (Banister, 1991). L'étude de ce calcul a mené à la proposition que la relation dose-réponse entre charge de travail et adaptation serait en forme de « U ». Une charge trop faible ou trop élevée mènerait à un risque de blessure supérieur et une performance faible (Gabbett, 2016). Une charge optimale diminuerait alors le risque de blessure et mènerait à une augmentation des performances. Aussi, il a été mis en avant que le niveau d'entraînement des athlètes puisse servir de médiateur dans cette relation entre charge de travail et maladaptation (Figure 17). Toutefois, ce modèle a été vivement critiqué notamment à cause de la méthode de calcul employée, le fait que les durées des charges aiguës et chroniques ne soient pas clairement définies, ou encore que les valeurs utilisées de charge

interne ou externe pour calculer ce ratio soient extrêmement variables (Impellizzeri, Tenan, Kempton, Novak & Coutts, 2020).

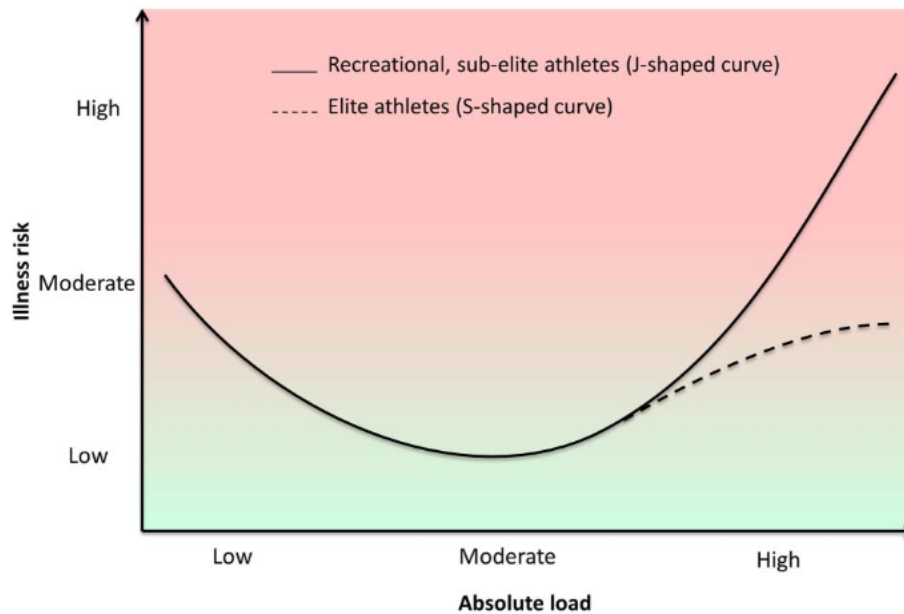


Figure 17. Relation entre charge de travail et risque de maladie, selon le niveau de pratique des athlètes. L'augmentation du niveau, attesté par des qualités physiques supérieures, permet de réduire le risque de maladaptation à l'entraînement. D'après (Schwellnus et al., 2016).

Bien que l'étiologie des blessures dans le sport soit multifactorielle et implique des facteurs de risque extrinsèques et intrinsèques, (Meeuwisse, 1994) il est maintenant acquis que la gestion des charges de travail est un facteur indispensable dans la prévention des blessures, mais aussi de la relation entre entraînement et adaptation (Drew & Finch, 2016). Un mauvais équilibre entre la charge de travail et la récupération peut conduire à une fatigue prolongée, un surmenage, entraînant des réponses anormales à l'entraînement, et donc à des effets indésirables comme des risques accrus de blessure et de maladie (Drew & Finch, 2016).

Ce chapitre a alors des implications très importantes pour la prescription de l'entraînement. Selon les populations entraînées, et donc leur objectif (par exemple, de développement, ou de performance compétitive), la dose d'entraînement nécessaire ne sera pas la même. On

comprend facilement que les centres de formation, recherchant prioritairement le développement de leurs athlètes, devront s'orienter sur une dose d'entraînement élevée afin de promouvoir les adaptations. Au contraire, les athlètes professionnels, recherchant prioritairement la performance compétitive, et donc la récupération entre les matchs, visent la dose d'entraînement minimale permettant de maintenir les gains physiques obtenus en présaison. Cela signifie que les charges de travail (volume, intensité, et fréquence) durant la saison compétitive devraient être différenciées entre ces deux populations.

II.1.2.4. Modèles prédictifs

L'un des principaux défis pour les scientifiques et les entraîneurs qui recueillent des données d'entraînement est de pouvoir les analyser afin de faire des inférences pertinentes sur l'efficacité des processus d'entraînement. Ces dernières années, la recherche scientifique s'est particulièrement tournée vers l'analyse des données d'entraînement et de compétition pour déduire la capacité de performance et le risque de blessure (Foster, Daines, Hector, Snyder, & Welsh, 1996; Hulin et al., 2016). Des modèles de la relation entre l'entraînement et la performance ont été proposés. Ces modèles considèrent l'athlète au centre d'un système dont la charge de travail permet d'expliquer majoritairement la performance. Ces modèles ont pour intérêt de prédire les performances compétitives d'un athlète en fonction de ses performances d'entraînement, mais encore, de planifier au mieux les programmes d'entraînement, pour atteindre une performance optimale (Busso, Carasso, & Lacour, 1991; Fitz-Clarke, Morton, & Banister, 1991). Ces modèles reposent donc sur les principes théoriques issus du GAS de Selye, et du fitness-fatigue de Banister (Banister, 1991; Selye, 1956). Ce dernier a alors été énoncé sous forme d'équation mathématique, afin de permettre la prédiction de la réponse des athlètes à l'entraînement. Bien que le modèle ait été développé au fil des décennies et qu'il ait ainsi obtenu plusieurs versions, la forme mathématique la plus utilisée est la suivante :

$$\hat{p}_n = p^* + k_1 \sum_{i=1}^{n-1} w_i e^{-(n-i)/\tau_1} - k_2 \sum_{i=1}^{n-1} w_i e^{-(n-i)/\tau_2}.$$

Équation 1. Modèle fitness-fatigue.

La performance modélisée au jour n est estimée à partir de charges d'entraînement successives (w_i) avec i variant de 1 à $n-1$. P^* est un terme additif qui représente le niveau de performance initial du sujet. τ_1 et τ_2 sont les constantes de temps exponentielles, exprimées en jours, pour respectivement le terme de condition physique (fitness) et le terme de fatigue. Des facteurs de pondération ont été ajoutés à la condition physique (k_1) et à la fatigue (k_2). En d'autres termes, le paramètre τ représente le nombre de jours pendant lesquels les effets positifs et négatifs d'une séance d'entraînement sont visibles dans l'organisme, tandis que le paramètre k représente l'ampleur de cet effet. En général, la valeur de τ est plus élevée pour le terme de condition physique que pour le terme de fatigue, ce qui signifie que la condition physique durera plus longtemps que la fatigue. Le contraire est vrai pour le paramètre k . Ici la valeur sera plus grande pour le terme de fatigue que pour le terme de condition physique. Il en résulte que la fatigue sera plus apparente directement après les séances d'entraînement, mais que cette fatigue se dissipera plus rapidement que la condition physique. Après une certaine période, la condition physique dépassera la fatigue, et l'amélioration des performances en sera le résultat (Vermeire, Ghijs, Bourgois, & Boone, 2022).

Cependant, la plupart du temps, des valeurs moyennes pour les paramètres τ et k sont utilisées pour établir ces modèles, car il est difficile d'obtenir un ajustement individuel du modèle dans un contexte réel. Par exemple, le paramètre τ est souvent estimé à 42 jours pour la condition physique et à 7 jours pour la fatigue. On sait cependant qu'un ajustement individuel du modèle est nécessaire lorsqu'on essaie de relier la charge de travail et la performance (Vermeire et al., 2021). Dans la littérature, on trouve respectivement des valeurs allant de 4 à 51 jours, et de 4 à

74 jours pour τ_1 , et τ_2 (Chalencon et al., 2015; Hellard et al., 2006). Ces valeurs, tout comme les valeurs initiales des facteurs de pondération (k_1 et k_2), ne sont que des estimations qui permettent de faire une approximation (prédiction) des performances futures.

Les données des performances réelles sont ensuite collectées et comparées aux performances prédites. Les constantes de temps de décroissance (τ_1 , et τ_2) et de facteurs de pondération (k_1 et k_2) sont alors ajustées si des divergences apparaissent entre les performances prédites et réelles (Banister, 1991). Busso et al. (Busso, Denis, Bonnefoy, Geysant, & Lacour, 1997) ont étudié l'utilisation d'un algorithme incorporant des paramètres qui sont libres de varier dans le temps pour illustrer plus précisément les changements de performance après l'entraînement. Ils ont suggéré que chaque réponse à l'entraînement peut être influencée par les entraînements précédents. Selon leur algorithme, la variation au jour le jour des paramètres du modèle peut fournir des informations importantes sur les effets cumulatifs de l'entraînement (Busso, Benoit, Bonnefoy, Feasson, & Lacour, 2002; Busso et al., 1997). Cependant, comme les paramètres du modèle à variation temporelle sont estimés à tout moment à partir des données précédentes et actuelles, ce type de modèle est limité dans sa capacité à prédire les performances en réponse à un entraînement futur, à moins que les paramètres eux-mêmes ne changent de manière prévisible (Taha & Thomas, 2003).

Depuis le modèle initialement suggéré par Banister (Banister, 1991), nombreuses sont les études ayant utilisé divers modèles pour prédire la performance d'un athlète avec une efficacité limitée du fait de la variabilité multifactorielle des performances (Banister, Carter, & Zarkadas, 1999; Borresen & Ian Lambert, 2009; Calvert, Banister, Savage, & Bach, 1976; L. K. Wallace, Slattery, & Coutts, 2014) (Figure 18). Cela s'explique par l'impossibilité à estimer précisément la réponse de l'athlète (sa charge interne) avant l'exercice, celle-ci dépendant d'un nombre de facteurs également imprévisibles (Soligard et al., 2016).

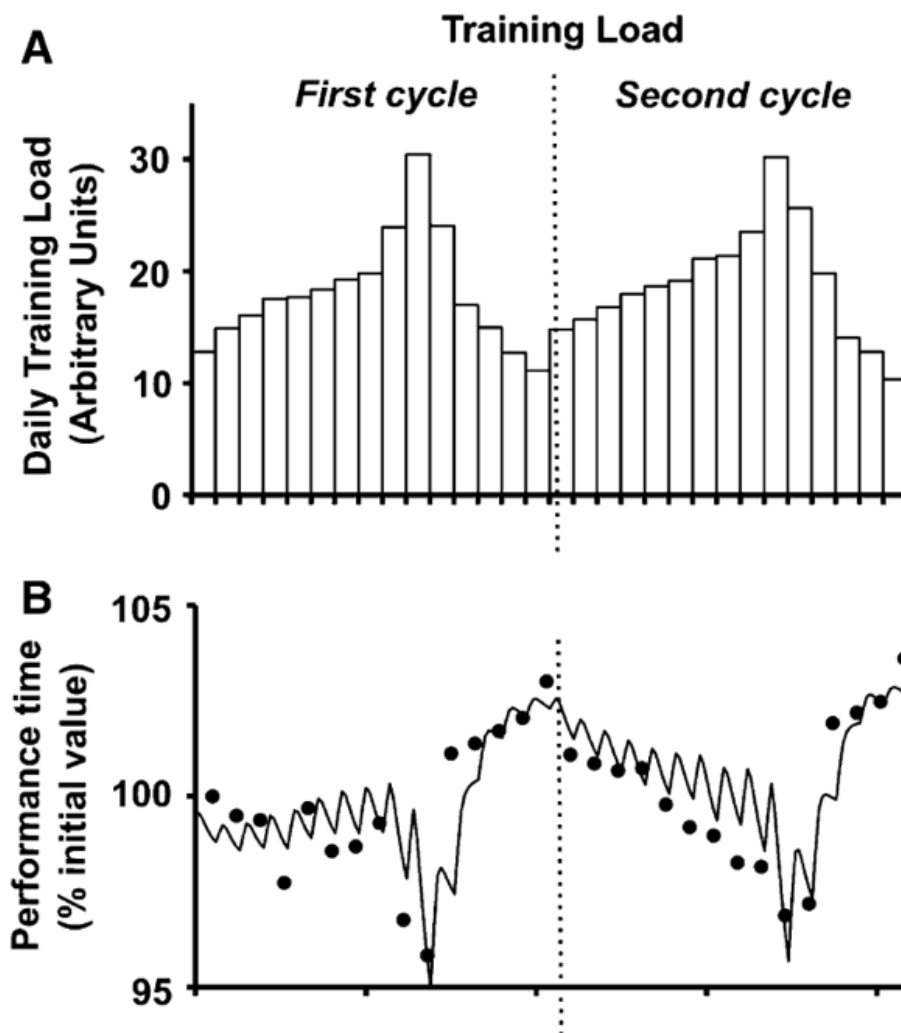


Figure 18. Application d'un modèle de prédiction à un nageur. A : charge de travail quotidienne moyenne. B : Ajustement entre la performance prédite (ligne) et réelle (points). La prédiction des performances montre une efficacité limitée. D'après (Chalencon et al., 2015).

Les variations inter et intra-individuelles (facteurs d'âge, de sexe, de sport, de condition physique, de fatigue, de santé, psychologiques, métaboliques, hormonaux et génétiques) compliquent considérablement la gestion de la charge chez les athlètes (Borresen & Ian Lambert, 2009). En fin de compte, la période de récupération et d'adaptation (et donc la susceptibilité aux blessures) varie chez les athlètes et parmi eux. Il ne peut donc pas y avoir de programme d'entraînement unique. Par conséquent, d'un point de vue pratique, ces techniques de modélisation restent peu utiles pour prédire les performances futures des athlètes de haut niveau. Néanmoins, elles fournissent un cadre théorique important qui permet aux entraîneurs

et aux scientifiques de comprendre et de contrôler le processus d'entraînement. Ce processus d'entraînement est aujourd'hui guidé par ce que l'on nomme les principes fondamentaux de l'entraînement. Ce sont ceux-ci qui doivent dicter la construction de la planification, en dépit de la possibilité de prédire la réponse d'un individu à l'entraînement, afin d'optimiser leur développement et leurs performances.

À retenir :

- La charge de travail joue un rôle déterminant dans l'adaptation des athlètes.
- L'effet dose-réponse nous montre que selon l'objectif des athlètes, les charges de travail à leur prescrire varieront. Celles-ci doivent être supérieures dans une recherche de développement, par rapport à une recherche de performance compétitive et donc de nécessité d'état de forme maximal.
- Les charges de travail doivent être correctement manipulées, en fonction de la réponse individuelle des athlètes, afin d'assurer des adaptations positives.
- La relation entre charge interne et externe ne pouvant être considérée qu'à l'échelle de l'individu, et non collectivement, la prescription de l'entraînement est difficilement anticipable.

II.1.3. Les principes fondamentaux de l'entraînement qui guident la planification

II.1.3.1. *Individualisation*

La construction d'un plan d'entraînement doit tenir compte des variations interindividuelles. Bien que les charges externes aient une importance particulière dans l'entraînement afin de prescrire de manière adéquate la charge de travail, c'est bien la charge interne qui est déterminante dans l'adaptation (Impellizzeri et al., 2019, 2005). Or la charge interne, pour une charge externe donnée, variera parmi les individus, et pour un même individu selon son état de forme. La capacité d'adaptation d'un athlète dépend en effet de facteurs physiologiques (par exemple l'âge, la forme physique actuelle, et l'historique d'entraînement), psychologiques (par exemple la perception de l'effort, et le stress), environnementaux (par exemple la nutrition, et les habitudes de vie) et génétiques (Bourdon et al., 2017). Ces facteurs peuvent être modifiables (comme les qualités physiques et le niveau d'entraînement), ou non modifiables (comme l'histoire du joueur, le genre, l'âge, ...). Par conséquent, la prescription collective de l'entraînement peut provoquer des charges internes variables entre les athlètes conduisant à des adaptations différentes à l'entraînement. Cela mène à la possibilité de provoquer un surmenage chez certains athlètes quand d'autres ne parviendraient pas à atteindre un stimulus d'entraînement suffisant pour créer une adaptation positive (Borresen & Lambert, 2009 ; Impellizzeri et al., 2005 ; Scott, Black, Quinn, & Coutts, 2013). Par exemple, il a été démontré que l'expérience des joueurs (nombre d'années en tant que joueurs professionnels), leur poste et leurs qualités physiques impactaient la relation entre charges externes et internes mesurées à l'aide de la RPE (Gallo, Cormack, Gabbett, Williams, & Lorenzen, 2015). Cela signifie donc que la perception de l'effort varie parmi les joueurs, pour une même charge externe selon leurs spécificités. Par conséquent, la relation entre charge interne et charge externe ne peut être linéaire, mais est au contraire individuelle. Il est donc primordial que chaque joueur soit traité

individuellement afin que les réponses à l'entraînement soient prises en compte dans le contexte de la charge précédente, actuelle et future (Hulin et al., 2016).

II.1.3.2. Spécificité

Le principe de spécificité met en avant la nécessité de s'entraîner dans des conditions qui correspondent aux exigences compétitives. En lien avec le principe d'individualisation, l'entraînement doit tenir compte des caractéristiques de l'athlète, de son poste, et donc de ses exigences personnelles compétitives. En effet, il a été démontré que les différents postes dans les sports collectifs entraînent des demandes physiologiques variables (Di Salvo et al., 2007; Quarrie, Hopkins, Anthony, & Gill, 2013). De ce fait, tous les membres d'une équipe ne peuvent être entraînés de la même manière sur l'ensemble des entraînements. Aussi, il a été suggéré dans l'entraînement de force, qu'il était nécessaire de satisfaire au principe de spécificité afin d'assurer un développement optimal. Siff et Verkhoshansky ont proposé que l'entraînement en force devait correspondre à l'activité en matière de demandes mécaniques plus qu'en apparence extérieure afin de favoriser les adaptations (Siff & Verkhoshansky, 1962). Cela signifie alors que l'entraînement de force doit être réalisé avec des mouvements dont l'amplitude et la direction correspondent à l'activité, pour les groupes musculaires majoritairement sollicités, à l'aide des régimes de contraction retrouvés lors des actions spécifiques (Stone, Collins, & Plisk, 2002). Par ailleurs, l'étude de Putman et al. a démontré l'importance de la spécificité d'entraînement dans l'amélioration des paramètres de production de force (Putman et al., 2004) (Figure 19). En effet, comme précisé plus tôt, la comparaison de quatre groupes d'entraînement (force, endurance, force et endurance, et contrôle) a montré que seuls les groupes comportant de l'entraînement de force permettaient une augmentation significative de la taille des fibres rapides (Putman et al., 2004). Plus encore, le groupe qui

permettait la plus grande amélioration du niveau de force était le groupe s'entraînant uniquement en force (Putman et al., 2004).

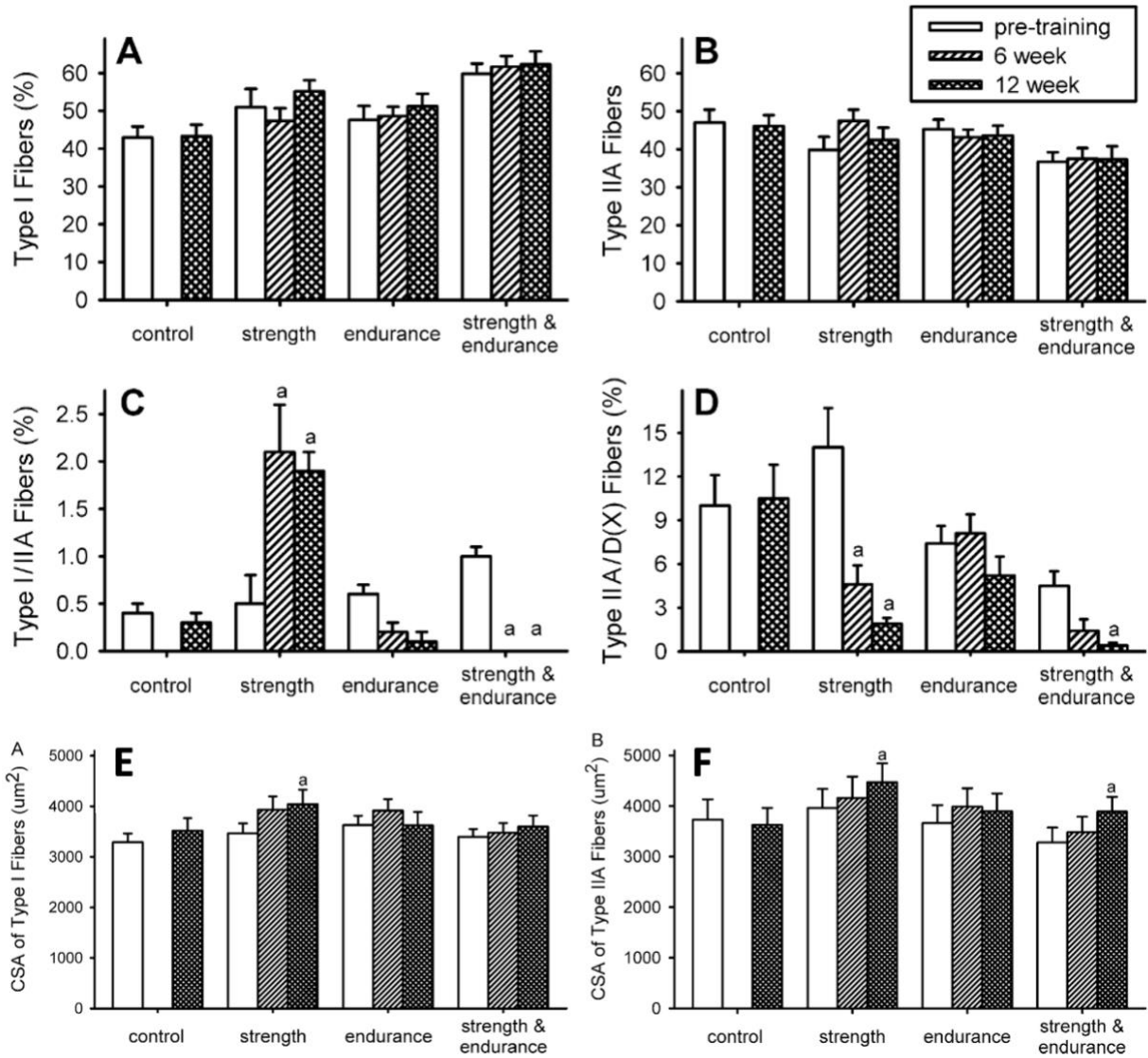


Figure 19. Proportions de fibres de type I (A), IIA (B) et de fibres hybrides de type I/IIA (C) et IIA/IID(X) (D), surfaces de section transversale (CSA) des fibres de type I (E) et IIA (F) dans le groupe témoin, le groupe entraîné en force, le groupe entraîné en endurance et le groupe entraîné en force et en endurance de manière combinée. « a » indique une différence par rapport au groupe témoin avant l'entraînement dans un groupe. D'après le principe de spécificité, seuls les groupes comportant de l'entraînement de force ont subi une augmentation des paramètres de performance neuromusculaire. D'après (Putman et al., 2004).

Plus spécifiquement, il a été démontré que lorsque l'on recherche le développement de la détente, un entraînement en saut était plus favorable qu'un entraînement en force, mettant en avant la nécessité de la spécificité de l'entraînement (Zatsiorsky, 2006) (Figure 20).

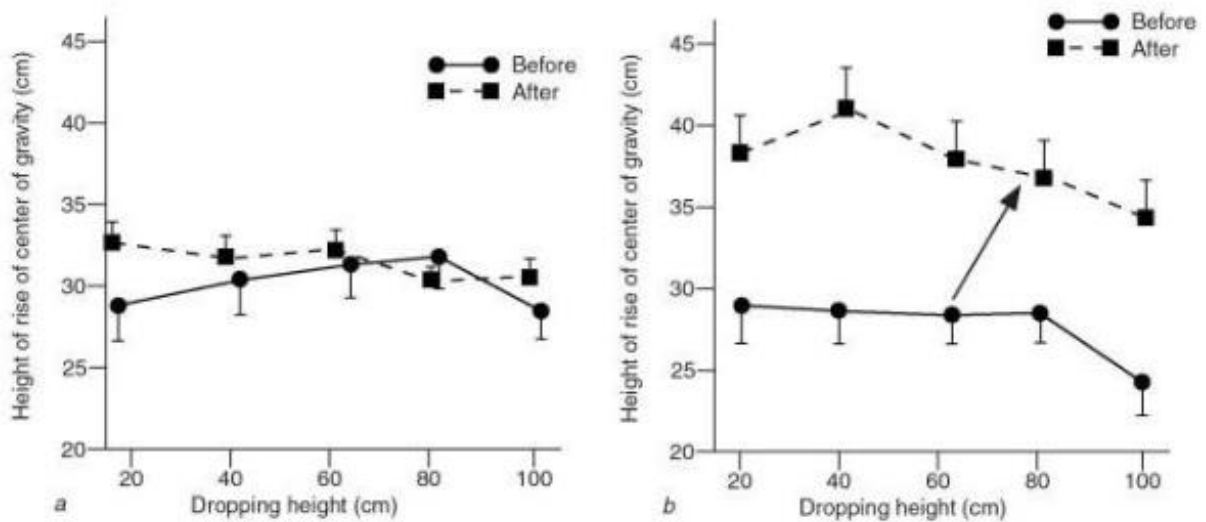


Figure 20. Changement de performance sur le drop jump suite à un entraînement en musculation à charges élevées (a), ou en saut spécifique (b). Dans le but de progresser sur un test de saut, l'entraînement en saut, d'après le principe de spécificité, permet une optimisation des gains. D'après (Hakkinen & Komi, 1986).

II.1.3.3. Gestion de la charge de travail

Ce principe de l'entraînement est connu en anglais sous le terme de « overload ». Celui-ci met en avant la nécessité d'augmenter progressivement les charges de travail à mesure que l'athlète progresse, tout en lui imposant des périodes de récupération permettant l'adaptation (Zaryski & Smith, 2005). Ce principe est directement issu des modèles de GAS de Selye et de fitness-fatigue de Banister. En effet, grâce à ces modèles, nous savons que la réaction d'alarme décrite dans le modèle de Selye ne se déclenche qu'à condition que l'organisme ne fasse face à un stress auquel il n'est pas habitué, et que cela vienne perturber l'homéostasie. Afin que l'adaptation au stress puisse être mise en place, sans que le stress devienne nuisible et mène au

surmenage, il est nécessaire d'imposer une période de repos, qui mènera, ensuite, à une phase d'adaptation et donc de performance accrue (Calvert et al., 1976; Selye, 1951). Selon Zatsiorky et al. les charges d'entraînement peuvent être « stimulantes », « de maintien », ou « de désentraînement » (Zatsiorsky, 2006). Seules les charges stimulantes permettent le développement de l'athlète (Figure 21).

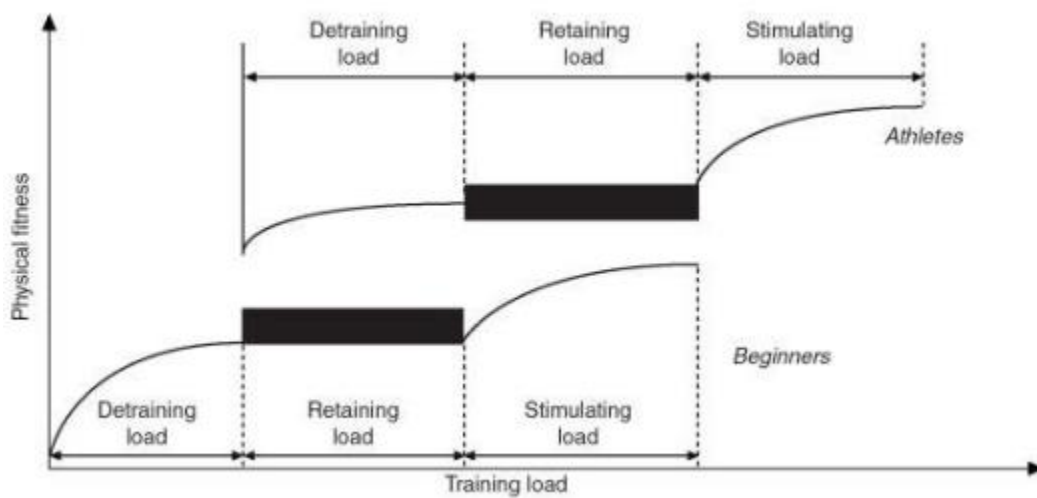


Figure 21. Impact des charges « stimulantes », « de maintien », ou « de désentraînement » sur le développement de la condition physique des athlètes. Seules les charges stimulantes permettent une amélioration des performances des athlètes. L'ampleur de l'amélioration de la performance est dépendante du niveau des athlètes. D'après (Zatsiorsky, 2006).

Il existe alors deux solutions afin de satisfaire le principe de gestion de la charge de travail. La première est d'augmenter les charges au moyen de l'intensité ou du volume tout en continuant à utiliser des situations d'entraînement identiques (Zatsiorsky, 2006). Par exemple, lors de la réalisation d'exercice de squat, la même charge est généralement déplacée sur la phase concentrique et excentrique. Cependant, il a été montré que l'ajout d'une surcharge sur la phase excentrique suggérait des adaptations supplémentaires au niveau des marqueurs physiologiques du développement neuromusculaire (Friedmann-Bette et al., 2010). Cette solution permet alors une augmentation de la charge de travail des athlètes, et donc de proposer

une charge « stimulante » comme définie par Zatsiorsky, permettant le développement des athlètes. La seconde solution pour satisfaire le principe de gestion de la charge de travail et donc de progressivité fait alors appel au principe de variation.

II.1.3.4. Variation

Le concept de variation concerne la charge de travail et sa manipulation en termes de volume et d'intensité. Cependant, une autre solution consiste à varier les contenus proposés pour que l'athlète soit face à des situations auxquelles il n'est pas habitué. Si les charges d'entraînement, ou les contenus proposées sont identiques sur une période prolongée, les gains de performance diminueront (Figure 22) (Zatsiorsky, 2006).

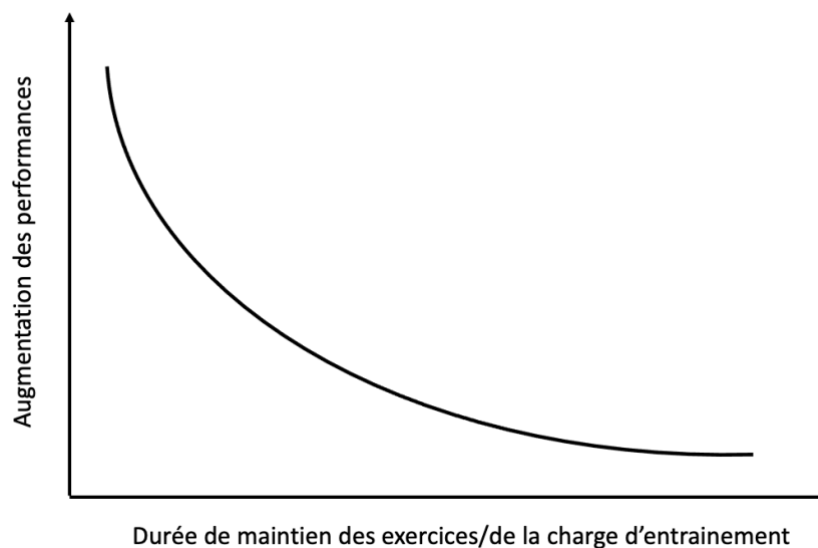


Figure 22. Interaction entre temps d'entraînement, charge de travail et augmentation des performances. Sans le facteur de variation, les stimuli d'entraînement perdent de leur efficacité à mesure qu'on les applique. Redessiné d'après (Zatsiorsky, 2006).

Il a été démontré qu'un syndrome de surmenage pouvait survenir accompagné d'une perte ou d'un plateau de performance du fait de l'invariabilité des charges ou des situations et non à cause d'une mauvaise gestion de la quantité d'entraînement et d'une fatigue excessive (Hakkinen & Komi, 1981; Stone et al., 1991). Il a été proposé que ce type de perte de

performance provienne de l'adaptation du système nerveux central à la nature invariante de l'entraînement (Hakkinen & Komi, 1982; Stone et al., 1991). Le calcul de la monotonie a été proposé et permet de quantifier le niveau de variation des charges d'entraînement. La monotonie est définie comme la charge de travail moyenne quotidienne divisée par son écart type (Foster, 1998). Il a d'ailleurs été mis en évidence une relation positive entre l'augmentation de la monotonie et l'incidence de maladie, et de blessure (Brink et al., 2010; Delecroix, McCall, Dawson, Berthoin, & Dupont, 2019; Foster, 1998). Cela signifie alors qu'un individu réalisant des charges de travail sensiblement identiques sur une période prolongée augmenterait ses risques de blessure et de maladie, menant à une diminution de la performance à long terme.

Cependant, en accord avec le principe de gestion de la charge de travail, la variation doit être contrôlée. En effet, des variations trop importantes des charges de travail ont montré leur influence sur les risques de blessure (Hulin et al., 2014). Il convient tout de même de noter qu'une variation trop importante ne pourrait sans doute pas laisser le temps à l'athlète de s'adapter. En accord avec le principe d'individualisation, l'entraîneur doit percevoir, à l'aide des outils de suivi de la charge de travail, quand l'athlète commence à s'adapter au stimulus et doit donc changer ses situations d'entraînement (Kramer et al., 1997; Stone et al., 2002).

II.1.3.5. Réversibilité

Le principe de réversibilité met en avant la capacité du corps à s'adapter à un stimulus, mais également à se désadapter à celui-ci, s'il n'est plus habitué à y faire face. Comme montré par le modèle de Banister (fitness-fatigue), la condition physique développée à travers l'entraînement se traduit par une amélioration à long terme des performances (semblable au stade de résistance de Selye). Pour autant, ce stade ne dure pas indéfiniment, et son intensité est décroissante. Le principe de réversibilité de l'entraînement stipule alors que bien que

l'entraînement mène à des adaptations physiologiques qui améliorent la performance, l'arrêt ou la réduction des charges d'entraînement induit une inversion partielle ou complète de ces adaptations, compromettant ainsi la performance (Mujika & Padilla, 2000).

Ce principe est étudié sous le terme de désentraînement. Ce principe n'est pas à confondre avec l'affutage où l'on cherche à diminuer les effets néfastes de l'entraînement, dont la fatigue, pour optimiser la performance (Bosquet, Montpetit, Arvisais, & Mujika, 2007). La cessation d'entraînement a montré des effets très rapides sur la diminution des performances. En effet, en moins de 3 semaines, on observe une diminution significative de la performance des mécanismes cardiorespiratoires (Débit cardiaque maximal, volume systolique, fréquence cardiaque, différence artéro-veineuse en O₂), et musculaires (capillarisation, activité enzymatique, production d'ATP, performance en force, ...) (Coyle et al., 1984; Houston, Bentzen, & Larsen, 1979; Mujika & Padilla, 2000) (Figure 23). Ces effets résiduels de l'entraînement ont été montrés comme dépendants de la qualité physique et doivent donc être pris en compte dans la planification de l'entraînement (Stone et al., 2021). Ce principe sous-entend alors que toutes les qualités physiques requises à la performance en compétition doivent être travaillées de manière récurrente. Sans cela, des pertes de performance seront observées pour les qualités physiques délaissées, menant à une diminution de la performance globale en compétition.

des principes fondamentaux de l'entraînement

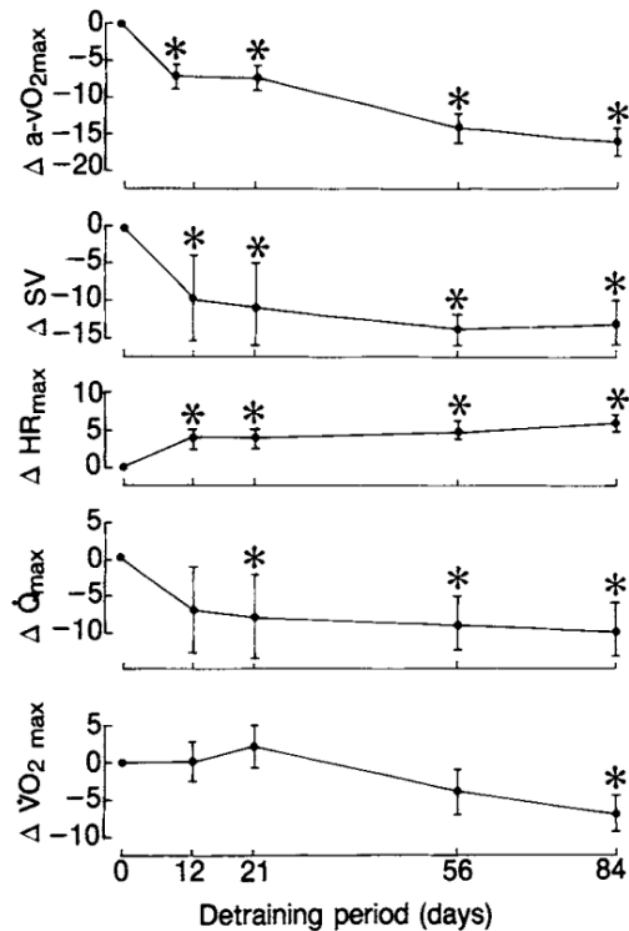


Figure 23. Effets du désentraînement sur la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_{2max}$), le volume systolique (SV), la fréquence cardiaque maximale (HR_{max}), le débit cardiaque maximal estimé (Q_{max}), et la différence d'oxygène artériel-veineux (mixte) maximale ($a-vO_{2max}$ diff.), * = significativement différent ($p < 0,05$) de l'état entraîné. Suivant une période de désentraînement, les paramètres de performance cardiorespiratoire subissent une diminution rapide (dès 3 semaines). D'après (Neufer P. Darrell, 1989) redessiné de (Coyle et al., 1984).

II.1.3.6. Périodicité

Ce principe, reprenant les précédents, stipule que l'entraînement doit permettre d'alterner les charges d'entraînement (en manipulant le volume, l'intensité, et la récupération), et les objectifs de développement (qualités physiques). Cela devrait être réalisé en utilisant des stimuli d'entraînement idéaux pour chaque individu, sans laisser place au désentraînement. Pour cela, il a été suggéré qu'il était nécessaire de diviser le plan d'entraînement en sous-

parties, qui ont été nommées macrocycles, mésocycles, microcycles. D'après la définition donnée par Kraemer lors de la table ronde sur la thématique de la planification (Haff, 2004) :

« Le macrocycle est la période la plus longue du cycle d'entraînement ; un an est généralement utilisé dans la plupart des situations, mais certains programmes internationaux ont utilisé une durée de 4 ans pour coïncider avec le pic pour les Jeux Olympiques. Le mésocycle est la durée du cycle suivant, définissant davantage la quantité de variation pendant le macrocycle. Des travaux antérieurs ont montré qu'un plus grand nombre de mésocycles permet d'obtenir des gains d'entraînement plus importants en termes d'adaptations physiologiques et de performance, c'est pourquoi beaucoup ont utilisé un mésocycle de 3 mois, ce qui permet d'en effectuer 4 par an. Le microcycle est la phase suivante et probablement la plus importante de l'entraînement, où des changements dans les variables aiguës du programme sont prescrits pour définir chaque mésocycle et apporter des changements et des variations dans le temps. Le microcycle a généralement une durée d'environ 2 semaines, ce qui permet de personnaliser soigneusement les variations » (Haff, 2004).

Le plan d'entraînement peut également être divisé en 3 phases qui comprennent la phase préparatoire, compétitive, et de transition. Selon Pendlay :

« Un programme d'entraînement périodisé comporte trois phases principales : préparation, compétition et transition. Les objectifs de la phase préparatoire devraient être d'établir des niveaux plus élevés de capacités physiques de base telles que la force et la vitesse, et d'améliorer les points faibles qui sont apparus lors de la dernière compétition. L'objectif de la phase de compétition doit être d'obtenir une performance maximale lors de la compétition prévue. À cette fin, l'entraînement dans la phase de compétition est généralement plus spécifique au sport pratiqué, plus intense et de moindre volume que dans la période préparatoire. L'objectif de la phase de transition est de maintenir autant que possible le conditionnement général tout en permettant à l'athlète de se reposer, de récupérer de la période

de compétition précédente, à la fois physiquement et mentalement, et d'être prêt à affronter la période préparatoire suivante » (Haff, 2004) (Figure 24).

ANNUAL TRAINING PLAN																				
Phases of training	Preparatory					Competitive					Transition									
Subphases	General preparation		Specific preparation																	
Macrocycles																				
Microcycles																				

Figure 24. Division théorique du plan d'entraînement. D'après (Bompa & Haff, 2019).

La planification du développement des qualités physiques peut alors être réalisée de diverses manières. La première manière consiste à travailler de manière complexe ou simultanée l'ensemble des qualités physiques. Selon Bompa, l'utilisation d'une méthode complexe ne peut être utilisée que dans quelques circonstances, par exemple, dans l'entraînement des jeunes ou dans les sports d'équipe amateurs, où un nombre réduit d'entraînement hebdomadaire est nécessaire pour le maintien des qualités. Chez des sportifs élités, ce mode de fonctionnement mènerait rapidement à un plafond de performance (Bompa & Buzzichelli, 2015). Une autre manière peut être de travailler ces qualités de manière séquentielle. L'objectif de cette méthode est que le développement d'une qualité profite au développement de la suivante. La durée de chaque stimulus d'entraînement est déterminée par le temps nécessaire pour susciter le niveau souhaité d'adaptation (Bompa & Buzzichelli, 2015). Dans le développement pendulaire, deux

qualités d'une capacité physique sont entraînées de manière alternative. Par exemple, un macrocycle de force maximale est suivi d'un macrocycle de puissance, qui est suivi d'un autre macrocycle de force maximale, qui lui-même est suivi d'un autre macrocycle de puissance. Selon Bompa, cette méthodologie serait « particulièrement indiquée pour les sports de raquette, les sports de contact et les arts martiaux, pour lesquels une longue phase de force maximale pourrait affecter négativement le rendement en puissance » (Bompa & Buzzichelli, 2015). La charge de travail peut également varier dans son application, et dans sa variation. Les ondulations de la charge peuvent alors avoir lieu à différents niveaux comme le mésocycle (Figure 25).

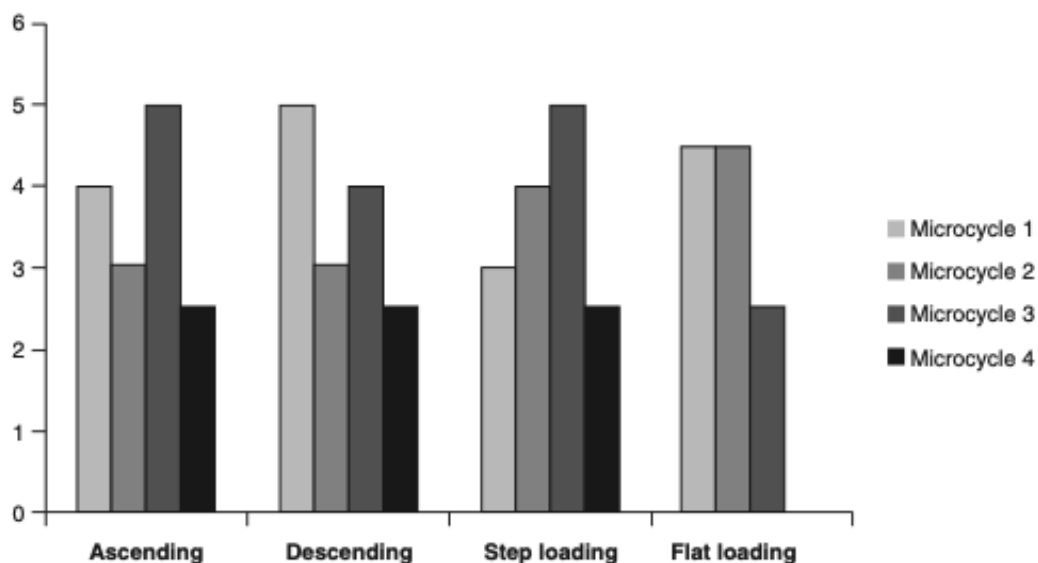


Figure 25. Quatre façons de planifier le mésocycle. D'après (Bompa & Buzzichelli, 2015).

De ce fait, de nombreux modèles de planification ont été proposés. Tous ces modèles s'appuient sur les principes fondamentaux vus précédemment, mais varient dans leur mise en place et dans leur impact sur les performances.

À retenir :

- Les principes fondamentaux de l'entraînement guident sa prescription avec pour point central l'individu.
- L'individu doit être considéré prioritairement, du fait de la variabilité des réponses adaptatives pour une charge donnée. Les entraîneurs doivent alors connaître au mieux leurs athlètes (facteurs modifiables et non modifiables) et leurs exigences compétitives, afin de leur appliquer les charges externes optimales pour leur développement.
- La gestion des réponses des athlètes, et donc des charges de travail doit s'effectuer en appliquant des périodes de charge élevées et de récupération selon les principes de variation et de périodicité, sans laisser place au désentraînement selon le principe de réversibilité.
- Ce sont tous ces principes qui doivent guider la création du plan d'entraînement.

II.2. Planification – fondements pratiques

II.2.1. Planification traditionnelle

Une caractéristique majeure de la planification traditionnelle est un volume initial élevé et une faible intensité, avec des augmentations progressives de l'intensité et des diminutions du volume à l'intérieur des périodes (Baker, Wilson, & Carlyon, 1994; Mann, Thyfault, Ivey, & Sayers, 2010). Ce modèle de planification théorisé par Matveiev est alors présenté comme linéaire (Figure 26).

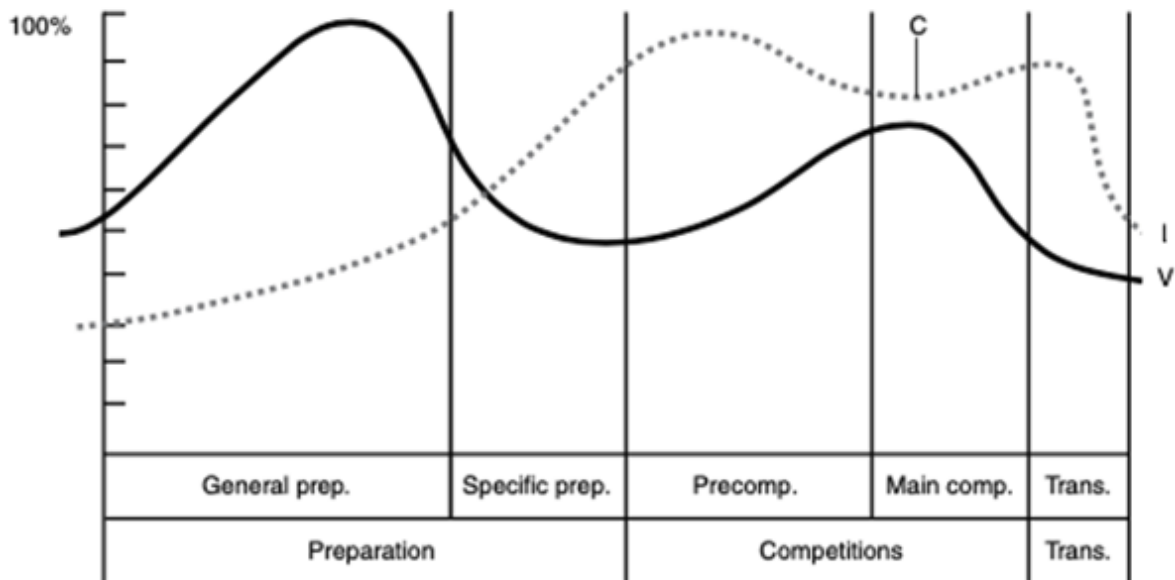


Figure 26. Planification traditionnelle telle que théorisée par Matveiev. On observe une évolution des paramètres de volume et d'intensité. D'après (Bompa & Haff, 2019).

Selon ce modèle initial de Matveiev, la planification ne comportait qu'un seul macrocycle recherchant la performance maximale pour les compétitions les plus importantes comme les jeux olympiques (Lyakh, Mikołajec, Bujas, & Litkowycz, 2015). Avec l'augmentation du nombre de compétitions à l'ère moderne, ce modèle a dû évoluer pour ajouter davantage de macrocycle et donc de pic de performance (Issurin, 2010) (Figure 27).

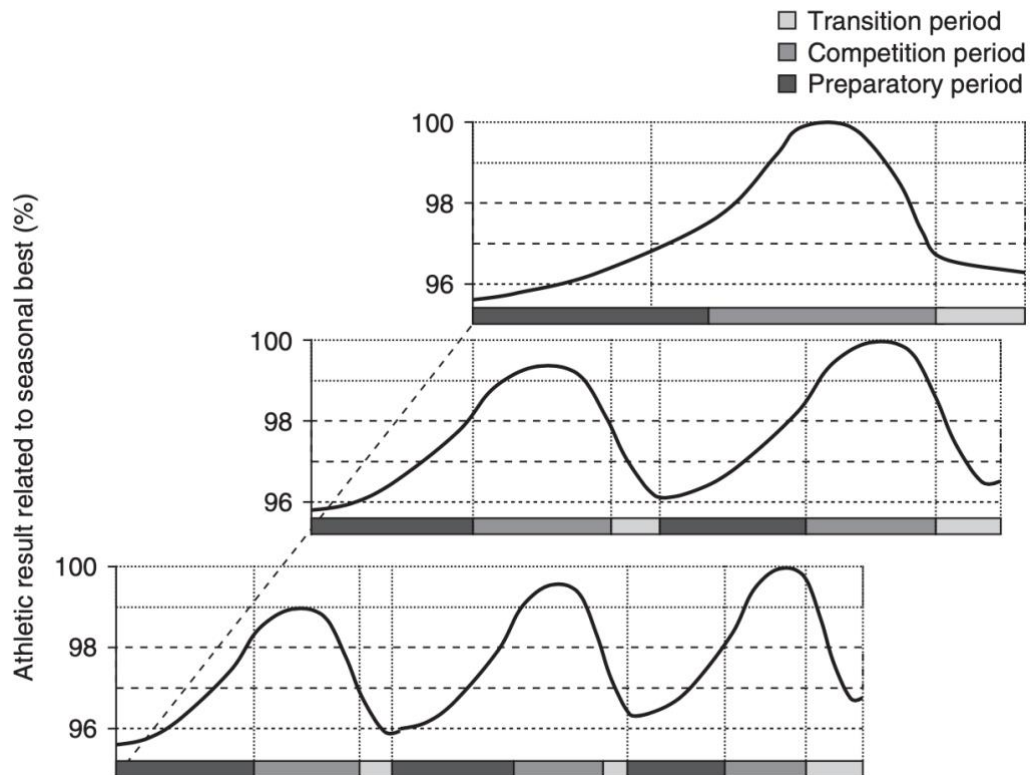


Figure 27. Cycle d'entraînement à 1, 2 et 3 macrocycles, montrant l'évolution des performances en comparaison de la meilleure performance compétitive. D'après (Issurin, 2010).

Face à ce modèle classique de la planification, d'autres auteurs ont proposé d'inverser la planification (Arroyo-Toledo et al., 2013; Clemente-Suárez and Ramos-Campo, 2019). Selon le modèle de planification traditionnelle inverse, les athlètes pourraient commencer leur préparation par un entraînement de haute intensité et de faible volume, tout en diminuant progressivement l'intensité et en augmentant le volume ou, selon le sport, en maintenant l'intensité et en augmentant le volume pendant les périodes d'entraînement suivantes (Arroyo-Toledo, Clemente, González-Rave, Ramos Campo, & Sortwell, 2013). Cette planification s'est montrée pertinente dans l'amélioration des performances de force maximale, d'endurance musculaire et de performance d'endurance dans divers sports (Prestes, De Lima, Frollini, Donatto, & Conte, 2009). Aussi, cette planification inversée s'est montrée comparable voire

plus efficace que la planification traditionnelle pour les entraînements à haute intensité, pour ce qui concerne les capacités métaboliques du muscle (Gibala et al., 2006).

Bien que ce modèle de planification traditionnelle ait été, et soit encore utilisé aujourd'hui dans de nombreuses disciplines, des limites dans son application ont été mises en avant par des auteurs reconnus du domaine de la planification (Bondarchuk, 2008; Issurin, 2008; Verkoshansky, 1999). Pour ces auteurs, la planification traditionnelle ne permettrait pas de maintenir des pics de forme suffisamment longs, et de développer suffisamment les qualités physiques nécessaires à l'athlète pour performer en compétition. Ces deux problématiques soulevées s'expliquent par le développement simultané des qualités physiques tout au long de la saison. Cette simultanéité pourrait mener à des difficultés à gérer les augmentations de la charge de travail touchant nécessairement toutes les qualités physiques, et donc la fatigue résultante. Cette augmentation du volume ou de l'intensité de l'entraînement pourrait mener à une baisse du niveau de performance, et si la fatigue est mal gérée, au phénomène de surmenage, voire de surentraînement (Busso, Candau, & Lacour, 1994; Knicker, Renshaw, & Oldham, 2012; Soligard et al., 2016). Cette simultanéité de l'entraînement des qualités physiques peut aussi poser question sur l'aspect développement de celles-ci. D'après les travaux d'Hickson, confirmés depuis, l'entraînement conjoint de l'endurance et de la force créerait des interférences au niveau du développement de l'architecture musculaire (par exemple l'angle de pennation, la longueur des fascicules, etc.), et surtout l'expression de l'explosivité, et de la puissance (Hickson, 1980; Methenitis, 2018). Enfin, le modèle de planification traditionnelle utilise la stratégie d'affutage où le volume décroît, et où l'intensité est maintenue afin d'améliorer les performances compétitives (Bosquet et al., 2007). Cependant, la durée d'affutage nécessaire pour atteindre le pic de forme peut varier selon les qualités, et complexifie donc sa mise en place (Bosquet et al., 2007; Issurin, 2009; Mujika &

Padilla, 2000). Bien que le pic de forme ait été défini comme pouvant durer 3 semaines pour certaines qualités physiques, ces valeurs restent individuelles et peuvent être bien plus réduites (Bosquet et al., 2007; Issurin, 2009; Mujika & Padilla, 2000). La performance étant multifactorielle, son maintien dépend alors de nombreuses variables comme le niveau d'entraînement, les qualités intrinsèques des athlètes, et leur réponse à l'affutage (Neary, Bhambhani, & McKenzie, 2003; Stone et al., 2021).

Bien que ce modèle ait reçu de nombreuses critiques, notamment dans la variété des charges qu'il propose, il est nécessaire de mettre en avant qu'il n'est pas aussi linéaire que présenté. Un modèle linéaire, selon sa définition mathématique, suggère qu'il n'existe pas de variation dans les charges mais que celles-ci évoluent dans le temps à un taux d'accroissement ou de décroissement constant. Matveiev nota justement l'intérêt de la non-linéarité des charges d'entraînement et la variation appropriée sous forme d'oscillations de charges répétées : « Les oscillations ondulatoires caractérisent la dynamique de la charge tant dans les phases relativement courtes que dans les phases plus prolongées du processus d'entraînement » (Stone et al., 2021). Ce modèle présuppose alors des variations de charges dans le microcycle, le mésocycle et le macrocycle (Matveiev, 1981) (Figure 28).

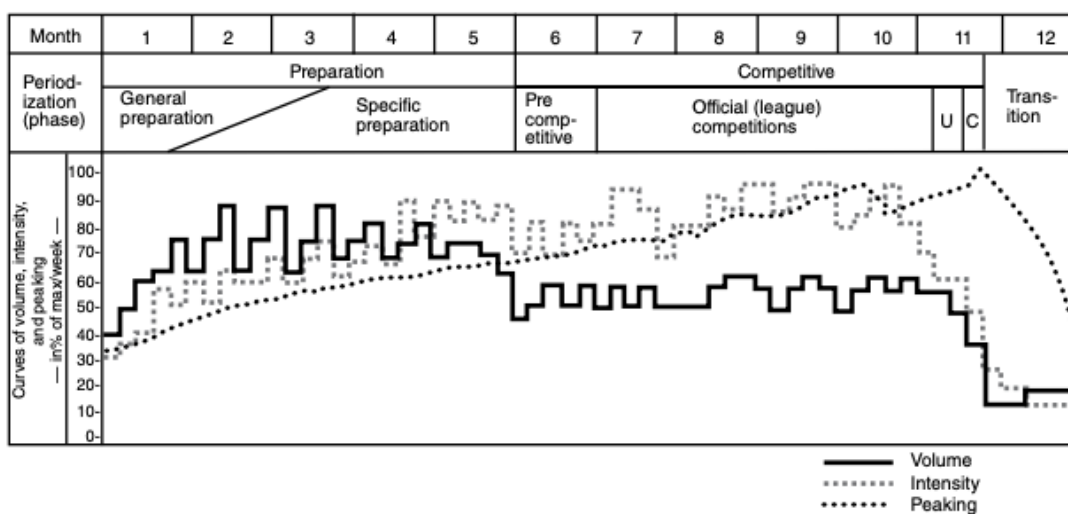


Figure 28. Exemple de planification traditionnelle. La performance est progressivement améliorée à mesure que la planification avance. D'après (Bompa & Haff, 2019).

Toutes ces critiques de la planification traditionnelle et de son manque de variation ont alors mené les auteurs de la planification à proposer des modèles plus variables.

II.2.2. Planification ondulée

Sur la base des observations précédentes, notamment que la planification traditionnelle ne satisfaisait pas suffisamment le principe de variation, la planification ondulée a été proposée. Celle-ci a alors été présentée comme une variation plus fréquente, quotidienne, hebdomadaire, ou bi-hebdomadaire de l'intensité et du volume (Harries, Lubans, & Callister, 2015). Il convient de noter que cette planification a surtout été étudiée dans l'entraînement de force et utilise donc le concept de répétitions maximum pour la prescription des intensités (Buford, Rossi, Smith, & Warren, 2007). Ces ondulations plus récurrentes dans la charge de travail entre volume élevé - intensité faible, et volume faible - intensité élevée, entrecoupées de périodes de récupérations plus fréquentes, ont montré leur intérêt dans le développement de la force (Baker et al., 1994; Buford et al., 2007) (Figure 29).

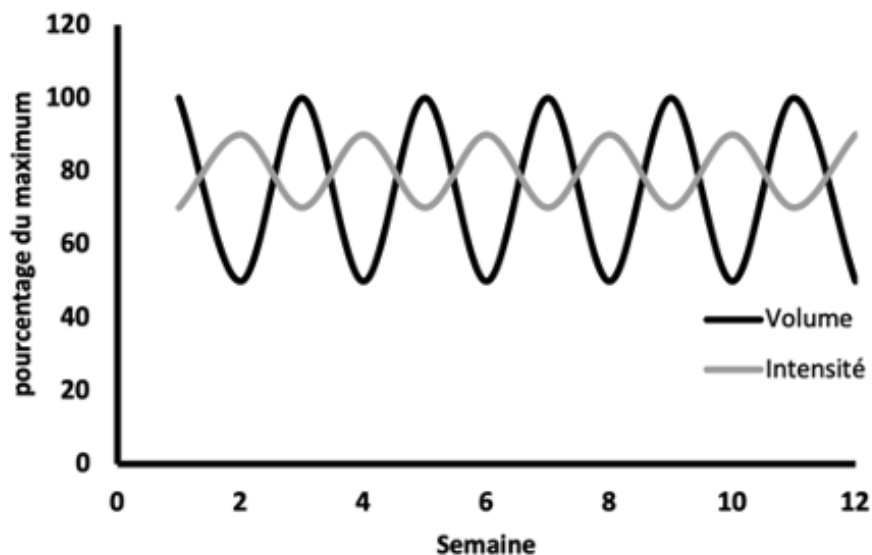


Figure 29. Représentation schématique de la planification ondulée. Redessiné d'après (Harries et al., 2015).

Dans l'entraînement de force, il a été suggéré, d'un point de vue théorique, que la planification ondulée permettrait une expression supérieure de l'activation nerveuse maximale en comparaison de la planification traditionnelle. Cela serait notamment dû aux variations plus récurrentes des charges de travail qui permettraient donc une expression améliorée de la qualité de force (Poliquin, 1988). En effet, il a été mis en évidence qu'un programme d'entraînement, s'il n'est pas modifié, perd son efficacité après seulement deux semaines du fait de l'adaptation rapide du corps à une charge de travail (Kulesza & Poliquin, 1985). De plus, dans l'entraînement de force, la planification ondulée permettrait un maintien supérieur des qualités physiques (Poliquin, 1988; Schmidtbleicher & Poliquin, 1987).

Pourtant, bien que théoriquement, les modèles de planification non linéaires mèneraient à des gains de force supérieurs via une variation plus importante, les études comparant ces modèles ne sont pas aussi équivoques. Certaines comparaisons montrent des gains de force significativement plus importants avec la planification non linéaire (Rhea, Phillips, et al., 2003). D'autres comparaisons montrent des différences non significatives entre les deux types de planification, mais favorisent la planification non linéaire (Kok, Hamer, & Bishop, 2009; Prestes et al., 2009) ou linéaire (Buford et al., 2007) pour les gains en pourcentage de la force maximale. Les revues de littératures et méta-analyses récentes ayant comparé ces deux modèles de planification ne montrent aucune supériorité de quelque modèle sur l'amélioration de la force (Grgic, Mikulic, Podnar, & Pedisic, 2017; Harries et al., 2015). Selon ces études, il semblerait qu'au-delà de la variation, ce soit la charge de travail réalisée (volume et intensité), indépendamment de sa planification qui prime sur les gains de force (Baker et al., 1994; Schiotz, Potteiger, Huntsinger, & Denmark, 1998). Pourtant, une méta-analyse récente a mis en avant la supériorité des facteurs de variation des charges d'entraînement du programme par rapport à la quantité de charge de travail dans l'amélioration du 1RM (Williams, Toluoso, Fedewa, & Esco, 2017). D'après les résultats issus de toutes ces études, il semblerait que

malgré des adaptations similaires, l'expression de ces gains varient dans le temps selon le modèle de planification. En effet, il a été montré que l'utilisation d'un modèle de planification ondulée permettait des gains de force plus rapides que la planification linéaire, qui surviendraient lors de stades plus avancés du programme d'entraînement (Monteiro, Aoki, Evangelista, & Alveno, 2009; Rhea, Phillips, et al., 2003).

II.2.3. Planification en bloc

La planification en bloc prend son origine au début des années 1980. Bien que le nom et la théorie sous-jacente lui étant attribués ne viendront que plus tard, on trouve des rapports de planification en bloc issus des entraîneurs renommés de l'époque (Issurin, 2010). Ce modèle a vu le jour comme une alternative à la planification traditionnelle et son objectif de développement conjoint des qualités. Les limites mises en avant pour la planification traditionnelle concernaient la fatigue excessive, la stimulation insuffisante de l'entraînement, les réponses contradictoires dues à l'entraînement conjoint des qualités, et l'incapacité à atteindre plusieurs pics de performances au cours de la saison (Issurin, 2010, 2019). L'objectif était alors de trouver un moyen permettant d'obtenir des concentrations élevées de charges de travail efficaces pour développer les nombreuses capacités qui déterminent la performance. Pour pallier la stimulation insuffisante de l'entraînement, la planification en bloc s'appuie sur un principe de base qui exige une forte concentration des charges d'entraînement dans un bloc donné. La solution proposée est basée sur le développement consécutif, mais non simultanément, des qualités ciblées par le biais d'un enchaînement approprié de blocs d'entraînement spécialisés (Issurin, 2010). Originellement, cette méthode de planification a été proposée par Verkoshansky de manière « concentrée unidirectionnelle ». Cela signifie que chaque bloc d'entraînement unidirectionnel met l'accent sur une seule ou très peu de qualités connexes, comme la force et l'explosivité (Stone et al., 2021; Verkoshansky, 1999). Le terme

unidirectionnel fait alors référence à l'absence de travail sur les qualités autres que celles dont le développement est recherché. Bien que ce modèle ait été mis en avant par Verkoshansky, le modèle le plus utilisé de planification en bloc recherche le développement conjoint de multiples qualités. Les différences entre ces modèles sont présentées dans le Tableau 2.

Tableau 2. Différences majeures entre la planification traditionnelle et la planification en bloc unidirectionnel ou multi facteurs. D'après (Stone et al., 2021).

	Traditionnelle	En bloc multi facteurs	En bloc unidirectionnel
Développement des qualités	Simultané	Mixte	Consécutif
Concentration de la charge de travail	Faible	Moyenne	Élevée
Difficulté de la gestion de la fatigue	Élevée	Élevée	Faible
Échelle de travail	Période	Bloc	Bloc
Théorie sous-jacente	Effets cumulatifs	Effets cumulatifs et légèrement résiduels	Effets cumulatifs et résiduels
Compatibilité avec le calendrier compétitif	Moyenne	Élevée	Élevée

Issurin, un des pionniers de la planification en bloc, définit cette méthode comme des mésocycles de 2 à 4 semaines avec des charges de travail concentrées visant des qualités nécessaires à la compétition, effectuées dans un ordre spécifique (Issurin, 2010). Le premier mésocycle, nommé « accumulation », consiste à se concentrer sur les capacités de base de l'athlète. Ce premier mésocycle comporte généralement un volume élevé. Le deuxième, nommé « transmutation », recherche le développement des qualités spécifiques au sport. Ce

mésocycle comporte généralement une intensité élevée. Enfin, le troisième, de « réalisation », se concentre sur la récupération et l'affutage vers la compétition (Figure 30).

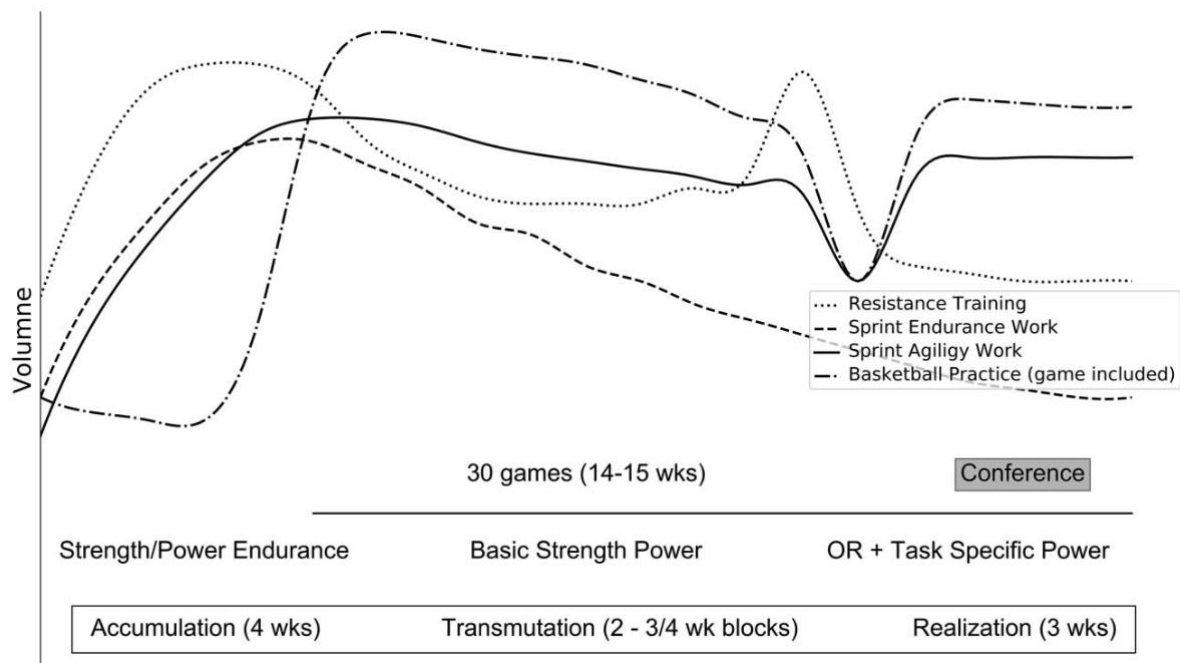


Figure 30. Exemple d'une planification en bloc multifactoriel/semi-unidirectionnel. OR : surmenage planifié. D'après (Stone et al., 2021).

Les principes fondateurs de cette méthode stipulent que l'entraînement doit s'atteler à utiliser un grand nombre d'exercices et de situations permettant le développement de qualités bien spécifiques. Pour Issurin, cela correspond à 60-70% du temps total de travail. Il note qu'un « programme d'entraînement aussi fortement concentré n'est possible que pour un nombre minimal de qualités athlétiques » (Issurin, 2010). Il s'agit du deuxième principe de la planification en bloc. Ce principe s'appuie sur le fait que dans la majorité des sports, les qualités décisives à la performance dépassent le nombre de qualités pouvant être travaillées simultanément de manière optimale (avec des charges de travail suffisantes), permettant leur développement. De ce fait, le troisième principe découlant des deux premiers avance que l'entraînement consécutif et non simultané des qualités physiques est la seule option viable

dans un système d'entraînement en bloc. Enfin, le quatrième principe suggère que les blocs doivent être séquencés dans un ordre logique pour bénéficier des effets résiduels des blocs précédents (Stone et al., 2021) (Figure 31).

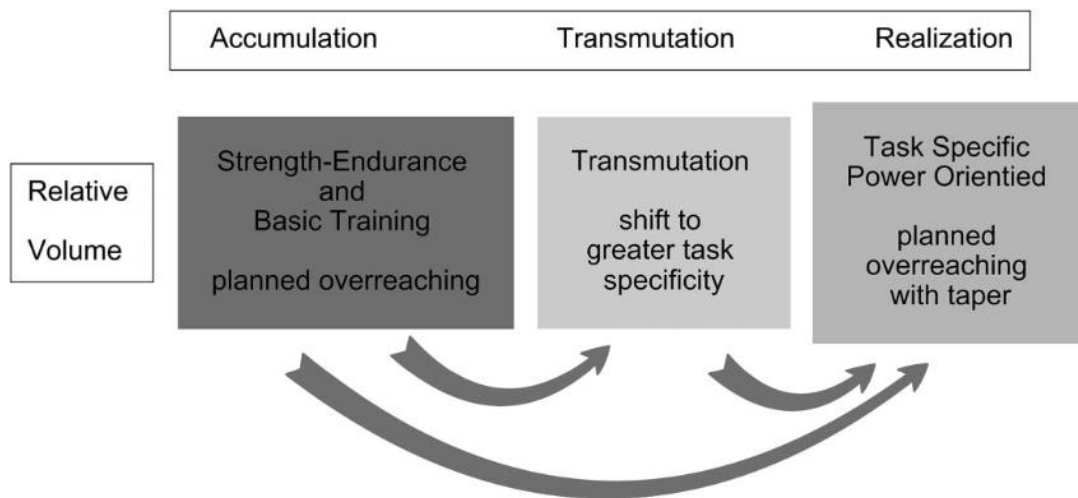


Figure 31. Effets résiduels de l'entraînement produits par les différents mésocycles de la planification en bloc. D'après (Stone et al., 2021).

En effet, toute la théorie de la planification en bloc repose sur trois concepts qui sont les effets cumulatifs, résiduels, et retardés (le « long-lasting delayed effect ») (Issurin, 2010). Issurin définit les effets cumulatifs comme « les changements dans les capacités physiologiques et le niveau des aptitudes physiques/techniques résultant d'une préparation athlétique de longue durée » (Issurin, 2008). Cet effet est le principe de base de la théorie de la planification au sens large. Ce principe permet d'assurer que des entraînements visant le développement de qualités différentes à long terme, se cumulent afin de participer à la performance globale de l'athlète en compétition plus tard dans la saison, ou dans la carrière de l'athlète (Issurin, 2010). Les effets résiduels de l'entraînement sont particulièrement importants dans la mise en place de la planification en bloc. L'effet résiduel fait directement appel au principe fondamental de l'entraînement de réversibilité, et au modèle fitness-fatigue introduit par Banister (Banister,

1991; Stone et al., 2021). Du fait de la sélection des qualités travaillées, et donc que d'autres soient mises de côté pour une période donnée plus ou moins longue, il est indispensable que les qualités non travaillées maintiennent un haut niveau de performance après leur arrêt. Ce maintien des capacités a été définie comme « la rétention des changements induits par des charges de travail systématiques au-delà d'une certaine période de temps après l'arrêt de l'entraînement » (Issurin, 2008). Ce principe, d'abord introduit par Brian et James Counsilman (Counsilman & Counsilman, 1991), a un intérêt particulier pour les effets de l'entraînement à court terme. L'entraînement, comme effectué dans la planification traditionnelle, recherchant le développement conjoint de multiples qualités physiques n'entraîne qu'un risque négligeable de désentraînement. En effet, chaque qualité physique reçoit des stimuli d'entraînement récurrents permettant son maintien. Au contraire, la planification en bloc, dont le développement des qualités est consécutif, entraîne un risque accru de désentraînement (Issurin, 2010) (Figure 32).



Figure 32. Comparaison des durées des effets résiduels de l'entraînement en unité arbitraire de chaque qualité. D'après (Stone et al., 2021).

Si l'athlète perd les bénéfices de son entraînement, lorsqu'il cesse d'entraîner une qualité au profit d'une autre, la connaissance des durées de rétention des qualités physiques devient alors primordiale. Ce principe rejoint les études portant sur le désentraînement, ayant montré des diminutions significatives des performances en force et sur le $\dot{V}O_2\text{max}$ de l'ordre de 2 à 5% en l'espace de 3 à 4 semaines (Mujika & Padilla, 2000). Cependant, la durée de rétention des

qualités nécessaires en compétition varie de manière inter- et intra-individuelle, selon le niveau de l'athlète, l'état de forme, et les contenus d'entraînement précédant l'arrêt (Stone et al., 2021).

Enfin le troisième principe d'effets retardés se manifeste à l'aide de charges de travail très concentrées lors d'une première phase, suivi de charges réduites dans un second temps (Verkhoshansky, 1988). Ce concept présuppose qu'une diminution des performances, et de l'état de forme, de grande ampleur dans la première phase (due aux charges importantes), se traduira par une réaction positive de plus grande ampleur lors de la seconde phase de manière retardée. Ce concept a été mis en avant par Verkhoshansky, suite à l'observation, que le pic de forme apparaissait comme décalé suite à la diminution des charges de travail, d'où le terme de « retardé » (Issurin, 2019; Suarez et al., 2019). La prédiction, l'évaluation et la planification des effets cumulatifs et résiduels de l'entraînement, ainsi que le décalage du pic de forme, semblent être des composantes indispensables de la planification en bloc.

II.2.4. Planification polarisée, pyramidale, au seuil

Toutes les planifications présentées précédemment sont généralement testées et utilisées dans les sports à dominante neuromusculaire. Bien que celles-ci puissent également être employées dans le cas des sports d'endurance, les intensités d'entraînement sont prescrites différemment. L'objectif de ces planifications est alors d'améliorer les facteurs physiologiques à l'origine de la performance compétitive des sports d'endurance. Ces facteurs comprennent le $\dot{V}O_2\text{max}$, la vitesse associée au $\dot{V}O_2\text{max}$, l'économie de course, le seuil de lactate, et la capacité à maintenir un pourcentage élevé de $\dot{V}O_2\text{max}$ pendant la compétition (Casado, González-Mohíno, González-Ravé, & Foster, 2022). Les intensités sont généralement prescrites sous la forme de 3 zones d'entraînement. La zone 1 représente les vitesses inférieures au premier seuil

ventilatoire ; la zone 2 représente les vitesses entre les 2 seuils ventilatoires ; la zone 3 représente les vitesses supérieures au second seuil ventilatoire (Figure 33).

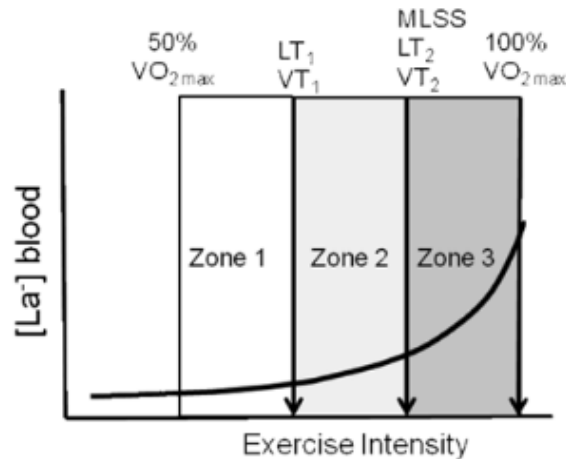


Figure 33. Modèle à trois zones d'intensité basé sur l'identification des seuils ventilatoires. La⁻ : lactate ; LT : Seuil lactique ; VT : seuil ventilatoire ; MLSS : État d'équilibre maximal du lactate. D'après (Seiler, 2010).

Afin d'analyser l'effet de combinaisons particulières de volume et d'intensité d'entraînement dans chacune de ces zones, différents modèles ont été décrits : le modèle pyramidal, le modèle polarisé, et le modèle au seuil. Le modèle pyramidal est caractérisé par un volume d'entraînement décroissant de zone 1 à zone 3. Environ 80 % du volume est réalisé en zone 1 et les 20 % restants en zone 2 et zone 3 (Seiler, 2010). Le modèle polarisé se caractérise par la réalisation d'environ 80 % du volume en zone 1, la plupart des 20 % restants étant effectués en zone 3. La zone 2 est entraînée le moins possible. Le modèle au seuil se caractérise par une proportion plus élevée du volume global réalisé en zone 2 (c'est-à-dire environ 35%) par rapport aux autres modèles. Ce pourcentage spécifique du volume d'entraînement a été utilisé comme seuil délimitant la frontière supérieure de zone 2 dans un modèle pyramidal, étant donné qu'il laisse toujours la possibilité d'accumuler la majorité du volume d'entraînement (c'est-à-dire 60% à 62%) en zone 1. Les revues de littératures semblent rapporter des gains comparables entre planification pyramidale et polarisée (Casado et al., 2022; Kenneally,

Casado, & Santos-Concejero, 2018). Par ailleurs Casado et al. concluent leur revue de littérature en proposant l'utilisation de planifications linéaires (traditionnelles) accompagnée d'une prescription pyramidale ou polarisée de l'intensité d'entraînement (Casado et al., 2022).

À retenir :

- Les modèles de planification étudiés se distinguent dans l'évolution des charges de travail et les variations proposées.
- Tous ces modèles de planification ont montré leur intérêt dans la préparation de nombreux athlètes individuels. En effet, la planification de l'entraînement pour un individu peut sembler facilitante du fait de l'adaptation de l'entraîneur à un seul et unique athlète.
- Il semblerait que la capacité du modèle à proposer des variations dans les charges, en permettant de maintenir un stimulus d'ampleur et de durée suffisamment importante pour chaque qualité, permettra les adaptations chez l'athlète.

II.3. Planification – le cas particulier des sports collectifs

II.3.1. Définition et challenges

La récurrence des compétitions dans les sports collectifs exige que les athlètes performant au plus haut niveau avec régularité sur des périodes pouvant s'étendre jusqu'à dix mois (Mujika, Halson, Burke, Balagué, & Farrow, 2018). L'objectif en sport collectif est alors de remporter le plus de matchs possible afin de figurer au mieux dans le classement final pour remporter le championnat. Les sports collectifs se caractérisent également par le nombre important de qualités physiques requises à la performance (Stone et al., 2021). Or, l'entraînement dans ces sports doit également se porter sur des aspects techniques et tactiques, afin d'assurer la performance collective (Gamble, 2013). La manipulation appropriée des charges d'entraînement selon les différentes périodes de l'année prend alors tout son sens, pour permettre successivement le développement du potentiel individuel et collectif, et la performance compétitive (Mujika et al., 2018). Trois périodes distinctes sont alors distinguées : la présaison, la saison, et l'intersaison. Selon Platonov, ces périodes devraient respectivement durer entre 8 et 12 semaines, 8 à 9 mois, et 3 à 4 semaines (Platonov, 2013). Les études ayant observé l'évolution des charges d'entraînement au cours de l'année mettent en avant des charges d'entraînement supérieures en présaison en comparaison de la saison compétitive afin de développer les athlètes (Moreira et al., 2015). Cela se traduit par une s-RPE (difficulté subjective de la séance notée sur l'échelle RPE, multipliée par la durée de séance) supérieure, pour tous les types d'entraînement en faveur de la présaison (Figure 34). Seuls les matchs entraînent une charge de travail supérieure en saison par rapport à la présaison. Ces charges élevées en présaison sont perçues comme indispensables à la réussite en saison, du fait de la nécessité de réduire les charges d'entraînement à l'approche de la compétition pour permettre une performance maximale (Gamble, 2013; Windt, Gabbett, Ferris, & Khan, 2017).

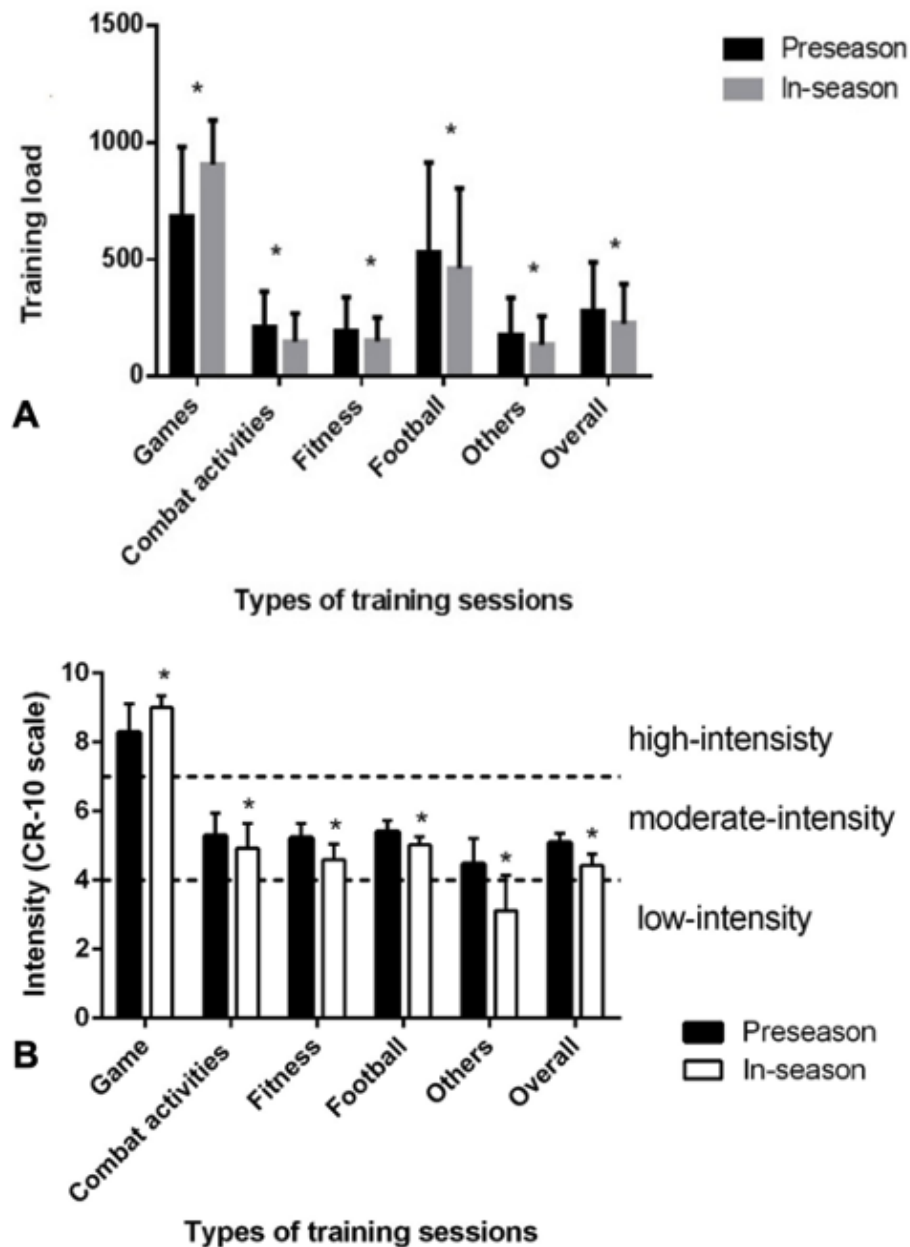


Figure 34. Charge de travail (A) et intensité (B) des séances en pré-saison et en saison. La pré-saison représente une partie plus intense et chargée que la saison compétitive pour la majeure partie des composantes, mis à part les matchs. D'après (Moreira et al., 2015).

La pré-saison se termine souvent par une diminution des charges de travail afin d'atteindre un pic de forme au début de la saison compétitive, que les entraîneurs tentent de maintenir tout au long de la saison (Manzi et al., 2010). Cependant cela reste dépendant du sport et des choix des staffs (Maurelli, Bernard, Dubois, Ahmaidi & Prioux, 2019). L'objectif de maintien des

qualités physique peut alors être complexe à satisfaire (Platonov, 2013). La proportion entre le temps d'entraînement et de compétition, menant à des charges d'entraînement insuffisantes en saison, peut ne pas permettre de maintenir les qualités physiques durant toute la saison (Lyakh et al., 2016). On observe en effet, entre la fin de la présaison, et la fin de saison, une diminution des indices de performance neuromusculaire comme le temps en sprint ou la capacité d'accélération, pour un maintien des indices de performance d'endurance (Mara, Thompson, Pumpa, & Ball, 2015) (Figure 35). Dans les sports de collision comme le rugby, certains auteurs ont suggéré que les dommages conséquents subis par les tissus musculaires peuvent compromettre le volume et l'intensité de l'entraînement musculaire que les joueurs sont capables d'effectuer, ce qui expliquerait la diminution des indices de performance neuromusculaire (Hoffman & Kang, 2003). Il semblerait alors qu'une fois la saison compétitive lancée, l'objectif des praticiens soit au minimum de maintenir le niveau physique de leurs athlètes afin de conserver un haut potentiel de performance. Pourtant, en handball, il a été rapporté que les niveaux physiques mesurés sur ergomètres isocinétiques ne subissaient pas de perte entre la présaison et la fin de saison (Maurelli, Bernard, Dubois, Ahmaidi & Prioux, 2019). Les méthodes d'entraînement utilisés en saison peuvent donc impacter le maintien des qualités physiques.

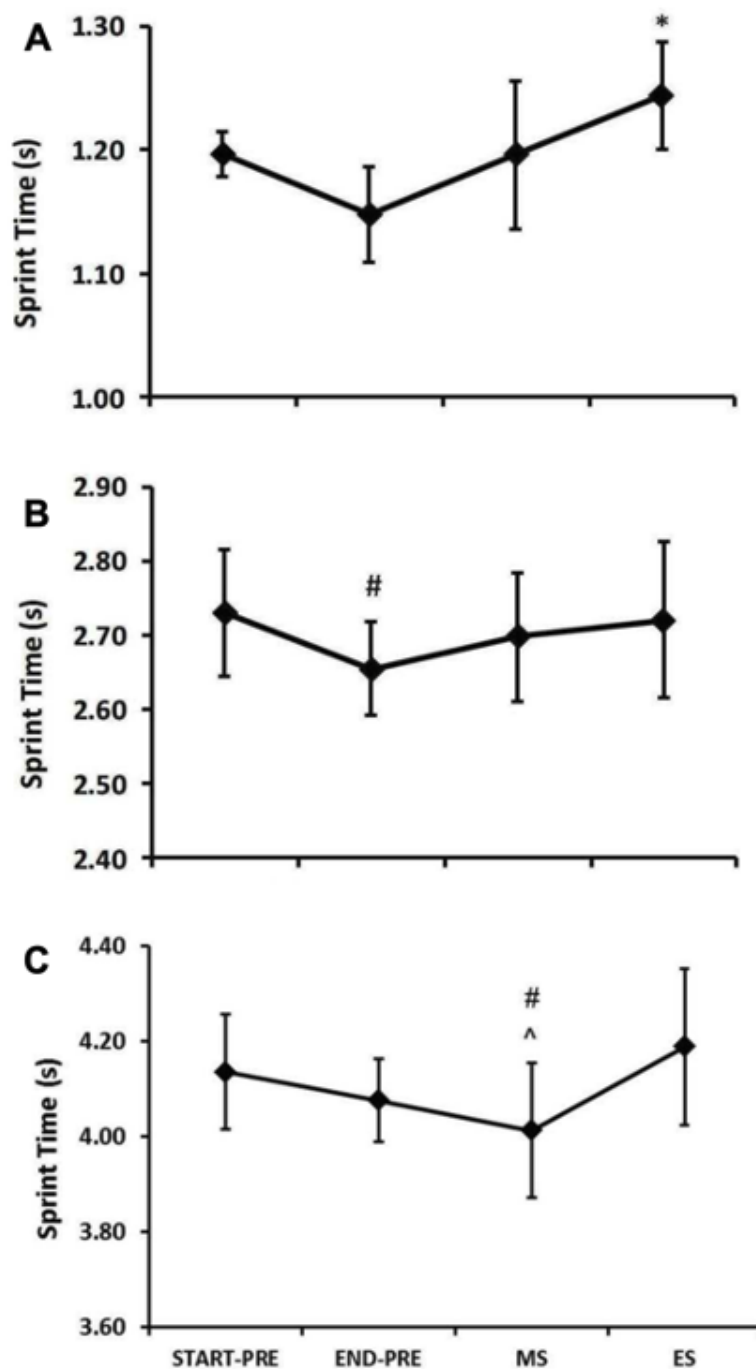


Figure 35. Temps en sprint sur (A) 5m, (B) 15m, (C) 25m. START-PRE : Début présaison ; END-PRE : fin de présaison ; MS : moitié de saison ; ES : fin de saison. * différence avec « START-PRE » ; ^ Différence avec « ES ». En fin de saison compétitive, la performance neuromusculaire attestée par les temps en sprint sur différentes distances montrent des diminutions en comparaison de la présaison ou d'autres moments de la saison. D'après (Mara et al., 2015).

Des études réalisées sous forme de questionnaire auprès des staffs dans les sports collectifs ont montré que les praticiens se reposaient sur la planification afin de maîtriser tous les paramètres d'entraînement pour maintenir les niveaux physiques en saison (Durell, Puyol, & Barnes, 2003; Ebben & Blackard, 2001; Ebben, Carroll, & Simenz, 2004; Ebben, Hintz, & Simenz, 2005; Simenz, Dugan, & Ebben, 2005). Ces études montrent également que les praticiens doivent bien souvent planifier des entraînements aux réponses physiologiques contradictoires sur des jours identiques du fait du faible temps accordé au développement des qualités physiques. Comme énoncé précédemment, le développement conjoint des qualités aérobies et de force a montré des interférences, qui peuvent mener à des gains de force et de puissance plus faibles (Hickson, 1980; Kraemer et al., 1995). Bien que tous ces résultats démontrent la complexité de l'entraînement en sport collectif, il a été suggéré que le premier facteur de développement d'un athlète repose sur le principe fondamental de variation (Gamble, 2013; Selye, 1956). Pourtant, dans le football, des études ont rapporté une variation très faible des charges d'entraînement d'une semaine à l'autre et à l'intérieur des semaines en Liga Espagnole, (Los Arcos et al., 2017), et en Premier League Anglaise (J. J. Malone, Di Michele, et al., 2015) expliquée par une redondance des exigences physiques issues des contenus d'entraînement.

Pour complexifier encore un peu plus la planification en sport collectif, il est important de considérer la variabilité inter-individuelle des athlètes composant l'équipe. En effet, comme cela l'a été montré plus tôt, chaque individu réagit différemment à des stimuli identiques, selon le concept de charge interne (Impellizzeri et al., 2019). La partie collective et non-individualisée représente une partie très importante du temps d'entraînement. Cela mène donc à des états de forme variables, difficilement prévisibles, et complexe à gérer. Bien que ce temps collectif soit indispensable à la performance, l'individualisation de l'entraînement, même dans ces sports, doit faire partie des préoccupations des praticiens, comme énoncé par les principes fondamentaux de l'entraînement (Boullosa et al., 2020). Cela permet de mieux contrôler la

relation entre condition physique et fatigue comme énoncé par Banister (Banister, 1991) en évitant tout pic de charge soudain, pouvant mener à des risques de blessure accrus et de sous-performance (S. Malone, Owen, et al., 2017). De plus, les praticiens doivent également considérer les demandes compétitives variables entre les athlètes. En effet, le sport collectif se caractérise par des compositions d'équipe comprenant différents postes dont les objectifs tactiques varient (Di Salvo et al., 2007; Quarrie et al., 2013). Ces objectifs variables mènent donc à des demandes physiologiques divergentes qu'il faut considérer dans l'entraînement afin de recréer les exigences compétitives relatives à chacun de ces postes pour optimiser leur performance. Afin de parvenir à optimiser les effets de l'entraînement dans les sports collectifs, il a été suggéré que l'utilisation de planification puisse avoir un intérêt certain. De plus, certains auteurs ont mentionné que la particularité du calendrier en sport collectif nécessite l'utilisation de divers modèles de planification selon la période de l'année.

II.3.2. Application des modèles de planification

Bien que son utilisation ait été critiquée même dans les sports individuels, la planification traditionnelle peut trouver son intérêt dans les sports collectifs. En effet, la planification traditionnelle a notamment été critiquée dans sa capacité à atteindre de multiples pics de performance, nécessaires dans les sports collectifs caractérisés par la récurrence compétitive. Pourtant, dans le sport collectif, la présaison se dégage comme étant une période particulière, dans laquelle la compétition est inexistante. Dans cette période, les praticiens proposent généralement des charges d'entraînement volumineuses en début de présaison, avant de progressivement diminuer le volume et d'augmenter légèrement l'intensité des séances (Killen, Gabbett, & Jenkins, 2010). La charge de travail diminue généralement à mesure que l'on approche de la compétition pour débiter la compétition dans un état de forme optimal (Manzi et al., 2010; Mujika et al., 2018). De plus, le fait de travailler de manière conjointe l'ensemble

des qualités spécifiques au sport comme le propose la planification traditionnelle permet d'acquérir en un minimum de temps une base solide (Issurin, 2010). De ce fait, il est possible de considérer que les praticiens utilisent une planification traditionnelle, même dans le sport collectif, en présaison.

En saison, cependant, ce modèle ne peut être utilisé pour toutes les limites que nous avons évoqués (Hoffman & Kang, 2003). En effet, l'utilisation du modèle « classique » de planification dans le sport collectif en saison a montré des diminutions significatives de la masse maigre (Allerheiligen, 2003), de la force maximale des muscles les plus importants à la performance (Schneider, Arnold, Martin, & Crocker, 1998), de la puissance maximale anaérobie (Hakkinen, 1993), et de la vitesse maximale (Kraemer et al., 2004). Appliqués au sport collectif en saison, les concepts de pic de forme et d'affutage comme considérés dans la planification traditionnelle, ne semblent pouvoir s'appliquer (Issurin, 2010).

En effet, de nombreuses études ont tenté d'intégrer la planification ondulée, ou en bloc, pour les comparer à la planification traditionnelle, ou bien même les comparer entre elles. Des études dans le hockey sur glace (Rønnestad, Øfsteng, & Ellefsen, 2019), le basketball (Pliauga et al., 2018), ou même le handball (Manchando, Cortell-Tormo, & Tortosa-Martinez, 2018) semblent montrer des effets supérieurs de la planification en bloc en comparaison de la planification traditionnelle (Figure 36).

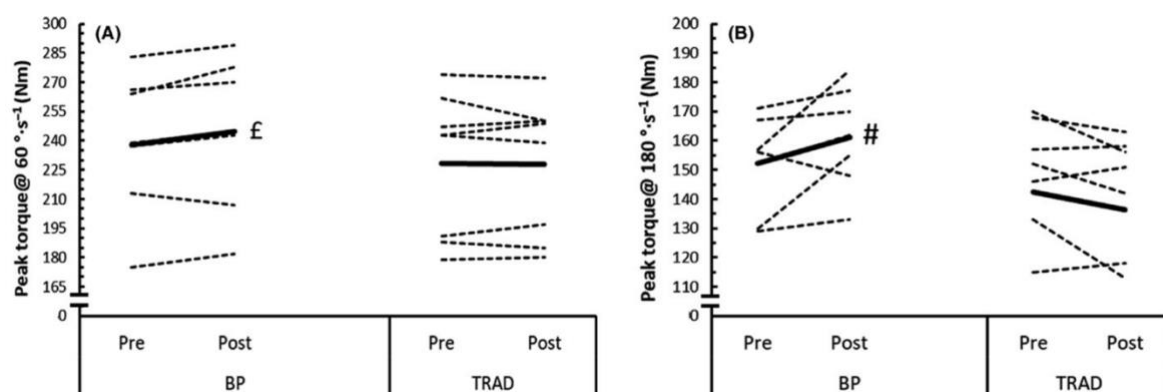


Figure 36. Les résultats individuels (lignes pointillées) et moyens (lignes pleines) du couple maximal en extension du genou à $60^{\circ}.s^{-1}$ (A) et du couple maximal en extension du genou à $180^{\circ}.s^{-1}$ (B) pour le groupe de planification en bloc (BP) et le groupe traditionnel (TRAD). £ Tendances à augmenter par rapport à Pre ($P = 0,08$), # Le changement par rapport à Pre est plus grand que dans TRAD ($P < 0,05$). La planification en bloc semble promouvoir des adaptations supérieures en comparaison de la planification traditionnelle. D'après (Rønnestad et al., 2019).

Malgré les recherches concernant les modèles de planification à long terme permettant d'optimiser le développement des qualités physiques, il semblerait que la place accordée à ceux-ci soit en pratique limitée dans les sports collectifs. Ces résultats sont le fruit de l'émergence d'une méthodologie d'entraînement nommée « planification tactique » qui se déroule à l'échelle de la semaine (du microcycle). Traditionnellement, cette méthodologie utilise le terme de morphocycle pour décrire la période entre deux matchs consécutifs. Par souci de clarté, nous conserverons le terme de microcycle. Cette méthodologie a été mise en place du fait du temps limité pour préparer les matchs. De ce fait, les entraînements rassemblent les composantes techniques, tactiques et physiques (Romero-Caballero, Varela-Olalla, Collado-Lázaro, & Álvarez-Salvador, 2022). Cette intégration de toutes les composantes permettrait de mieux intégrer les exigences tactiques dictées par le projet de jeu de l'entraîneur (Tee, Ashford, & Piggott, 2018). En effet, une enquête récente montrait que 66,7% des entraîneurs de basketball priorisaient la planification du microcycle par rapport à la planification en bloc (30,0%) ou traditionnelle (16,7%). Ces résultats se confirmaient également en football (microcycle : 84,2% ; bloc : 6,3% ; traditionnelle : 5,3%), et en futsal (microcycle : 66,7% ; bloc : 5,6% ; traditionnelle : 27,8%) (Romero-caballero & Olalla, 2020). En football plus particulièrement, à l'approche des catégories séniors, en U19, le pourcentage de réponse d'utilisation de la planification à l'échelle du microcycle atteignait même 94,4% des (Romero-Caballero et al., 2022). D'un point de vue physique, ce concept de planification tactique propose qu'une qualité physique ainsi qu'une charge de travail particulière soit proposée chaque jour selon sa distance par rapport au match. De ce fait, il est proposé d'intégrer

un jour de repos à J+1 ou J+2, avec une journée dédiée à un entraînement orienté vers la récupération active sur la seconde journée (généralement du travail aérobique à faible intensité (Trecroci et al., 2020)). À la suite de cette période de récupération, les entraîneurs proposent lors des journées à charge de travail élevées (à J-4 et J-3) une journée orientée sur la qualité de force, puis aérobique. Enfin à J-2, la qualité de vitesse est priorisée, et à J-1, une journée de récupération active, voire « d'activation » (en utilisant du travail de vivacité (Brito et al., 2016)), est conseillée (Figure 37) (Tableau 3). On observe alors régulièrement dans la littérature scientifique des rapports de contenus d'entraînement décrivant une planification reprenant les concepts de la planification tactique (Coppalle, Ravé, Moran, Salhi, Abderrahman, et al., 2021; Oliva-Lozano, Gómez-Carmona, Fortes, & Pino-Ortega, 2022).

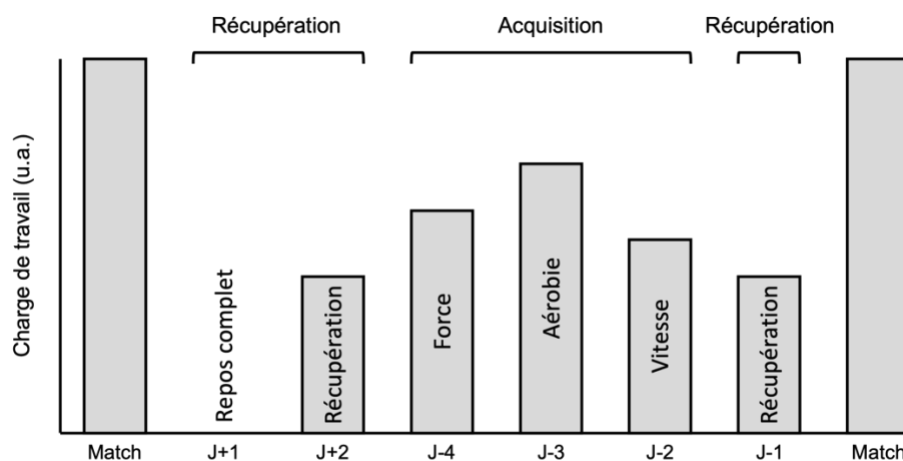


Figure 37. Planification du microcycle selon la méthodologie de la planification tactique. Redessiné d'après (Tee et al., 2018).

Cette méthodologie, d'un point de vue physique, repose notamment sur le fait qu'entraîner les qualités de manière isolée fonctionnerait mieux que de manière combinée (Methenitis, 2018). Quoiqu'il en soit, encore à ce jour, cette méthodologie n'a pas montré son intérêt dans le développement des qualités physiques des joueurs de haut niveau malgré sa vaste utilisation (Tee et al., 2018).

Tableau 3. Caractéristiques des microcycles courts, normaux et longs.

Length	Day	Description
Short microcycles	MD+1	Regeneration exercises and low-impact activities for the group of players who played more than 45 minutes in the match while the rest of the players had to compensate with rondos, possession drills, high-intensity circuits, and small-sided games.
	MD-4	Similar to MD+1 with an increase in intensity through positional games.
	MD-3	MD-3 (for five-day microcycles) were similar to MD+1 with an increase in intensity through positional games while MD-3 (for six-day microcycles) were characterized by transition drills, positional games, and 11 vs. 11 matches.
	MD-2	Light strength training, pressing tasks, and small-sided games.
	MD-1	Review of tactical elements regarding the match, play small-sided games, and perform activation drills.
	MD	Match day.
Regular microcycles	MD+1	Regeneration exercises and low-impact activities for the group of players who played more than 45 minutes in the match while the rest of the players had to compensate with rondos, possession drills, high-intensity circuits, and small-sided games.
	MD+2	Resting days.
	MD-4	Strength training, pressing tasks, and small-sided games.
	MD-3	Strength training, pressing tasks, small-sided, and medium-sided games.
	MD-2	Preventive strength training, rondos, control, and passing tasks, tactical drills.
	MD-1	MD-1 included activation drills, small-sided games, and review of the tactical keys regarding the match.
	MD	Match day.
Long microcycles	MD+1	Regeneration exercises and low-impact activities for the group of players who played more than 45 minutes in the match while the rest of the players had to compensate with rondos, possession drills, high-intensity circuits, and small-sided games.
	MD+2	Resting days
	MD-5	Activation drills, rondos, and 11 vs 11 games (half pitch).
	MD-4	Strength training, pressing tasks, and small-sided games.
	MD-3	Moderate-intensity positional games, transition drills, and 11 vs 11 matches.
	MD-2	Preventive strength training, rondos, tactical drills, control and passing tasks.
	MD-1	Activation drills, 6x6+6 small-sided games, and review of tactical keys regarding the match.
MD	Match day.	

MD : jour de match. D'après (Oliva-Lozano, Gómez-Carmona, Fortes, et al., 2022).

II.3.3. Le microcycle compétitif

Dans les sports collectifs, le microcycle en saison débute le lendemain du dernier match compétitif et se termine à la suite du prochain match. Dans la majeure partie des cas, ce microcycle dure une semaine (un match compétitif par semaine). La nomenclature utilisée dans la planification tactique pour spécifier les contenus d'entraînement selon la distance de la journée par rapport au match permet de comprendre les objectifs recherchés à travers la planification du microcycle en football. En effet, les deux premiers jours du microcycle (J+1 et J+2), exprimés par un « + » démontre que ces journées seront dédiées à la récupération des efforts réalisés en match. Il a été démontré que la fatigue suivant un match pouvait être perceptible jusqu'à 48-72h selon les variables mesurées (Nédélec et al., 2012). Cette fatigue se

présente notamment sous plusieurs formes. On observe une déplétion des stocks de glycogène entraînant une diminution de la capacité de sprint durant les 2 à 3 jours suivant le match (Bangsbo, Mohr, & Krstrup, 2006; Nédélec et al., 2012). Des dommages musculaires sont également observables à l'aide de marqueurs tels que la force de contraction volontaire maximale, les marqueurs sanguins tels que les concentrations de créatine kinase (CK) et de myoglobine, la douleur musculaire, l'amplitude des mouvements et le gonflement (Nédélec et al., 2012; Rampinini et al., 2011). Ces marqueurs attestent notamment de la rupture mécanique de la fibre, y compris les dommages à la membrane, les perturbations myofibrillaires caractérisées par la désorganisation des myofilaments et la perte de l'intégrité des stries Z au niveau des sarcomères (Raastad et al., 2010). Dans le but de diminuer le risque de blessure, et d'optimiser l'état de forme futur, il a été proposé que les praticiens se tournent vers des méthodes de récupération lors de ces journées (Trecroci et al., 2020). Les praticiens rapportaient d'ailleurs adapter leur programmation des contenus du microcycle selon le coût énergétique estimé du match précédent, afin de favoriser prioritairement la récupération (R. Cross, Siegler, Marshall, & Lovell, 2019).

À la suite de ces deux jours, le restant de la semaine est exprimé par des « - » ce qui signifie que l'on bascule dans la préparation du match suivant. Cela sous-entend donc que les praticiens doivent trouver le moyen d'optimiser la performance en compétition de leurs athlètes lors de ces quatre journées. Pour autant, nous avons vu auparavant que le maintien/développement du niveau physique des athlètes représentait un challenge majeur de la planification en sport collectif. De ce fait, les quatre jours menant à la compétition doivent alors permettre un maintien/développement du niveau physique, tout en permettant la performance en match. On comprend alors facilement que le maintien des qualités physiques puisse être un défi de taille, ce qui explique les résultats démontrant des niveaux physiques en baisse à mesure que la saison avance (Kraemer et al., 2004; Mara et al., 2015). Récemment, une revue de littérature a donné

des recommandations concernant la dose minimale d'entraînement nécessaire au maintien des qualités d'endurance et de force (Spiering, Mujika, Sharp, & Foulis, 2021). Concernant l'endurance, la fréquence d'entraînement ne devrait pas être réduite de plus de 20% par rapport à la quantité utilisée lors de la phase de développement (Houmard, 1991; Mujika & Padilla, 2000). Le volume d'entraînement, quant à lui, pourrait être diminué jusqu'à 33% sans diminution de performance, à condition que la fréquence, et l'intensité d'entraînement soient maintenues (Spiering et al., 2021). L'intensité enfin, devrait être maintenue pour contrer le désentraînement (Hickson, Foster, Pollock, Galassi, & Rich, 1985) (Figure 38).

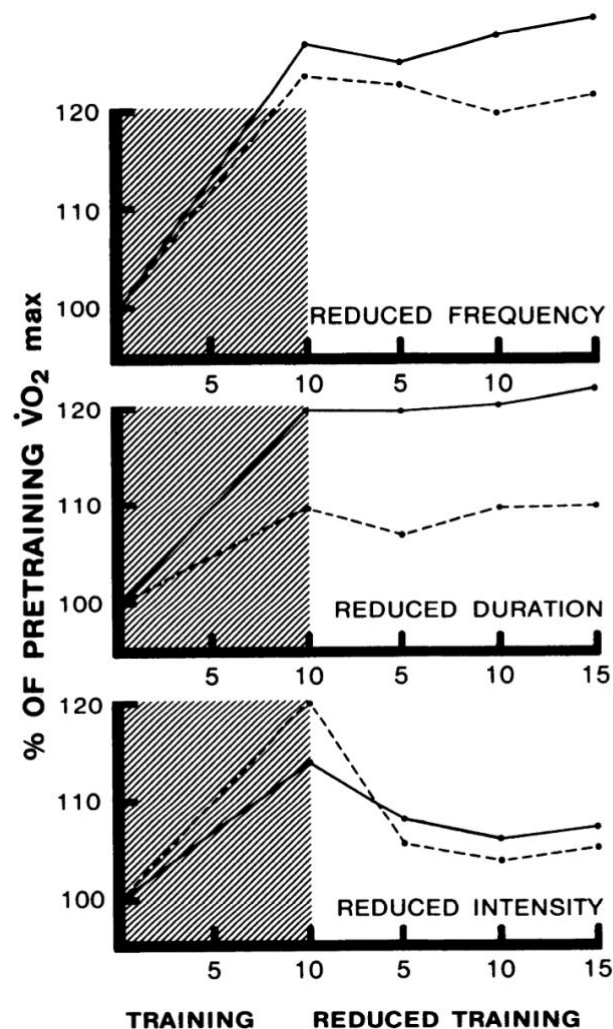


Figure 38. Effets d'un entraînement de 10 semaines suivi d'une réduction d'un tiers (lignes pleines) et de deux tiers (lignes brisées) de la fréquence, de la durée et de l'intensité d'entraînement sur la consommation maximale d'oxygène sur tapis roulant. D'après (Hickson et al., 1985).

Concernant l'entraînement de force, il a été constaté que des joueurs de football professionnels réalisant une séance d'entraînement en force par semaine maintenaient leur 1RM en squat et leur vitesse de sprint pendant 12 semaines. Cependant, lorsqu'une séance de musculation toutes les 2 semaines était prescrite, les athlètes connaissaient une baisse significative de leur 1RM de squat (et une diminution de leur vitesse de sprint) après 12 semaines (Rønnestad, Nymark, & Raastad, 2011) (Figure 39). De plus, si l'on considère une population entraînée en force, les recommandations de l'American College of Sports Medicine s'orientent vers une fréquence d'entraînement de 1 à 2 séances par semaine pour maintenir un niveau de force. Le développement de cette qualité devrait alors être réalisé en utilisant une fréquence d'entraînement supérieure (Ratamess, Alvar, & Kraemer, 2009).

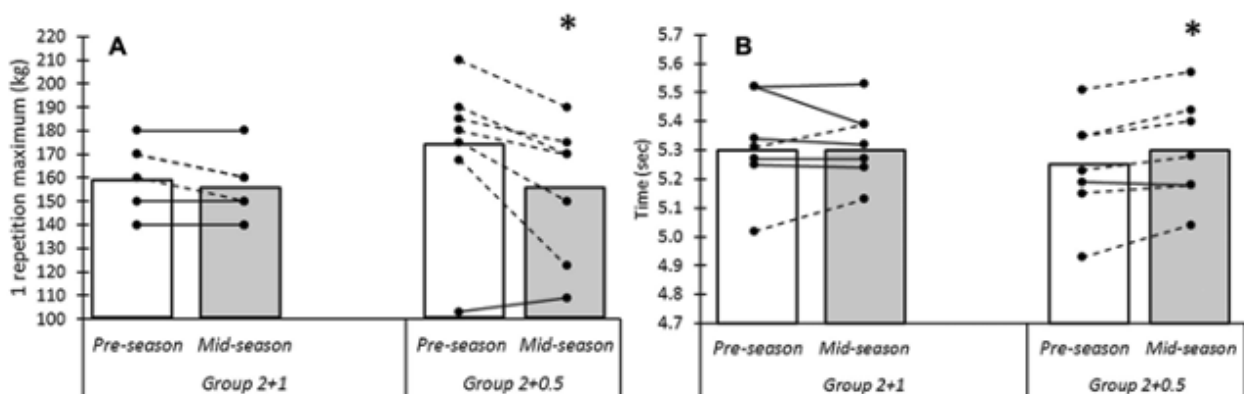


Figure 39. 1RM au back squat (A) et temps de sprint au quarante mètres (B) avant le début de la saison (présaison) et après 12 semaines de saison (mi-saison) dans le groupe ayant effectué un entraînement en force par semaine (groupe 2 + 1) et le groupe ayant effectué un entraînement en force toutes les deux semaines (groupe 2 + 0,5). Les points de données individuels sont indiqués. Les colonnes représentent la valeur moyenne. D'après (Rønnestad et al., 2011).

Malgré ces objectifs à atteindre lors de la planification du microcycle, à ce jour, il n'existe pas de directive claire dans la littérature scientifique concernant la planification du microcycle en football. Cette absence de ligne directrice pourrait permettre à chaque praticien de mettre en place sa méthodologie et sa planification en place selon son contexte d'intervention (par

exemple, recherche de développement vs recherche de résultats compétitifs). Pourtant, lorsque l'on observe la littérature scientifique évoquant la planification du microcycle, l'évolution des charges de travail au cours de la semaine est très homogène, que ce soit au niveau professionnel chez les hommes (Richard Akenhead, Harley, & Tweddle, 2016; Anderson et al., 2016; Brito et al., 2016; Castillo, Raya-González, Weston, & Yanci, 2019; Clemente et al., 2019, 2020; Guerrero-Calderón, Fradua, Morcillo, & Castillo-Rodríguez, 2022; J. J. Malone, Di Michele, et al., 2015; Martín-García et al., 2018; Oliva-Lozano et al., 2022; Owen, Lago-Peñs, Gómez, Mendes, & Dellal, 2017; Raya-González, Mendez-Villanueva, & Los Arcos, 2020; Stevens, de Ruiter, Twisk, Savelsbergh, & Beek, 2017), chez les femmes (Diaz-Seradilla et al., 2022), ou chez les jeunes (Coppalle, Ravé, Moran, Salhi, Abderrahman, et al., 2021; Coutinho et al., 2015; Wrigley, Drust, Stratton, Scott, & Gregson, 2012). En effet, la littérature rapporte une évolution des charges reprenant les concepts de la planification tactique. Les différences entre les planifications se situent alors sur les jours de repos suivants le match, parfois à J+1 (Figure 0D) ou à J+1 et J+2 (Figure 40C). Aussi, la journée comportant les charges de travail les plus élevées, varient entre à J-4 et J-3 (Figure 40B).

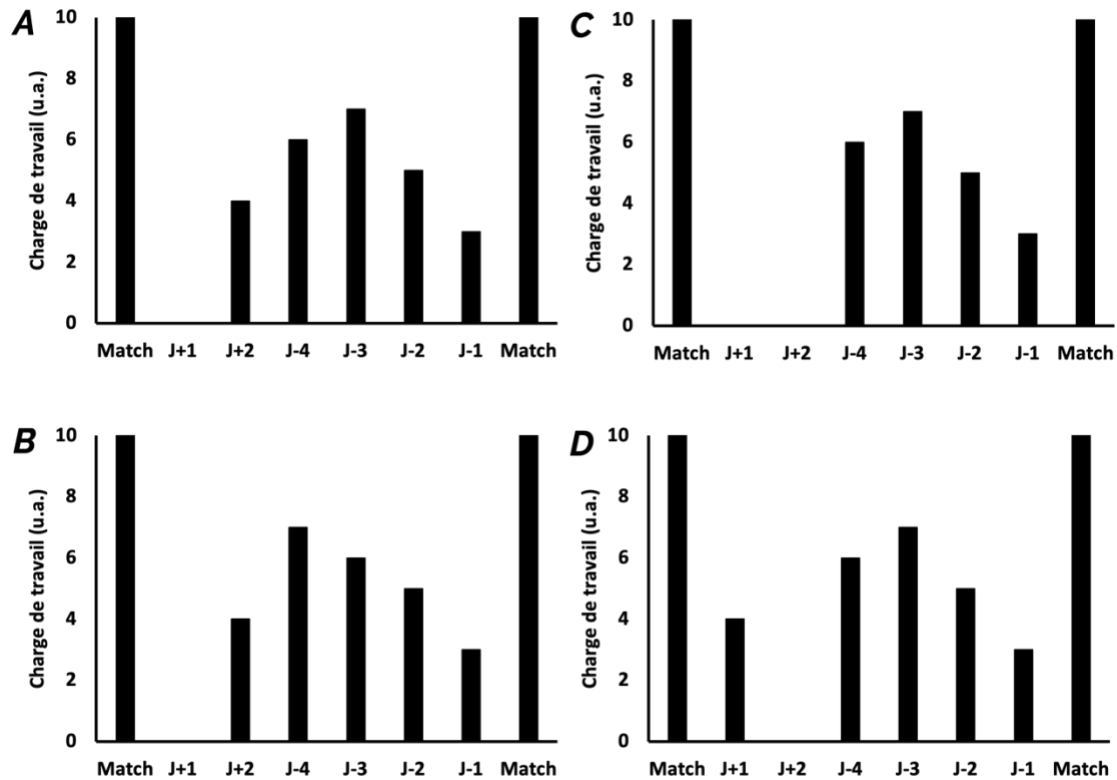


Figure 40. Évolution des charges de travail en unité arbitraire lors du microcycle compétitif selon différents formats retrouvés dans la littérature. A : planification la plus répandue avec une journée de repos complet à J+1 et la charge la plus élevée à J-3. B : planification classique avec une inversion entre J-4 et J-3. C : planification à deux jours de repos complets. D : Planification avec jour de repos à J-2 au lieu de J-1. D'après (R Akenhead et al., 2016; Anderson et al., 2016; Brito et al., 2016; Castillo et al., 2019; Clemente, Owen, et al., 2019; Clemente et al., 2020; Coppalle, Ravé, Moran, Salhi, Abderrahman, et al., 2021; Coutinho et al., 2015; Diaz-Seradilla et al., 2022; Guerrero-Calderón et al., 2022; J. J. Malone, Di Michele, et al., 2015; Martín-García et al., 2018; Oliva-Lozano, Gómez-Carmona, Fortes, et al., 2022; Owen et al., 2017; Raya-González et al., 2020; Stevens et al., 2017; Wrigley et al., 2012).

Cependant, il est complexe de définir avec précision quel jour de la semaine contient la charge de travail la plus élevée. En effet, selon les variables quantifiées, les jours les plus exigeants varient (Figure 41). Une revue de littérature récente a mis en avant que les demandes les plus élevées se situaient à J-3 pour les accélérations, les distances à haute intensité et en sprint, la distance totale, le pourcentage de FCmax, et la RPE (H. Silva, Nakamura, Castellano, & Marcelino, 2023). Le J-4 quant à lui entraînait les demandes de décélération les plus importantes de la semaine. Cette revue de littérature a d'ailleurs confirmé que les demandes les

plus faibles, pour l'ensemble des variables quantifiées, se situaient sur la veille de match, à J-1 (H. Silva et al., 2023). Le fait que le J-3 s'impose comme la journée la plus exigeante pour la plupart des variables s'explique par sa distance par rapport aux matchs (Figure 41). En effet, cette journée est séparée du dernier match par trois jours complets, permettant de récupérer entièrement (Nédélec et al., 2012). De plus, deux jours complets séparent cette journée du prochain match, pouvant possiblement laisser un temps suffisant pour récupérer de cette séance afin de performer en compétition.

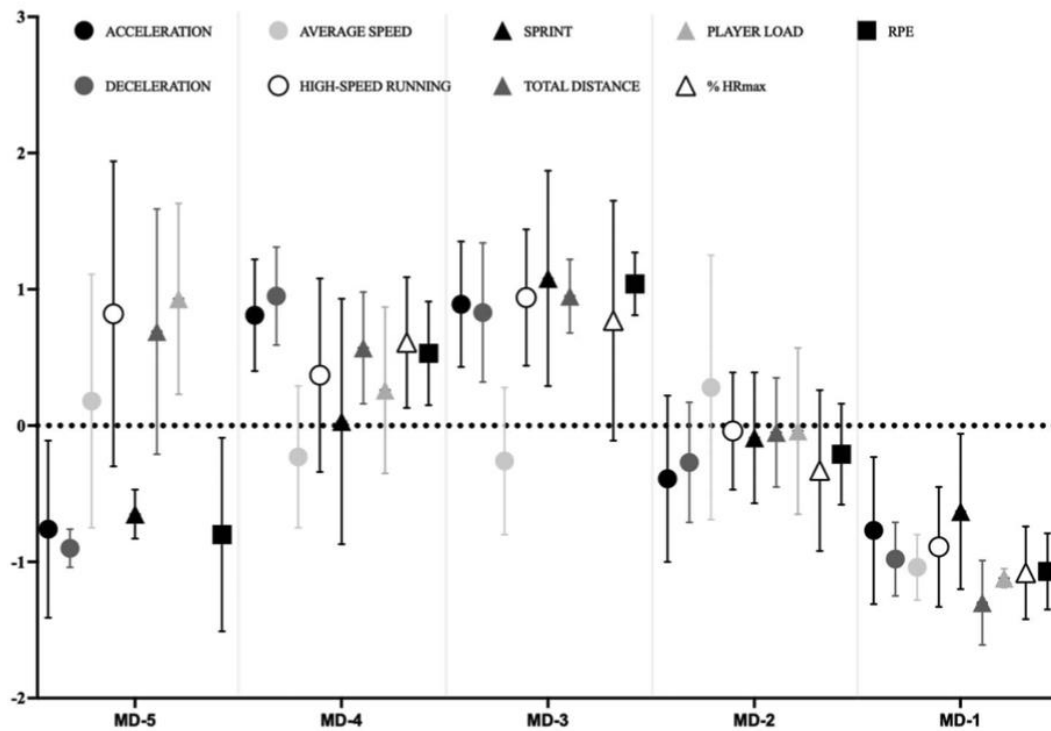


Figure 41. Z-score (\pm écart-type) pour toutes les variables quantifiées lors d'un microcycle compétitif présenté jour par jour. D'après (H. Silva et al., 2023).

De plus si cette méthodologie est utilisée de la même manière chez les professionnels et les joueurs de centre de formation, cela devrait mener à un questionnement. En effet, ces deux populations ne partagent pas le même objectif prioritaire à travers la planification du microcycle. Il semble logique de penser que les professionnels recherchent avant tout la

performance optimale en compétition, et de ce fait priorisent la récupération en saison plutôt que le développement des qualités physiques. Il a été démontré que lorsque les équipes ont davantage de temps entre deux matchs, les charges d'entraînement, en comparaison d'un microcycle normal (6 jours entre les deux matchs) ou réduit (5 jours entre les deux matchs), ne varient pas (Oliva-Lozano, Gómez-Carmona, Fortes, et al., 2022). Les joueurs aux portes de l'équipe professionnelle, dans les centres de formation, doivent rechercher le développement de leurs qualités physiques, tout en conservant un état de forme compétitif suffisant pour performer. Ce double objectif, dans les centres de formation, représente un challenge supplémentaire.

Pourtant, dans la majeure partie des cas, les jeunes joueurs sont entraînés de manière identique aux professionnels. Il a été démontré que les performances en counter-movement jump (CMJ) n'étaient pas influencées au cours de la semaine par les charges de travail réalisées par les joueurs en centre de formation (J. J. Malone, Murtagh, et al., 2015). Ce résultat était également confirmé dans cette étude par le faible nombre de jours d'entraînement dans la semaine (4 jours de J-4 à J-1) et les RPE récoltées sur les séances ne dépassant pas 4/10 en moyenne (J. J. Malone, Murtagh, et al., 2015). Également, il a été montré que la stratégie d'affutage lors des deux jours menant au match était une stratégie importante chez les jeunes avec une réduction de près de 90% du nombre de sprints par rapport au milieu de semaine (Coutinho et al., 2015). Certains auteurs ont cependant montré que les charges externes réalisées par les jeunes joueurs se différenciaient des professionnels (Houtmeyers et al., 2020). En effet, cette étude montrait que les joueurs U19 parcouraient une distance totale au cours de la semaine supérieure aux professionnels (Figure 42), notamment due à une augmentation de la distance dans les zones de vitesse très faibles (inférieure à 12 km/h). Pourtant, lorsque l'on observe la distance totale parcourue chaque jour, exprimée en mètre par minute (donc en relation avec le temps de séance), on observe que les U19 réalisaient leurs séances à des intensités plus faibles (Figure

42) (Houtmeyers et al., 2020). Concernant les distances parcourues à très haute intensité, au-delà de 25 km/h, les résultats montraient des distances bien supérieures pour les professionnels (Figure 42).

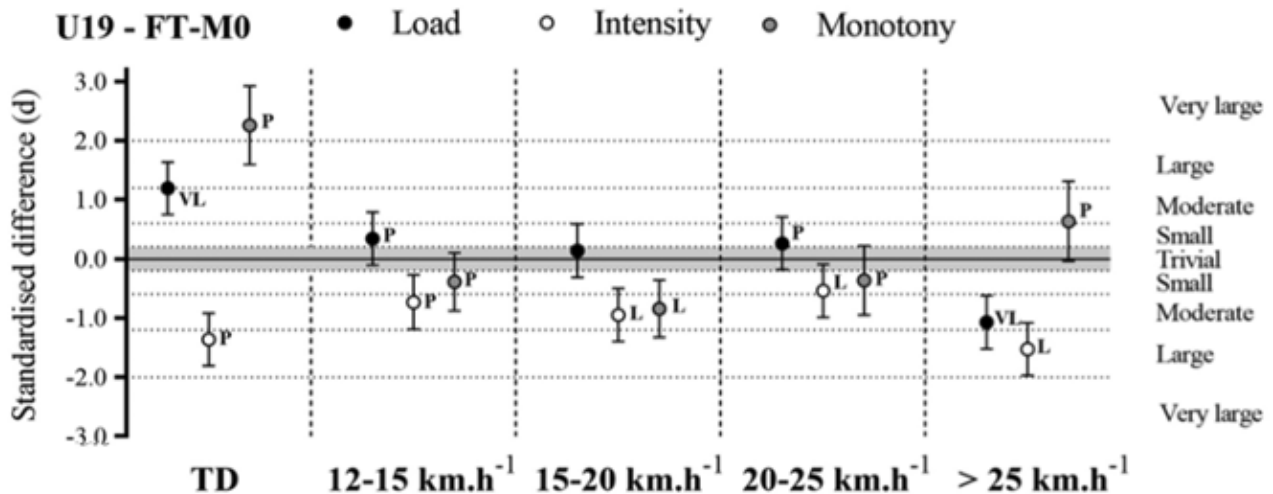


Figure 42. Charge externe moyenne (\pm écart type) quotidienne (A) et intensité (B) en fonction des jours selon leur distance par rapport au match. Les distances de vitesses faibles ($<12 \text{ km.h}^{-1}$, barre inférieure) et élevées ($>12 \text{ km.h}^{-1}$, barre supérieure) sont empilées. MD : jour du match. *petite, **modérée, ***grande, **** très grande différence de charge externe et d'intensité quotidienne entre joueurs professionnels et U19. D'après (Houtmeyers et al., 2020).

Il est important de rappeler que l'objectif des centres de formation est de combler l'écart de niveau technique, tactique, et physique avec les joueurs professionnels. Cet objectif ne peut être réalisé sans augmenter les distances parcourues à haute intensité par les joueurs de centre de formation. De nombreuses études ont montré que la production d'efforts à haute intensité, mais aussi les qualités physiques, discriminaient le niveau de pratique (Andersson, Randers, Heiner-Møller, Krstrup, & Mohr, 2010; Bangsbo, Nørregaard, & Thorsø, 1991; Cometti, Maffiuletti, Pousson, Chatard, & Maffulli, 2001; Mohr, Krstrup, & Bangsbo, 2003). Compte tenu de tous ces résultats, il semble aujourd'hui nécessaire d'optimiser l'entraînement au niveau de la planification du microcycle afin de potentialiser le développement physique des joueurs en formation, et leur permettre d'atteindre le niveau professionnel.

A retenir :

- La planification en sport collectif est complexe du fait du nombre important d'individus à considérer et de la récurrence des compétitions.
- Les praticiens se sont détournés des modèles de planification à long terme pour privilégier ceux à l'échelle du microcycle en utilisant des méthodologies comme la planification tactique.
- Cette méthodologie est aujourd'hui largement utilisée parmi la plupart des équipes de football, ce qui laisse entrevoir une planification des charges de travail commune, quel que soit le public. Tous les publics ne partagent pas les mêmes objectifs.
- Les joueurs de centre de formation doivent avant tout développer leur potentiel physique pour combler l'écart avec les joueurs professionnels et espérer les rejoindre.
- Il semble indispensable de revoir la planification du microcycle afin de permettre de satisfaire l'objectif de développement en centre de formation.

III. Problématique

L'ensemble des travaux précédents nous a permis de mettre en avant le rôle limité de la planification à long terme en football, au profit de la planification à court terme du microcycle. Nous avons également souligné la similitude entre les planifications du microcycle chez les équipes professionnelles et de centre de formation. Toutefois, les objectifs majeurs de ces deux populations diffèrent entre nécessité de performance à court terme (pour les équipes professionnelles), et développement à long terme (pour les centres de formation). Dans le cadre de ce doctorat mené et financé au sein d'un centre de formation élite du football français, notre objectif était de **réaliser un état des lieux des stratégies de planification du microcycle dans les centres de formation de football français, et d'explorer des alternatives permettant d'optimiser le développement physique des joueurs sans compromettre leur performance compétitive**. L'hypothèse que nous émettions était que la planification de la semaine pourrait être optimisée afin d'améliorer le développement physique sans provoquer d'effets néfastes sur l'état de forme compétitif. Cinq études ont été réalisées pour répondre à cet objectif.

Le but de l'étude 1 était d'objectiver les pratiques de planification du microcycle d'un point de vue du travail physique à l'échelle de tous les centres de formation français. Cette étude servait de base pour les travaux expérimentaux suivants qui tentaient de modifier la planification du microcycle en accord avec l'hypothèse générale. Pour cela, un questionnaire a été réalisé nous permettant de connaître la planification de l'ensemble des séances du microcycle. Les praticiens ont alors été questionnés sur la planification des séances chaque jour selon leur distance par rapport au match. Cela nous a également permis d'avoir accès aux durées des séances, aux objectifs physiques de chaque séance (par exemple récupération,

maintien des qualités, développement, affutage), aux qualités physiques dont le développement est recherché, aux contenus physiques utilisées (de manière intégrée, et dissociée) et leurs durées associées, et aux difficultés de séance attendues. Toutes ces informations ont alors permis de dessiner une semaine typique dans les centres de formation français. À travers ce travail, nous émettions l'hypothèse que les centres de formation recherchaient prioritairement le développement physique plutôt que le résultat compétitif. Ce résultat serait notamment démontré par une planification des séances, des objectifs, et des contenus davantage orientés vers le développement que la récupération post et pré match.

L'objectif des études 2 et 3 était de manipuler la planification du microcycle afin d'augmenter les charges externes produites au sein du microcycle sans dégradation de l'état de forme le jour du match. Dans un premier cas, nous avons donc observé l'impact de l'ajout d'une séance de récupération entre les séances de développement physique, sur les charges externes produites au cours de la semaine et l'état de forme le jour de la compétition. La planification typique utilise des charges élevées visant le développement physique à J-4 et J-3, avant de réduire les charges à J-2 et J-1. Notre étude proposait donc d'inverser les charges d'entraînement des journées de J-3 et J-2 par rapport à la planification typique (planification modifiée). Cette inversion permettait alors d'ajouter une journée avec une charge de travail réduite (à J-3) entre les deux journées à charges élevées (à J-4 et J-2). **Dans un second cas, nous avons observé l'impact d'une modification de l'ordre des séances au sein de la planification du microcycle sur les charges externes produites au cours de la semaine, mais également sur l'état de forme le jour de la compétition.** La première planification recherchait le développement de la qualité aérobie à J-4 et de la qualité de vitesse à J-2. La seconde planification inversait alors l'ordre des séances avec une recherche

de développement de la qualité de vitesse à J-4 et aérobie à J-2. Grâce à la récupération lors des deux journées suivant le match (J+1 et J+2), il est possible d'émettre l'hypothèse que l'état de forme est supérieur en début de semaine plutôt qu'au milieu. De ce fait, il est envisageable que lorsque chaque qualité est placée plus tôt dans la semaine, lorsque l'état de forme est meilleur, ces séances produisent des charges externes supérieures. Pour ces deux études, nous émettions l'hypothèse que la modification de la planification permettrait d'augmenter les charges de travail au cours de la semaine. Nous émettions également l'hypothèse que ces augmentations des charges de travail n'auraient pas d'effets négatifs sur l'état de forme le jour de la compétition.

L'étude 4 avait pour objectif de tester l'impact de diverses durées d'entraînement lors de l'entraînement du jour précédent le match (J-1) sur l'état de forme compétitif. La durée de l'entraînement de J-1 a alors été augmentée, et diminuée de 25% pour obtenir trois durées d'entraînements distinctes. La durée des contenus d'entraînement utilisés au sein de cette séance (échauffement, vivacité et jeu réduit) étaient également diminuée ou augmentée de 25%. Au vu des contenus d'entraînement de vivacité et de jeux réduits pouvant être très exigeants physiquement, nous émettions l'hypothèse que la réduction du volume d'entraînement mènerait à un état de forme supérieur le jour du match permettant de satisfaire l'objectif de performance compétitive.

Une autre manière d'optimiser la planification du microcycle serait de modifier les contenus d'entraînement. Afin de les manipuler, il semble nécessaire de vérifier que les pratiques d'entraînement actuelles permettent de reproduire les exigences compétitives. **L'objectif de**

l'étude 5 était alors de quantifier l'ensemble des charges de travail des joueurs sur une saison complète, en utilisant des méthodes de quantification des charges d'entraînement de manière absolue et relative aux performances compétitives des athlètes, donc individualisée, entre les différents postes. L'utilisation de ces différentes méthodes de quantification permettait d'observer si les joueurs étaient entraînés de manière cohérente par rapport à leurs exigences compétitives propres. Dans le cas où les exigences ne seraient pas reproduites, il serait alors nécessaire de proposer des alternatives aux contenus qui sont aujourd'hui réalisés afin d'augmenter, ou diminuer la quantité de travail. Si ces exigences étaient reproduites, l'optimisation du développement physique se situerait majoritairement sur la modification de la planification comme proposé dans ce travail de thèse. Nous émettions l'hypothèse que les différences de charges d'entraînement obtenues entre les postes avec la quantification absolue disparaîtraient avec la méthode relative, signifiant que l'entraînement reproduit correctement les exigences compétitives.

IV. Contributions expérimentales

IV.1. État des lieux de la planification du microcycle en centre de formation

Actuellement, la recherche décrivant la planification du microcycle des centres de formation durant la saison est assez limitée (Coutinho et al., 2015; Wrigley et al., 2012). Des études ont montré que les charges externes étaient progressivement augmentées jusqu'à trois jours avant le jour du match (J-3) et diminuées lors des deux derniers jours pré-compétitifs (J-2 et J-1) (Coutinho et al., 2015). Dans une équipe U17 d'un centre de formation portugais, la charge externe la plus faible était observée lors de J-1 (Coutinho et al., 2015). Le nombre de sprints était inférieur de 7,4% et 19,0% en comparaison des séances de début et milieu de semaine. Dans la même étude, dans l'équipe U19, la différence était encore plus importante, avec un nombre de sprints inférieur de près de 90 % à celui des séances d'après-match ou de milieu de semaine. En revanche, de faibles différences ont généralement été observées dans les mesures des charges d'entraînement entre les séances d'après-match et les séances en milieu de semaine (Coutinho et al., 2015). Par exemple, dans un centre de formation de Premier League anglaise (Wrigley et al., 2012), la charge de travail la plus importante était obtenue à J+2. Une explication possible de ce résultat est que les joueurs participaient à deux séances d'entraînement, ce qui augmentait inévitablement leur charge de travail quotidienne. Alors que les études mentionnées précédemment ont mis en évidence les évolutions des charges d'entraînement au cours du microcycle, à notre connaissance, une seule étude a décrit le contenu de l'entraînement sur une base quotidienne en centre de formation (Brito et al., 2016). En bref, il a été montré que l'équipe ne s'entraînait pas à J+1. Ensuite, elle effectuait un entraînement de développement/maintien de la capacité aérobie à J+2, un entraînement de développement/maintien de la puissance aérobie et/ou de la puissance maximale à J-4, un

entraînement spécifique au poste à J-3, un entraînement tactique collectif à J-2, et un entraînement de développement/maintien de la vivacité et de l'accélération à J-1. Une telle stratégie de planification suggère que les praticiens mettent l'accent sur le développement des joueurs plutôt que sur les résultats des matchs. Notre première étude avait donc pour but d'objectiver les pratiques de planification du microcycle au sein des centres de formation français. Pour répondre à cet objectif, un questionnaire a été mis en place au sein des centres de formation français.

IV.1.1. Étude 1 : Planification physique hebdomadaire typique dans les équipes de football des centres de formation français : une enquête

Typical weekly physical periodization in French academy soccer teams: a survey

Tom Douchet, Christos Paizis, Christopher Carling, Carole Cometti, Nicolas Babault

Publié dans *Biology of Sport* (2023) ; 40 (3) : 731-740

Abstract

In elite-level youth soccer players, weekly training periodization is of paramount importance to plan for short- and long-term physical development. The present study investigated current practices for physical periodization strategies in elite male French academies.

An online survey was completed by elite French academies strength and conditioning coaches to determine the typical weekly periodization with particular reference to daily training in relation to match day (MD) in youth soccer players. The survey attempted to characterize the importance of physical development compared to match result, and practices used (expected difficulty and content) for each training session according to duration, exercises, and objective. The frequency rates of the responses were compared using two-tailed Chi-square tests with the significance level set at $p < 0.05$.

Forty-five questionnaires were analyzed. Respondents indicated that their training sessions focused mainly on physical development (95.6%) rather than match result. Active recovery (34.2%) and aerobic conditioning exercises (40.8%) were primarily conducted on MD+1 and MD+2 using passing circuits and aerobic technical drills. Physical development was mostly pursued during sessions on MD-4 (38.8%) and MD-3 (37.3%). The number of large-sided games was highest on MD-3 (58.1%). On MD-2 and MD-1, a decrease in the training load was highlighted, with speed (40.4%) and tapering sessions (52.4%) mostly implemented. Intensive use of small-sided games (92.3%) and reactivity exercises was observed at MD-1 (100.0%).

Our results revealed discrepancies between the physical objectives set for each day and the content implemented, which could potentially be more physically demanding than expected.

Résumé

Chez les jeunes footballeurs d'élite, la planification de l'entraînement hebdomadaire est d'une importance capitale pour le développement physique à court et à long terme. La présente étude a examiné les pratiques actuelles en matière de stratégies de planification physique dans les centres de formation français masculin d'élite.

Une enquête en ligne a été remplie par les préparateurs physiques des centres de formation français d'élite afin de déterminer la planification hebdomadaire typique avec une référence particulière à l'entraînement quotidien par rapport au jour du match (J-) chez les jeunes joueurs de football. L'enquête a tenté de caractériser l'importance du développement physique par rapport au résultat du match, et les pratiques utilisées (difficulté et contenus attendus) pour chaque entraînement en fonction de la durée, des exercices et de l'objectif. Les taux de fréquence des réponses ont été comparés à l'aide de tests de Chi-deux, le niveau de significativité étant fixé à $p < 0,05$.

Quarante-cinq questionnaires ont été analysés. Les répondants ont indiqué que leurs séances d'entraînement étaient principalement axées sur le développement physique (95,6 %) plutôt que sur le résultat du match. La récupération active (34,2%) et les exercices aérobies (40,8%) étaient principalement effectués à J+1 et J+2 en utilisant des circuits de passes et des exercices techniques aérobies. Le développement physique a surtout été recherché lors des séances de J-4 (38,8%) et J-3 (37,3%). Le nombre de jeux grande surface était le plus élevé à J-3 (58,1%). Sur les J-2 et J-1, une diminution de la charge de travail a été mise en évidence, avec des séances de vitesse (40,4%) et des séances d'affûtage (52,4%) principalement mises en œuvre. Une utilisation intensive de jeux réduits (92,3%) et d'exercices de vivacité a été observée à J-1 (100,0%).

Nos résultats ont révélé des divergences entre les objectifs physiques fixés pour chaque jour et le contenu mis en œuvre, qui pourrait potentiellement être plus exigeant physiquement que prévu.

Introduction

Effective training periodization within the academy systems is key for developing elite soccer players and ensuring that they are prepared for future demands at professional standards. In elite academy settings, young players usually train three to seven times a week, with the greatest workload being the competitive match at the end of the week (António Rebelo, Brito, Seabra, Oliveira, & Krstrup, 2014; Wrigley et al., 2012). Weekly periodization, here referred to as a 'microcycle', is of paramount importance for short and long-term player development and performance (Rhodri S. Lloyd, 2014). Unfortunately, the multifactorial approach to training in soccer academies can render difficult the implementation of any periodization strategy. Indeed, academy staff must ensure players' educational, physical, technical, and tactical development while ensuring they perform maximally during the weekly competitive games. Furthermore, balancing these double aims must be considered alongside management of other associated factors such as fatigue, recovery (Coutinho et al., 2015; J. J. Malone, Di Michele, et al., 2015), and injury prevention (Owen et al., 2015).

Currently, research describing the in-season weekly training periodization of young soccer teams is fairly limited (Brito et al., 2016; Coutinho et al., 2015; A. Rebelo et al., 2012; Wrigley et al., 2012). Studies have shown that external loads were progressively increased up to three

days before match day (MD-3), and decreased the day preceding the match (MD-1) (Coutinho et al., 2015; A. Rebelo et al., 2012). In U17 players belonging to a Portuguese academy, the lowest external load was observed at MD-1 (Coutinho et al., 2015). Sprinting frequency was notably 7.4% and 19.0% less than post-match or mid-week, respectively. In the same study, in U19 players, the difference was even greater with the number of sprints almost 90% lower than in post-match or mid-week sessions. In contrast, unclear differences have generally been observed in measures of training loads between post-match and mid-week sessions (Coutinho et al., 2015). For example, in an English Premier League academy (Wrigley et al., 2012), the greatest training load was obtained at MD+2. A reasonable explanation for this result is that the players participated in double training sessions inevitably increasing their daily training load, while it is almost never the case for professional teams (Raya-González et al., 2020).

While the above studies in academy settings highlight day-to-day differences in training load over a typical weekly periodization period, to the best of our knowledge, only one study has described the typical training content on a day-to-day basis (Brito et al., 2016). Briefly, an academy team was firstly shown to rest on MD+1. It then performed development/maintenance training of aerobic capacity on MD+2, development/maintenance of aerobic power and/or maximal power on MD-4, position-specific training on MD-3, team tactical organization on MD-2, and development/maintenance of reactivity and acceleration on MD-1. Such a periodization strategy would suggest that practitioners emphasize players' development over match result.

More generally, research is needed to confirm this in all elite French academies rather than in a single team and identify the workload strategies. This different approach to data collection could allow the whole practice to be compared with the practices of academies in other countries.

Similarly, although previous studies have arguably provided useful insights into weekly periodization amongst academy teams, studies have mostly been conducted in single club settings. Furthermore, key information on physical training content (speed, strength or aerobic) is lacking during the microcycle. Similarly, information specifically relating to the exercises used to enhance these physical qualities is unavailable. Accordingly, the present study aimed, through an online survey, to determine the typical microcycle periodization (expected difficulty and content) prior to a competitive weekend game in multiple French elite male soccer training academies. Particular focus was given to determining the content of each daily training session. We also hypothesized that the academies would be primarily concerned with the technical and physical development of their players rather than match result.

Methods

Subjects

Strength and conditioning (S&C) coaches from 36 elite French academies were invited via email to complete the online survey concerning their U17 and U19 teams. Unanswered questions were excluded from the analyses. Data were collected from the beginning of October to the end of November 2020. All responses were confidential and anonymized. All

respondents were notified of the research protocol, benefits and risks before providing consent in accordance with the declaration of Helsinki. Approval of the study was obtained from the local ethics committee. Respondents were clearly informed that their consent was obtained by responding to the first question of the survey.

Procedures

The survey was developed in French and administered via an online survey software (Google Form). The number of questions depended on the number of sessions performed by the team. As such, practitioners had to respond to a number of questions ranging from 17 (only mandatory questions and no training session at all), to 179 (mandatory questions and 3 sessions per day for 6 days). The survey included multiple-choice, close-ended and open-ended questions (depending on the answers submitted, respondents had to respond to additional questions to provide further information when necessary) (Table S1). The survey first described key information about the study, its purpose as well as information related to the research team associated with an e-mail contact. Respondents were then asked to describe the competitive week. For inclusion, the selected week should have been preceded and followed by a competitive match (7-day interval between each competitive match).

Questions covered four main themes: 1) participant information; 2) their subjective rating on the overall importance of physical development compared to the results of competitive matches (1 to 10 scale: 1 = maximum importance of the match result); 3) description of each training session from MD+1 (first day after match day) to the following MD (match day) with particular reference to the physical conditioning work performed (duration, physical quality focus, integrated or dissociated exercises, exercises, expected difficulty), and 4) periodization improvements that could be operated to increase players' physical development. The design of the survey was based on extensive discussions, suggestions and feedback between the research team and practitioners. The content of the final version of the questionnaire was validated by calculating the content validity index (CVI). Eight experts (including coaches and scientists) were requested to rate the relevance of the different items questioned. The content of the present survey was validated with an average scale-CVI greater than 0.89 (Yusoff, 2019). The survey was subsequently pilot-tested in five French soccer academy teams to review content clarity prior to the sending of official invitations. This process removed two questions, merged four questions into two, and several rewordings were made for clarity (Stoszkowski & Collins, 2016).

Statistical analyses

Data were first reviewed and any incomplete responses subsequently excluded from the analyses. The distribution of the response frequencies was analyzed. Descriptive statistics are reported in the form of counts out of the total number of answers for the question. The frequency distribution between days was compared using two-tailed Chi-square tests with the significance level set at $p < 0.05$. In the event of a significant Chi-square, pairwise comparisons were achieved using a Z-test. Repeated measures ANOVA, with Bonferroni's post hoc test

were performed to determine differences between days for physical importance and expected difficulty of the sessions. Statistics were performed using JASP (Ver 0.13, JASP Team (2020), University of Amsterdam) and SPSS (Ver 27, IBM-SPSS Inc., Armonk, NY, USA). Open-ended responses were arranged and read several times to ensure an understanding of their meaning. The list of themes of the open responses was discussed by all researchers until consensus was reached regarding data interpretation and theme credibility (Dunlop et al., 2020).

Results

Response rate

A total of 50 responses were obtained out of a possible 72 which represent a 69.4% survey return rate. Of these, 45 were included in the analyses (Table S2) while 5 surveys were excluded owing to incomplete responses. These numbers correspond to a 90.0% completion rate and 10.0% omission. These numbers are in line with survey papers in the soccer literature (Field et al., 2022, 2021).

Training session information

Respondents rated the overall perceived importance of physical development relative to the match result as 7.3 ± 1.6 out of 10 (1 = maximum importance of the match result). The large majority of respondents (95.6%) prioritized players' physical development over competitive match results. The physical importance ($p < 0.001$) and training expected difficulty ($p < 0.001$) varied between-days. Both variables increased progressively until MD-3 before a reduction was observed on MD-2 and MD-1. No difference occurred between MD-4 and MD-3 (Figure 1).

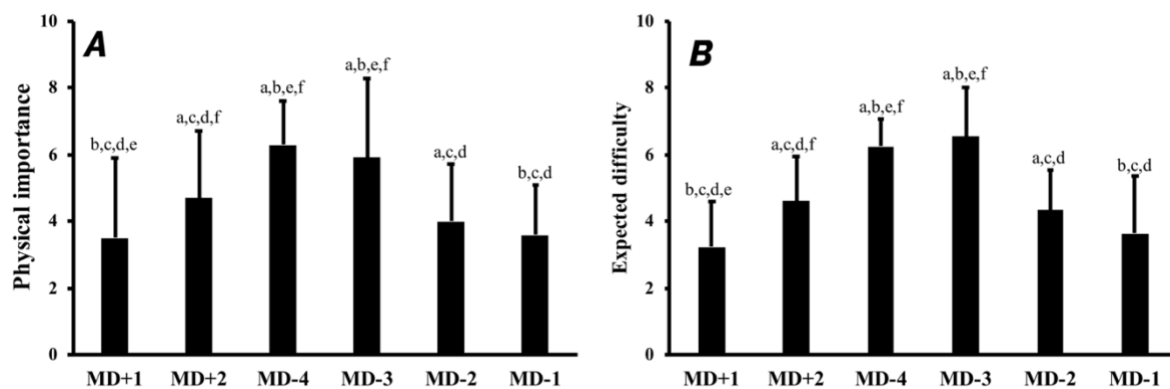


Figure 1. Subjective rating of (A) Physical importance, and (B) Expected difficulty, for each day. Significant differences between days are shown for $p < 0.05$ from a: MD+1; b: MD+2; c: MD-4; d: MD-3; e: MD-2; f: MD-1. MD: match day.

The number of training sessions was different between days ($p < 0.001$) (Table 1). Most teams did not train at MD+1. A single training session was conducted daily at MD+1, MD+2, MD-2, MD-1. Two training sessions per day were generally conducted on MD-4 and MD-3. Training

duration also differed between days ($p=0.041$) (Table 1). Training lasted predominantly between 30 and 60 min on MD+1 and MD-1. On the remaining days, most training sessions lasted between 60 and 90 min.

Table 1. Information on training sessions

	MD+1	MD+2	MD-4	MD-3	MD-2	MD-1
Number of training sessions a day (number of responses / total number of responses)						
0 training session ***	27/45 b,c,d,e,f	0/45 a,e,f	0/45 a,e,f	0/45 a,e,f	5/45 a,b,c,d	4/45 a,b,c,d
1 training session ***	18/45 b,c,d,e,f	32/45 a,f	23/45 a,e,f	31/45 a,f	37/45 a,c	41/45 a,b,c,d,e
2 training sessions ***	0/45 b,c,d,e	13/45 a,e,f	22/45 a,e,f	14/45 a,e,f	3/45 a,b,c,d,f	0/45 b,c,d,e
Duration of the session (number of responses / total number of session)						
Up to 30 min *	0/18	0/58	1/67	3/59	0/43	0/41
More than 30 min and up to 60 min ***	17/18 b,c,d,e	23/58 a,c,d,e,f	14/67 a,b,e,f	13/59 a,b,e,f	18/43 a,b,c,d,f	31/41 b,c,d,e
More than 60 min and up to 90 min ***	1/18 b,c,d,e	29/58 a,f	33/67 a,f	33/59 a,f	24/43 a,f	10/41 b,c,d,e
More than 90 min ***	0/18 c	6/58 c,f	19/67 a,b,e,f	10/59 e,f	1/43 c,d	0/41 b,c,d

Values are presented as the number of responses and percentage of the total number of answers (n) for number of training sessions and duration. Significant frequency distribution between days with respect to Chi-square for * = $p<0.05$; ** = $p<0.01$; *** = $p<0.001$. Significant differences between days according to Z-score for $p<0.05$ are shown from a: MD+1; b: MD+2; c: MD-4; d: MD-3; e: MD-2; f: MD-1. MD: Match day.

Differences were observed between days for physical quality focus ($p=0.002$) (Figure 2). MD+1 and MD+2 were mainly characterized by active recovery (Figure 2A). Aerobic sessions were usually performed from MD+2 to MD-3 (Figure 2B) while strength sessions were predominantly conducted during MD-4 and MD-3 (Figure 2C). The frequency of speed training sessions gradually increased until MD-2 and was prominent on MD-2 and MD-1 (Figure 2E). Tapering sessions were implemented on MD-2 and MD-1 (Figure 2F). While prophylactic exercises were mostly performed on MD+2, these were performed evenly throughout the week except for MD-1 (Figure 2G).

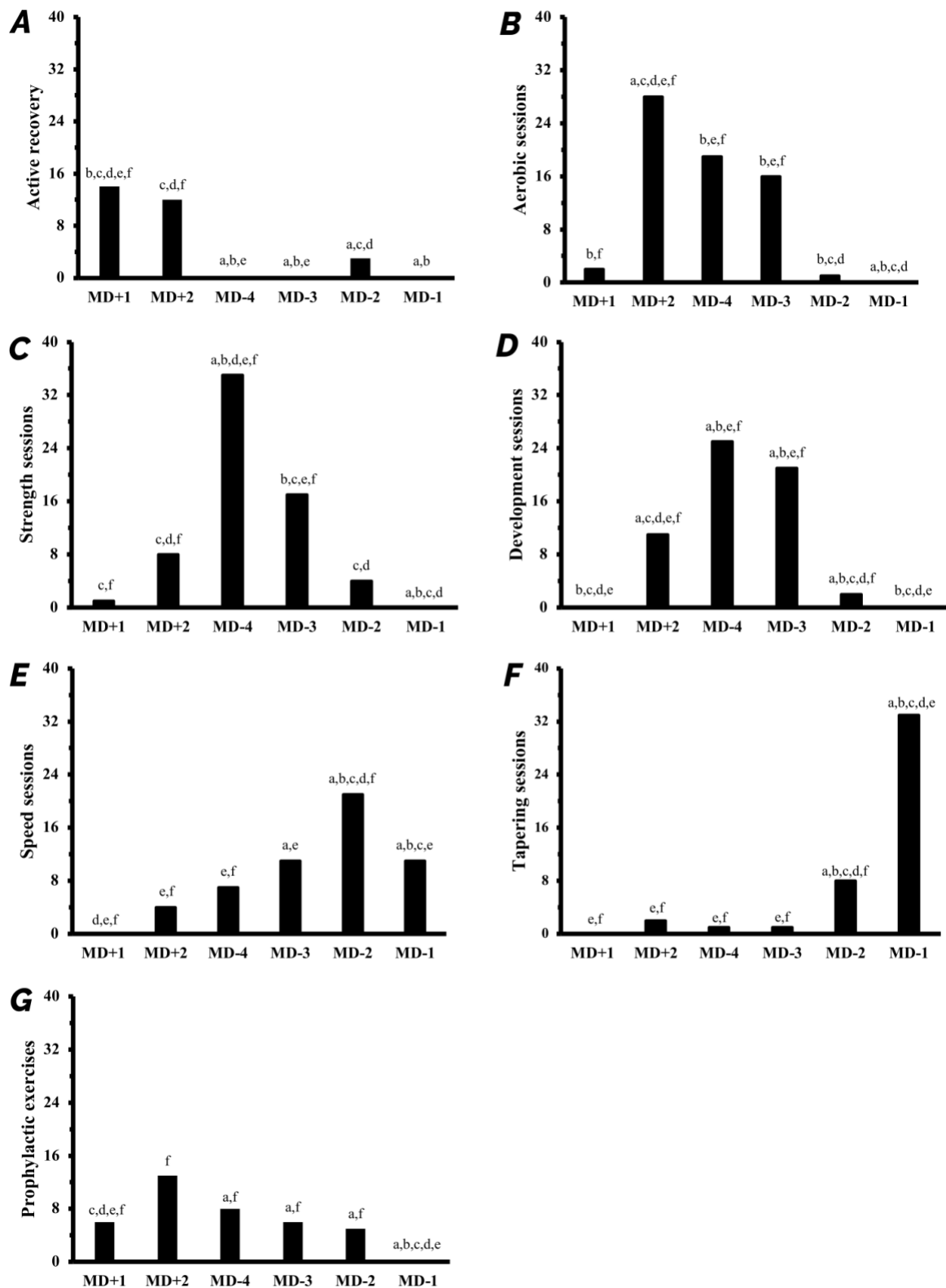


Figure 2. Number of training sessions through the week for (A) active recovery sessions, (B) aerobic training sessions, (C) strength training sessions, (D) development training sessions, (E) speed training sessions, (F) tapering sessions, (G) prophylactic exercises. Results represent number of responses for each day. Significant differences between days according to Z-scores are shown for $p < 0.05$ from a: MD+1; b: MD+2; c: MD-4; d: MD-3; e: MD-2; f: MD-1. MD: match day.

Both integrated and dissociated training types were used for physical conditioning training. Integrated physical content included different exercises with varying frequencies during the week ($p=0.028$) (Table 2). Passing circuits, alongside aerobic technical drills, were mostly practiced during MD+2, while large-sided games were mainly used on MD-3. However, no differences were observed during the week for small-sided games ($p=0.180$), medium-sided games ($p=0.085$), rondo ($p=0.508$), technical drills ($p=0.735$), or football tennis ($p=0.059$). Similarly, the frequency of dissociated physical contents varied during the week ($p=0.020$) (Table 2). Continuous aerobic exercises were exclusively performed on MD+1 and MD+2. Upper-body strength sessions were mainly used from MD+1 to MD-3. On MD-4 and MD-3, practitioners primarily implemented lower-body strength sessions, intermittent aerobic, repeated-sprint aerobic, and plyometric exercises. Speed and reactivity exercises were mostly used on MD-2 and MD-1. The use of coordination exercises did not show any significant differences between days ($p=0.149$).

The duration of the dissociated contents differed through the week ($p<0.001$) (Table 2). Sessions lasting more than 20 min and up to 40 min were used more frequently from MD+1 to MD-3. Sessions lasting up to 20 min were mostly used from MD-4 to MD-1. However, no differences were obtained for the few sessions lasting longer than 40min.

Table 2. Physical quality focus of the training sessions

	MD+1	MD+2	MD-4	MD-3	MD-2	MD-1
Integrated exercise(s) \$ (number of responses / total number of integrated session)						
Small-sided games	2/4	14/34	20/29	12/31	4/23	12/13
Medium-sided games	2/4	16/34	9/29	13/31	9/23	2/13
Large-sided games ***	2/4 a,f	4/34 d	5/29 d	18/31 b,c,e,f	7/23 d,f	0/13 a,d,e
Rondo	0/4	6/34	4/29	8/31	5/23	4/13
Technical drills	2/4	11/34	8/29	9/31	6/23	5/13
Passing circuit *	2/4	18/34 c,d	6/29 b,f	6/31 b,f	8/23	7/13 c,d
Football tennis	2/4	4/34	0/29	1/31	2/23	0/13
Aerobic technical drills *	0/4	5/34 c	0/2 b	1/31	1/23	0/13
Dissociated exercise(s) \$ (number of responses / total number of dissociated session)						
Upper-body strength session **	5/12 e,f	5/21 f	11/32 f	6/25 e,f	1/14 a,d	0/27 a,b,c,d
Lower-body strength session ***	0/12 b,c,d	6/21 a,f	15/32 a,e,f	10/25 a,e,f	1/14 c,d	0/27 b,c,d
Speed *	0/12 d,e,f	3/21 e	4/32 e	7/25 a,e	10/14 a,b,c,d,f	5/27 a,e
Reactivity ***	0/12 e,f	0/21 e,f	0/32 e,f	0/25 e,f	4/14 a,b,c,d,f	27/27 a,b,c,d,e
Continuous aerobic exercises ***	8/12 b,c,d,e,f	6/21 a,c,d,e,f	0/32 a,b	0/25 a,b	0/14 a,b	0/27 a,b
Intermittent aerobic exercises *	3/12 e,f	6/21 e,f	10/32 e,f	10/25 e,f	0/14 a,b,c,d	0/27 a,b,c,d
Repeated-sprint aerobic exercises ***	1/12 d	2/21 d	8/32 e,f	12/25 a,b,e,f	0/14 c,d	0/27 c,d
Plyometric *	0/12 c,e	3/21 c	14/32 a,b,f	5/25	4/14 a	2/27 c
Coordination	5/12	7/21	7/32	3/25	5/14	7/27

Duration of the dissociated contents \$ (number of responses / total number of dissociated session)						
Up to 20 min ***	4/12 e,f	8/21 e,f	17/32 e,f	12/25 e,f	12/14 a,b,c,d,f	27/27 a,b,c,d,e
More than 20 and up to 40 min ***	7/12 c,e,f	7/21 e,f	8/32 a,e,f	10/25 e,f	0/14 a,b,c,d	0/27 a,b,c,d
More than 40 and up to 60 min	1/12	5/21	6/32	3/25	2/14	0/27
More than 60 min	0/12	1/21	1/32	0/25	0/14	0/27
Dissociated exercises (number of responses / total number of dissociated session)						
Field-based session ***	9/12 f	12/21 f	21/32 f	17/25 f	12/14 f	27/27 a,b,c,d,e
Gym-based session ***	3/12 f	9/21 f	11/32 f	8/25 f	2/14 f	0/27 a,b,c,d,e

Values are presented as the number of responses and as the percentage of the total number of answers (n) for the question for each day as reported below the question. Significant frequency distribution between days with respect to Chi-square for * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$; *** = $p < 0.001$. Significant differences between days according to Z-score for $p < 0.05$ are shown from a: MD+1; b: MD+2; c: MD-4; d: MD-3; e: MD-2; f: MD-1. MD: Match day.

Discussion

In this survey, the results partly confirmed our hypothesis that in theory academies prioritized physical development over match results. However, in reality training sessions specifically dedicated to physical development were only observed on two days (MD-4 and MD-3). Results demonstrated that teams mainly performed recovery-oriented sessions on MD+1 and MD+2 and tapering sessions on MD-2 and MD-1. The novelty of this study is that it is the first study to describe the periodization of weekly training for all elite academies in a country. It therefore appears that training periodization was only partly congruent with the expected training objective.

On MD+1, responses from the present survey showed that recovery was the primary physical aim, with the implementation of different recovery strategies (active or passive). Research examining physical, physiological and perceptual markers has shown that recovery following a soccer match is incomplete on MD+1 (Nédélec et al., 2012). As such, active recovery should be (Trecroci et al., 2020) and was implemented by academy practitioners (Coppalle, Ravé, Moran, Salhi, Abderrahman, et al., 2021; Martín-García et al., 2018) during MD+1, no doubt in an attempt to aid the recovery process. Indeed, the intensity of the MD+1 session was the lowest of the week. Results showed that training duration was increased by the coaching staff on MD+2. Additionally, a large number of sessions lasting at least 60 min, and double sessions were reported on this day. In line with our results, a previous study also reported greater training loads on MD+2 (Kelly, Strudwick, Atkinson, Drust, & Gregson, 2020). In contrast, findings are not consistent as other studies reported lower training volumes in both professional (Martín-García et al., 2018) and youth teams (Coppalle, Ravé, Moran, Salhi, Abderrahman, et al., 2021), while some reported the greatest weekly training load on MD+2 (Wrigley et al., 2012). These discrepancies across results could be related to contextual variables such as the number of training sessions on MD+2 (e.g., 2 training sessions (Wrigley et al., 2012) vs. 1 training session (Martín-García et al., 2018)) or training content (implementation of strength training (Wrigley et al., 2012)).

The training content on MD+2 demonstrated a preference for small- and medium-sided games rather than large-sided games. This choice could be explained by practitioners accounting for the highest values of creatine kinase that typically occur on MD+2 resulting from the previous match, which are associated with muscle damage (Krustrup et al., 2011) and delayed onset muscle soreness (Ispirlidis et al., 2008). Indeed, small- and medium-sided games have been shown to be a more suitable option to ensure lower overall physical (external load) demands in comparison to large-sided games (Castillo et al., 2021). However, depending on the format and particularly the number of players involved, in relation to the area per player available (Riboli, Olthof, Esposito, & Coratella, 2022), external loading in small- and medium-sided games could potentially be more intensive than peak periods observed in official match-play format particularly in relation to the frequencies of accelerations and decelerations and player load (Dalen et al., 2021). Rules can also impact the physiological demands of small-sided games (Hill Haas, Coutts, Dawson, & Rowsell, 2009). Accordingly, the number of players (i.e., area per player) and rules should be adjusted to ensure that the physiological impact of these training sessions is not too intensive. Future research should examine whether this is the case or not across academies.

Here, the greatest training load was reported on MD-4 and MD-3. The external loads experienced by players on these days (farthest away from match-day) usually aim to replicate competitive demands (Los Arcos et al., 2017; Martín-García et al., 2018). As such, practitioners reported the greatest expected difficulty, and number of physical development sessions during these two days. Increases in dissociated training contents were observed during these two days with the greatest number of lower-body strength sessions, intermittent aerobic, repeated sprint, and plyometric exercises. Hence, it would seem that the dissociated training contents were perceived as more efficient than integrated contents to develop players' physical qualities.

Practitioners often reported using small-sided games on MD-4. Small-sided games have been shown to induce greater neuromuscular constraints (i.e., accelerations and decelerations) than other forms of integrated training (Sangnier, Cotte, Brachet, Coquart, & Tourny, 2019; Sarmiento et al., 2018). During this day, the amount of strength training reported by practitioners was greater compared to the other days, but was still very low. Indeed, our results highlighted that very few lower-body strength and plyometric sessions (33.3% and 31.1% of the practitioners, respectively) were programmed. Dissociated strength and plyometrics training contents should be emphasized further to favor neuromuscular development. It is well known that these dissociated exercises impose high neuromuscular stress that obviously favor strength development (Franco-Márquez et al., 2015; J. R. Silva, Nassis, & Rebelo, 2015).

During MD-4 and MD-3, coaches reported using aerobic development sessions. For this, both dissociated (intermittent and repeated-sprint aerobic exercises) and integrated training contents were used to develop aerobic quality. Such exercises appear in accordance with findings in the literature. A previous study for example, demonstrated that integrated contents can result in comparable aerobic improvements to dissociated contents (Dellal, Varliette, Owen, Chirico, & Pialoux, 2012).

Speed development training was only occasionally reported. To train this component, practitioners prioritized integrated contents with large-sided games. This choice can be legitimized by the greater high intensity demands imposed by large-sided games as compared

to other integrated training forms (Sangnier et al., 2019). However, as for strength development, implementing dissociated speed situations could optimize training efficiency through better control of sprinting exercises (e.g., a set number of sprints) (Beato, Drust, & Iacono, 2021).

A decrease in the training load (expected difficulty and physical importance) was observed two days prior to the match (MD-2 and MD-1). This is highlighted by the almost complete absence of voluminous and double sessions per day. On MD-2 and MD-1, speed and tapering were the primary focuses. This tapering method is commonly observed in soccer during the final two days leading up to competition (Anderson et al., 2016; Coutinho et al., 2015; Oliva-Lozano, Gómez-Carmona, Fortes, et al., 2022; Wrigley et al., 2012). On MD-2, practitioners reported an increased use of medium- and large-sided games and dissociated speed sessions. The implementation of large-sided games and dissociated speed training are a mismatch with the expected training objectives. Indeed, these sessions might favor physical development over tapering as a large amount of high speed running can lead to neuromuscular impairments still observable 48h post training intervention (Howatson & Adi, 2009). Reduced distances (Anderson et al., 2016) should be favored to limit unexpected impairments potentially detrimental for the subsequent match.

On MD-1, most coaches used similar content. Small-sided games and reactivity drills were extensively performed. Previous studies also report the use of reactivity drills close to the competition (Brito et al., 2016; Kelly et al., 2020). Small-sided games do not involve significant demands for high-speed running (Sangnier et al., 2019). We could hypothesize that high-speed running is reduced to limit excessive demands and reduce delayed onset of fatigue. However, small-sided games do result in a large number of accelerations and decelerations (Clemente et al., 2022; Sangnier et al., 2019) potentially resulting in neuromuscular impairments (Castillo et al., 2021). The present results are not consistent with previous findings for MD-1 since most studies reported light training loads (Clemente, Owen, et al., 2019; J. J. Malone, Di Michele, et al., 2015; Martín-García et al., 2018), and low-load exercises (Martín-García et al., 2018). The contents implemented during MD-2 and MD-1 do not appear to support the tapering strategy aimed for by practitioners.

Limitations

Limitations in the present study include potential bias related to the coaches' willingness to share information. Furthermore, this study only solely reflects the convenience of the teams' consideration and therefore their strength and conditioning coaches, which is an inherent bias of research of this nature. This survey aimed to describe the weekly collective periodization strategy and as a result, individualized sessions were not considered. It would have been of interest to precisely determine training workload through the week using external and internal measures such as GPS and HR. Moreover, although a substantial number of teams (n=45) completed the present survey, additional responses would potentially have increased knowledge of academies' weekly periodization strategies. Additional respondents, and from different countries, would have increased the opportunities to identify different strategies for optimal conditioning for match-play.

Practical applications

The present survey revealed that coaches placed more emphasis on physical development than match result. Yet, this result is contraindicatory since only two training sessions per week were dedicated to physical development. MD+1 and MD+2 were mainly dedicated to recovery, and MD-2 and MD-1 to tapering. This type of periodization is comparable to professional teams that mainly focus on competition rather than development. To favor player development, we propose to implement more dissociated contents. Dissociated strength sessions should be performed more than once a week to generate larger improvements (Ratamess et al., 2009; Schoenfeld, Ogborn, & Krieger, 2016). We also propose to change MD-1 training contents with more tactical contents to support the tapering strategy and potentially ensure a better level of readiness on MD.

Conclusions

This study showed that although emphasis was placed upon physical development by practitioners, in reality this was only really performed over two days (MD-4 and MD-3). Our results revealed discrepancies between the physical objectives set for each day and the content actually implemented, which potentially could be more physically demanding than expected. Further studies should clarify the fatigue caused by each training session to ensure that training periodization matches practitioners' expectations.

References

- Anderson, L., Orme, P., Di Michele, R., Close, G. L., Morgans, R., Drust, B., & Morton, J. P. (2016). Quantification of training load during one-, two- and three-game week schedules in professional soccer players from the English Premier League: implications for carbohydrate periodisation. *Journal of Sports Sciences*, *34*(13), 1250–1259. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1106574>
- Beato, M., Drust, B., & Iacono, A. Dello. (2021). Implementing High-speed Running and Sprinting Training in Professional Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, *42*(4), 295–299. <https://doi.org/10.1055/a-1302-7968>
- Brito, J., Hertzog, M., & Nassis, G. P. (2016). Do match-related contextual variables influence training load in highly trained soccer players? *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(2), 393–399. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001113>
- Castillo, D., Rodríguez-Fernández, A., Nakamura, F. Y., Sanchez-Sanchez, J., Ramirez-Campillo, R., Yanci, J., ... Raya-González, J. (2021). Influence of Different Small-Sided Game Formats on Physical and Physiological Demands and Physical Performance in Young Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *35*(8), 2287–2293. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003114>
- Clemente, F. M., Aquino, R., Praça, G. M., Rico-González, M., Oliveira, R., Silva, A. F., ... Afonso, J. (2022). Variability of internal and external loads and technical/tactical outcomes during small-sided soccer games: A systematic review. *Biology of Sport*, *39*(3), 647–672. <https://doi.org/10.5114/BIOLSPORT.2022.107016>
- Clemente, F. M., Owen, A., Serra-Olivares, J., Nikolaidis, P. T., Van Der Linden, C. M. I., & Mendes, B. (2019). Characterization of the Weekly External Load Profile of

- Professional Soccer Teams from Portugal and the Netherlands. *Journal of Human Kinetics*, 66, 155–164. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0054>
- Coppalle, S., Ravé, G., Moran, J., Salhi, I., Abderrahman, A. Ben, Zouita, S., ... Zouhal, H. (2021). Internal and external training load in under-19 versus professional soccer players during the in-season period. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 1–10. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020558>
- Coutinho, D., Gonçalves, B., Figueira, B., Abade, E., Marcelino, R., & Sampaio, J. (2015). Typical weekly workload of under 15, under 17, and under 19 elite Portuguese football players. *Journal of Sports Sciences*, 33(12), 1229–1237. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1022575>
- Dalen, T., Sandmæl, S., Stevens, T. G. ., Hjelde, G. H., Kjøsnes, T. N., & Wisløff, U. (2021). Differences in Acceleration and High-Intensity Activities Between Small-Sided Games and Peak Periods of Official Matches in Elite Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(7), 2018–2024. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003081>
- Dellal, A., Varliette, C., Owen, A. L., Chirico, E. N., & Pialoux, V. (2012). Small-Sided Games Versus Interval Training in Amateur Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2712–2720. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824294c4>
- Dunlop, G., Ardern, C. L., Andersen, T. E., Lewin, C., Dupont, G., Ashworth, B., ... McCall, A. (2020). Return-to-Play Practices Following Hamstring Injury: A Worldwide Survey of 131 Premier League Football Teams. *Sports Medicine*, 50(4), 829–840. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01199-2>
- Field, A., Corr, L. D., Thompson, C. J., Lucena, J. C. G., Sarmiento, H., Naughton, R. J., ... Harper, L. D. (2022). Recovery following the extra-time period of soccer: Practitioner perspectives and applied practices. *Biology of Sport*, 39(1), 171–179. <https://doi.org/10.5114/BIOLSPORT.2022.104066>
- Field, A., Harper, L. D., Christmas, B. C. R., Fowler, P. M., McCall, A., Paul, D. J., ... Taylor, L. (2021). The Use of Recovery Strategies in Professional Soccer: A Worldwide Survey. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(12), 1804–1815. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0799>
- Franco-Márquez, F., Rodríguez-Rosell, D., González-Suárez, J. M., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yañez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2015). Effects of Combined Resistance Training and Plyometrics on Physical Performance in Young Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(11), 906–914. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1548890>
- Hill Haas, S., Coutts, A. J., Dawson, B., & Rowsell, G. (2009). Time-motion characteristics and physiological responses of small-sided games in elite youth players: the influence of player number and rule changes. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 16(4), 1042–1049. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181af5265>
- Howatson, G., & Adi, M. (2009). Exercise-induced Muscle Damage Following A Bout Of Sport Specific Repeated Sprints. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(8), 2419–2424. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bac52e>
- Ispiridis, I., Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., Michailidis, I., Douroudos, I., ... Taxildaris, K. (2008). Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 18(5), 423–431. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3181818e0b>
- Kelly, D. M., Strudwick, A. J., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2020).

- Quantification of training and match-load distribution across a season in elite English Premier League soccer players. *Science and Medicine in Football*, 4(1), 59–67. <https://doi.org/10.1080/24733938.2019.1651934>
- Krustrup, P., Ortenblad, N., Nielsen, J., Nybo, L., Gunnarsson, T. P., Marcello Iaia, F., ... Bangsbo, J. (2011). Maximal voluntary contraction force, SR function and glycogen resynthesis during the first 72 h after a high-level competitive soccer game. *European Journal of Applied Physiology*, 111(12), 2987–2995. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1919-y>
- Los Arcos, A., Mendez-Villanueva, A., & Martínez-Santos, R. (2017). In-season training periodization of professional soccer players. *Biology of Sport*, 34(2), 149–155. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2017.64588>
- Malone, J. J., Di Michele, R., Morgans, R., Burgess, D., Morton, J. P., & Drust, B. (2015). Seasonal training-load quantification in elite English Premier League soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 489–497. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0352>
- Martín-García, A., Gómez Díaz, A., Bradley, P. S., Morera, F., & Casamichana, D. (2018). Quantification of a professional football team's external load using a microcycle structure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3511–3518. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002816>
- Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2012). Recovery in Soccer. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/bf03262308>
- Oliva-Lozano, J. M., Gómez-Carmona, C. D., Fortes, V., & Pino-Ortega, J. (2022). Effect of training day, match, and length of the microcycle on workload periodization in professional soccer players: A full-season study. *Biology of Sport*, 39(2), 397–406. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2022.106148>
- Owen, A. L., Forsyth, J. J., Wong, D. P., Dellal, A., Connelly, S. P., & Chamari, K. (2015). Heart rate-based training intensity and its impact on injury incidence among elite-level professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6), 1705–1712. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000810>
- Ratamess, N., Alvar, B. A., & Kraemer, W. J. (2009). Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687–708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Raya-González, J., Mendez-Villanueva, A., & Los Arcos, A. (2020). Training Load Periodization In Soccer With One Official Match A Week : A Systematic Review. In *An Essential Guide to Sports Performance* (pp. 123–166).
- Rebello, A., Brito, J., Seabra, A., Oliveira, J., Drust, B., & Krustrup, P. (2012). A new tool to measure training load in soccer training and match play. *International Journal of Sports Medicine*, 33(04), 297–304. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1297952>
- Rebello, António, Brito, J., Seabra, A., Oliveira, J., & Krustrup, P. (2014). Physical match performance of youth football players in relation to physical capacity. *European Journal of Sport Science*, 14 Suppl(1), S148-56. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.664171>
- Rhodri S. Lloyd, J. L. O. (2014). *Strength and Conditioning for Young Athletes: Science and application*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781351115346>
- Riboli, A., Olthof, S. B. H., Esposito, F., & Coratella, G. (2022). Training elite youth soccer players: Area per player in small-sided games to replicate the match demands. *Biology of Sport*, 39(3), 579–598. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2022.106388>
- Sangnier, S., Cotte, T., Brachet, O., Coquart, J., & Tourny, C. (2019). Planning Training Workload in Football Using Small-Sided Games' Density. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(10), 2801–2811.

- <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002598>
Sarmiento, H., Clemente, F. M., Harper, L. D., Costa, I. T. da, Owen, A., & Figueiredo, A. J. (2018). Small sided games in soccer—a systematic review. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(5), 693–749.
<https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1517288>
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2016). Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 46(11), 1689–1697. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0543-8>
- Silva, J. R., Nassis, G. P., & Rebelo, A. (2015). Strength training in soccer with a specific focus on highly trained players. *Sports Medicine - Open*, 1(1), 17.
<https://doi.org/10.1186/s40798-015-0006-z>
- Stoszkowski, J., & Collins, D. (2016). Sources, topics and use of knowledge by coaches. *Journal of Sports Sciences*, 34(9), 794–802.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1072279>
- Trecroci, A., Porcelli, S., Perri, E., Pedrali, M., Rasica, L., Alberti, G., ... Iaia, F. M. (2020). Effects of Different Training Interventions on the Recovery of Physical and Neuromuscular Performance After a Soccer Match. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(8), 2189–2196.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003269>
- Wrigley, R., Drust, B., Stratton, G., Scott, M., & Gregson, W. (2012). Quantification of the typical weekly in-season training load in elite junior soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1573–1580. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.709265>
- Yusoff, M. B. S. (2019). ABC of Content Validation and Content Validity Index Calculation. *Education in Medicine Journal*, 11(2), 49–54. <https://doi.org/10.21315/eimj2019.11.2.6>

IV.2. De l'état des lieux de la planification du microcycle vers sa modification pour l'optimisation du développement physique

Cette enquête aura donc permis de faire un état des lieux des pratiques concernant la planification des charges de travail lors d'un microcycle compétitif à un match par semaine. Cette étude a montré que les praticiens recherchaient davantage le développement physique que le résultat compétitif. Cependant, la forme de la planification du microcycle est identique aux planifications rapportées dans la littérature pour les équipes professionnelles. En effet, les praticiens des centres de formation français semblent rechercher le développement de leurs joueurs majoritairement à travers deux séances fortes durant le microcycle. Ces séances les plus exigeantes, placées à J-4 et J-3, correspondent aux principes proposés par la planification tactique. Les charges de travail suivant ces deux journées fortes, décroissent pour réaliser un affûtage pré-compétitif dans les deux jours menant au match, à J-2 et J-1. De ce fait, la similitude entre les planifications des centres de formation et des équipes professionnelles (Martín-García et al., 2018) semble montrer qu'il existe une divergence entre les objectifs annoncés et leur réalisation. Il semble donc indispensable de trouver des alternatives à la planification typique du microcycle en football afin de satisfaire l'objectif annoncé de développement physique des jeunes joueurs en formation.

Afin d'optimiser le développement physique, il semble nécessaire de s'appuyer sur la relation entre charge de travail et développement (Rhea, Alvar, et al., 2003). Dans le cas où un développement accru est souhaité, les charges de travail devraient être augmentées à travers le microcycle. L'augmentation du temps d'entraînement, ou encore de la fréquence d'entraînement peuvent aisément permettre d'accroître les charges de travail (Anderson et al., 2016). Cependant, en centre de formation, le temps accordé à l'entraînement est limité du fait des nombreuses contraintes sportives mais également extra-sportives des athlètes. De ce fait, augmenter le nombre d'entraînements ou leur volume peut sembler complexe. Une autre

solution viable serait de modifier la planification de la semaine, sans en changer le volume. Plusieurs solutions sont alors envisageables.

La première consiste à ajouter une journée orientée vers la récupération entre les séances de développement physique. Actuellement, les charges d'entraînement élevées recherchant le développement sont proposées sur des journées consécutives, à J-4 et J-3, suivies de charges réduites favorisant la récupération à J-2 où l'affutage pré-compétitif débute. En inversant les charges proposées à J-3 et J-2, il serait possible de favoriser la récupération entre les journées de développement physique, menant possiblement à une augmentation des charges de travail sur la semaine.

La seconde solution consiste à modifier l'ordre dans lequel les contenus d'entraînement sont proposés au cours de la semaine. La planification typique propose des contenus d'entraînement orientés vers le développement de la qualité aérobie puis de la qualité de vitesse. Du fait des journées dédiées à la récupération suivant le match, il est possible d'émettre l'hypothèse que l'état de forme est supérieur en début de semaine lors de la première journée à charges élevées. L'état de forme lors de la seconde journée de développement pourrait être inférieur du fait de la fatigue résiduelle issue des séances précédentes. De ce fait, l'état de forme pourrait donc être supérieur lorsque la qualité aérobie est priorisée plutôt que la qualité de vitesse du fait de l'influence de la première séance sur la seconde. Quel serait alors l'impact d'une inversion des contenus d'entraînement des journées visant le développement sur les charges externes produites lors de chacune de ces séances ?

Toutes ces modifications de la planification du microcycle pourraient impacter la qualité des séances d'entraînement mais également l'état de forme le jour de la compétition. En effet, la stratégie d'augmentation des charges d'entraînement visant l'intégration d'une journée de

récupération entre les journées à charges élevées provoquerait une charge élevée à J-2, alors que la planification typique débute l'affutage pré-compétitif lors de cette journée, à J-2 (Martín-García et al., 2018). L'augmentation de la charge de travail lors de J-2 avec des séances d'entraînement visant le développement de la qualité de vitesse, comprenant généralement du travail de sprint, pourrait altérer la performance du système neuromusculaire jusqu'à 48 heures après l'entraînement (Ade, Drust, Morgan, & Bradley, 2020) et donc la performance compétitive. De la même manière, lors de la stratégie d'inversion des contenus d'entraînement, la séance visant le développement aérobie serait placée plus proche du match que la séance recherchant l'optimisation de la qualité de vitesse, ce qui est contraire aux principes de la planification tactique, pour des raisons d'impact sur la performance compétitive (Tee et al., 2018). Pour ces deux études, nous émettions l'hypothèse que la modification de la planification permettrait d'augmenter les charges de travail au cours de la semaine. Nous émettions également l'hypothèse que ces augmentations des charges de travail n'auraient pas d'effets négatifs sur l'état de forme le jour de la compétition.

IV.2.1. Étude 2 : Influence d'une planification du microcycle modifiée par rapport à une planification typique sur les charges externes hebdomadaires et l'état de forme le jour du match chez des joueurs de football élite d'un centre de formation

Influence of a modified versus a typical microcycle periodization on the weekly external loads and match day readiness in elite academy soccer players

Tom Douchet, Christos Paizis, Christopher Carling, Nicolas Babault

Soumis dans The Journal of Strength and Conditioning Research

Abstract

In soccer, a typical weekly periodization strategy positions the most physically demanding training sessions four and three days before match-day (MD-4/MD-3). However, a modified periodization strategy can be alternatively employed with a low-load training session interspersing the two most demanding sessions. This study aimed to investigate the impact of a modified periodization on external loads during the most demanding sessions and match-day readiness compared to a typical periodization strategy.

20 elite academy soccer players (11 U17 and 9 U19) participated. Two experimental weeks were conducted using a randomized cross-over design. The modified weekly periodization strategy included a low-load training session positioned between the two most demanding training sessions. During the typical weekly periodization, the two most demanding training sessions were completed consecutively. Players wore a global positioning system and rated their perceived exertion (RPE) during the most demanding sessions. Players were also tested using a counter movement jump (CMJ), a 20-m sprint, the Illinois agility test (IAT), and the Hooper questionnaire on MD-4 to obtain baseline values (CONTROL) and on match-day (TEST).

CONTROL values were similar during both experimental weeks. During the second most demanding session, players covered greater distances for the modified versus the typical periodization strategy in the 20-25km/h ($306.3 \pm 117.1\text{m}$ vs $223.5 \pm 92.2\text{m}$, $p<0.05$) and $>25\text{km/h}$ speed zones ($89.5 \pm 44.8\text{m}$ vs $67.2 \pm 44.5\text{m}$, $p<0.05$). On MD, CMJ, 20m, and IAT performances were similar between both weekly periodization strategies. However, 10m time ($1.89 \pm 0.10\text{s}$ vs $1.92 \pm 0.09\text{s}$, $p<0.05$) and the Hooper index score (7.90 ± 2.14 a.u. vs 9.50 ± 3.44 a.u., $p<0.05$) were statistically lower during the modified periodization.

A decreased training load session positioned between the most demanding sessions may be of interest in elite academy soccer players as it can lead to greater high-speed and sprint running distances in training and increased readiness on MD compared to two consecutive demanding sessions.

Résumé

Dans le football, une stratégie de planification du microcycle typique place les séances d'entraînement les plus exigeantes quatre et trois jours avant le jour du match (J-4/J-3). Cependant, une stratégie de planification modifiée est parfois employée avec une séance d'entraînement à faible charge entre les deux séances les plus exigeantes. Cette étude visait à étudier l'impact d'une planification modifiée sur les charges externes des séances les plus exigeantes et l'état de forme le jour du match par rapport à une stratégie de planification typique.

20 joueurs de football élite d'un centre de formation (11 U17 et 9 U19) ont participé. Deux semaines expérimentales ont été testées dans un ordre aléatoire. La stratégie de planification hebdomadaire modifiée comprenait une séance d'entraînement à faible charge placée entre les deux séances d'entraînement les plus exigeantes. Pendant la planification hebdomadaire typique, les séances d'entraînement les plus exigeantes étaient effectuées consécutivement. Les joueurs portaient un système de positionnement global et évaluaient leur effort perçu (RPE) pendant les séances les plus exigeantes. Des évaluations de l'état de forme des joueurs, comprenant un saut en contre-mouvement (CMJ), un sprint de 20 m, un Illinois Agility Test (IAT) et le questionnaire de Hooper (pour l'état de forme subjectif), ont été réalisées à J-4 pour obtenir des valeurs de base (CONTROL) et répétées sur le jour de match (TEST).

Les valeurs CONTROL étaient similaires pendant les deux semaines expérimentales. Au cours du second entraînement le plus exigeant, les joueurs ont parcouru de plus grandes distances lors de la stratégie de planification modifiée par rapport à la stratégie typique dans les seuils 20-25km/h ($306,3 \pm 117,1\text{m}$ vs $223,5 \pm 92,2\text{m}$, $p < 0,05$) et $>25\text{km/h}$ ($89,5 \pm 44,8\text{m}$ vs $67,2 \pm 44,5\text{m}$, $p < 0,05$). Pour le TEST, les valeurs de CMJ, 20m et IAT étaient similaires entre les deux semaines. Cependant, le temps sur 10m ($1,89 \pm 0,10\text{s}$ vs $1,92 \pm 0,09\text{s}$, $p < 0,05$) et l'indice de Hooper ($7,90 \pm 2,14$ u.a. vs $9,50 \pm 3,44$ u.a., $p < 0,05$) ont rapporté des valeurs plus faibles pendant la planification modifiée.

Les résultats ont démontré que la planification modifiée peut être intéressante car elle peut conduire à une augmentation des distances parcourues à haute intensité et en sprint avec un état de forme supérieur sur le jour de match par rapport à une stratégie typique.

Introduction

In soccer, the periodization strategies adopted by elite practitioners aim to ensure optimal recovery following match-play and develop or at least maintain physical qualities for the next match throughout the competitive season. As such, practitioners are constantly trying to optimize their microcycle (i.e., weekly) periodization strategy. However, scientific evidence and rationale for weekly periodization strategies are scarce. A recent study demonstrated that in elite French soccer academies, almost all soccer teams implemented similar microcycle periodization strategies (Douchet, Paizis, & Babault, 2023). Players are typically exposed to light training loads (volume and intensity) during the two days following the match (match-day+1 [MD+1] and +2 [MD+2]). The load is increased during the next two days to develop or maintain physical qualities. On MD-2 and MD-1, a progressive decrease in training load is

reported for tapering purposes (Douchet et al., 2023). Although some minor differences exist (for instance with a day off on MD+1 or MD+2) (Martin Buchheit, Settembre, Hader, & Mchugh, 2023), this typical periodization is generally observed in professional soccer settings (Los Arcos et al., 2017; Martín-García et al., 2018; Oliva-Lozano, Gómez-Carmona, Rojas-Valverde, Fortes, & Pino-Ortega, 2022). However, professional and academy youth teams do not necessarily share the same objectives during a competitive microcycle. One can reasonably assume that practitioners in professional settings mainly focus upon preparing their players to achieve competitive results. In contrast, academy policies might emphasize player development over competitive results (Douchet et al., 2023). As such, the similar microcycle periodization strategies (Douchet et al., 2023; Martín-García et al., 2018) observed in academy and professional settings might seem surprising. Indeed, greater weekly training loads for physical development purposes would arguably be expected in academies.

In soccer, an increase in training load for physical conditioning purposes can be achieved using different strategies such as increasing the number of sessions and/or their duration (Anderson et al., 2016). However, a combination of higher training loads and longer durations have been shown to deleteriously impact physical performance on the following day (Douchet, Paizis, & Babault, 2022). Therefore, the adverse effects of such increases might negatively impact the effectiveness of any subsequent training session and their expected effects on physical development. A potential means to increase training load without any detrimental effect on physical development could involve modification of the typical weekly periodization strategy. Currently, a typical soccer periodization strategy positions the two most physically demanding sessions consecutively on MD-4 and MD-3 (Douchet et al., 2023). Interposing a low-load training session between the two heaviest sessions could arguably favor recovery, prevent or reduce any deterioration in performance, and even potentially allow players to perform greater running loads during the second most demanding training session. This modified periodization strategy (i.e., most demanding sessions on MD-4 and MD-2 with a low-load session in-between on MD-3) has notably been used in rugby union with positive chronic effects on different fitness characteristics (Dubois, Lyons, Paillard, Maurelli, & Prioux, 2020).

Although a change in the periodization strategy could help to increase the training load without alteration of the training content, it might negatively impact readiness to play on MD. Indeed, the modified periodization would delay and shorten the weekly tapering phase, which typically starts on MD-2 (Douchet et al., 2023). Increasing the training load on MD-2 with intensive training sessions (such as high-speed running) could impair the neuromuscular system up to 48h post-training (Howatson & Adi, 2009). Moreover, such increases on MD-2 have been shown to decrease the winning probability for the following match in senior players (Oliveira et al., 2020). However, no information exists on the effect of a modified periodization strategy on MD readiness in elite soccer academy players.

The present study aimed to examine the effects of a modified weekly periodization (with a low-load training session positioned between the two most demanding training sessions) compared to a typical periodization strategy (the two most demanding training sessions performed consecutively) in elite academy soccer players on measures of external training load and readiness for the subsequent match.

Methods

Experimental approach to the problem

This study used a randomized cross-over design to examine the effects of a modified in-season weekly periodization strategy, compared to a typical strategy, on the training loads performed during the most physically demanding sessions, and subsequent MD readiness (Figure 1). Two experimental weeks were tested. During the typical experimental week, the two most demanding training sessions were performed consecutively on MD-4 and MD-3. During the modified experimental week, a low-load training session interspersed (i.e., on MD-3) the most demanding sessions (performed on MD-4 and MD-2). The remaining sessions of the week were unchanged (Table 1). Players were monitored on MD-4 to obtain control values for tests of readiness (countermovement jump [CMJ], 20m sprint, Illinois Agility Test [IAT], Hooper questionnaire, training workload using global positioning system [GPS], and rate of perceived exertion [RPE]). Players were monitored during the second most demanding session (MD-3 and MD-2 for the typical and modified periodization, respectively) with GPS and RPE to evaluate external and internal training workload respectively. Players were tested on MD using a CMJ, 20m sprint, IAT, and Hooper questionnaire to determine their readiness for match day. T-tests were used to evaluate possible statistical differences between both types of periodization strategies.

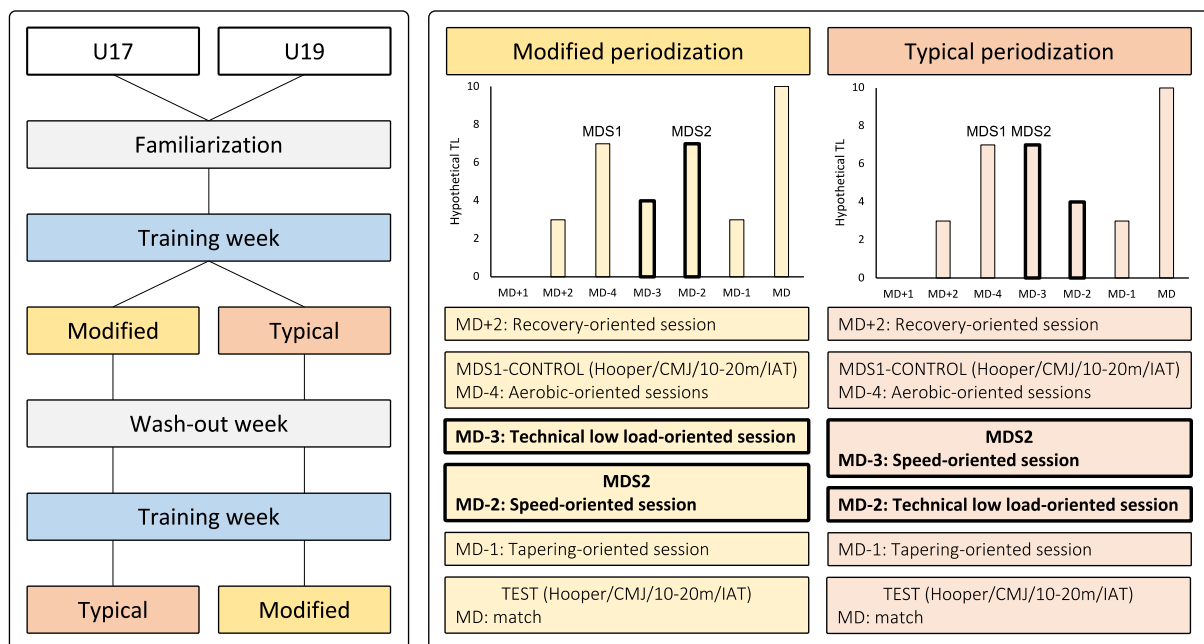


Figure 1. Study flowchart. The two "Training weeks" were of identical contents and served to standardize the physical level before the two experimental weeks. Modified days between the typical and modified periodization (MD-3 and MD-2) are shown in bold. MDS: most demanding session; MD: Match-day; CMJ: Countermovement Jump; IAT: Illinois agility test; TL: Training load.

Participants

A total of twenty-eight elite academy soccer players (14 U17 players: age = 16.1 ± 0.5 years, height = 170.3 ± 5.7 cm, body mass = 63.4 ± 3.6 kg and 14 U19 players: age = 18.3 ± 0.4 years, height = 172.4 ± 6.5 cm, body mass = 68.1 ± 6.7 kg) belonging to the French professional Ligue 2 football club of Dijon Football Côte d'Or were recruited. Goalkeepers were not included due to the different nature of their activity. Players not completing all training sessions were also omitted. Players were instructed to maintain their habitual daily food and water intake. All the players were notified of the research protocol, benefits, and risks before providing written informed consent in accordance with the declaration of Helsinki. Approval of the study was obtained by the local ethic committee (IRB00012476-2021-17-06-114).

Table 1. Organization of the two experimental weeks.

	Modified periodization		Typical periodization	
	AM	PM	AM	PM
MD+1	Rest	Rest	Rest	Rest
MD+2	Rest	Upper body strength session + Active recovery / prophylactic work (60min)	Rest	Upper body strength session + Active recovery / prophylactic work (60min)
MD-4	CONTROL 12min 30"/30" maximal aerobic speed intermittent work + Aerobic oriented session – small- and medium-sided games (90min)	Positional specific session (60min)	CONTROL 12min 30"/30" maximal aerobic speed intermittent work + Aerobic oriented session – small- and medium-sided games (90min)	Positional specific session (60min)
MD-3	Technical low-load drills (75min)	Rest	4x30m sprint work + Speed oriented session – large-sided games (90min)	Lower body strength session (60min)
MD-2	4x30m sprint work + Speed oriented session – large-sided games (90min)	Lower body strength session (60min)	Technical low-load drills (75min)	Rest
MD-1	Rest	Reactivity – SSG (60min)	Rest	Reactivity – SSG (60min)
MD	TEST + Match (90min)	Rest	TEST + Match (90min)	Rest

Modified days between the typical and modified periodization (MD-3 and MD-2) are shown in bold.

Procedure

Players were tested during the 2020-2021 season over six consecutive weeks, following the winter break, between the 33rd and 38th week of the season. Two experimental weeks were

tested with each preceded by a standardized training week. The two blocks (standardized week + experimental week) were interspersed by a standardized wash-out week (Figure 1). To limit possible confounding effects, standardized training weeks were strictly identical. During the experimental weeks, training content, duration and intensity were identical. For the typical periodization strategy, two heavy-load sessions were implemented on MD-4 and MD-3 and were defined as the most demanding session 1 and the most demanding session 2, respectively. These were followed by a low-load session on MD-2 (Figure 1). During the modified periodization approach, the contents of the training sessions on MD-3 and MD-2 were inverted. As such, during the modified periodization, the two most demanding sessions were conducted on MD-4 and MD-2 and were interspersed by a low-load session on MD-3 (Figure 1).

Dissociated physical work was executed during the two most demanding sessions. Players performed a similar aerobic-oriented session on the first most demanding session (performed on MD-4 for both experimental conditions) (Table 1). This session included 12 minutes of 30"/30" (30 seconds effort / 30 seconds passive rest) maximal aerobic speed intermittent work followed by 20 min (5x4 min, 2 min rest, 5vs5 with 125m² per player) small- and 20 min (4x5 min, 2 min rest, 5vs5 with 175m² per player) medium-sided games. Players performed a similar speed-oriented session during the second most demanding session (on MD-3 for the typical periodization and MD-2 for the modified periodization) (Table 1). This session involved a series of 4x30 m sprints followed by 40 min (4x10 min, 3 min rest, 10vs10) large-sided games. All field training sessions took place on an artificial soccer pitch.

Training workload was measured during the two most demanding sessions. External and internal loads during the first most demanding session (on MD-4) served as CONTROL values. During the second most demanding session (typical periodization: MD-3; modified periodization: MD-2), the external and internal training loads were used to compare the typical and modified periodization strategy.

Training load monitoring was performed using a 10-Hz Fieldwiz GPS (Fieldwiz, Liège, Belgique), integrating a 100-Hz triaxial accelerometer microsensor for every field-based training session and match. This tracking device has been shown to display low bias and good coefficient of variation for total distance covered and peak speed, indicating sufficient reliability to track team-sport load variables (Willmott, James, Bliss, Leftwich, & Maxwell, 2019). The device was worn between the scapulae using a specifically designed vest. As recommended by the manufacturer, all devices were activated 15 min before data collection. GPS were distributed to the players 10 min before the training session onset. Players systematically wore the same device to avoid inter-unit variability. GPS were turned off as soon as the training session or match was terminated. Data were downloaded and analyzed immediately after each match and training session using the manufacturer's proprietary software package (Fieldwiz, ASI, Lausanne, Switzerland). External load was monitored using the following variables: total distance (TD) expressed as the absolute distance covered by the players and in meters (m), distances at specific speeds (in m) including low-speed distance (LSD; [0-15[km·h⁻¹), moderate-speed distance (MSD; [15-20[km·h⁻¹), high-speed distance (HSD; [20-25] km·h⁻¹), and sprint distance (SPR; > 25 km·h⁻¹), and the total number of

accelerations (ACC; $> 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) and decelerations (DEC; $< -3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). Following these experimental training sessions, players reported their RPE using a Borg CR-10 scale (Douchet, Paizis, & Babault, 2022) on their individual cellphones between 15 to 30 min after the end of the training session (Douchet, Paizis, & Babault, 2022).

Physical performance was assessed during MD-4 and MD. On MD-4, values served as CONTROL to ensure that players had similar physical levels before the first most demanding training session of the two experimental weeks. Tests were conducted on the morning of the first most demanding session. On MD, the testing procedure (here called TEST) was used to compare readiness at the end of the typical and modified periodization. The testing procedure was chosen in accordance with that used in a previous study (Douchet, Paizis, & Babault, 2022). Tests included a CMJ, 20m sprint, IAT, and Hooper questionnaire. The players first had to answer the Hooper Questionnaire to subjectively determine their readiness according to ratings of sleep quality of the preceding night, fatigue, stress, and delayed onset muscle soreness (DOMS) (Hooper & Mackinnon, 1995). Each response was rated on a seven-point Likert scale, with responses ranging from 1 to 7 respectively corresponding to "very, very good" to "very, very bad" for sleep and to "very, very low" to "very, very high" for fatigue, stress, and DOMS. The Hooper Index (HI) summated the four ratings (Hooper & Mackinnon, 1995). Ratings were completed on players' individual cellphones, 30 min before the session, to limit any potential influence from teammates.

The participants then performed a 15-min standardized FIFA 11+ warm-up (O'Brien, Young, & Finch, 2017) followed by physical tests systematically completed in the following order: CMJ, 20m sprint, and IAT. Players had two trials for each test, interspersed by 2 min of passive recovery. The different tests were also separated by 2 min passive recovery. The best values were retained for statistical analysis (Brini et al., 2022). Players were familiarized with the testing procedure one week before the study onset (Figure 1). Regarding the CMJ, players had to jump as high as possible, beginning in a standing position, then flexing the knees until 90° , and extending the knees to jump in a continuous movement (J. J. Malone, Murtagh, et al., 2015). They were asked to keep their arms on their hips from standing until landing. Performance was measured using a photocell jump system (Optojump, Microgate, Bolzano, Italy) sampling at 1000 Hz, with jump height (cm) subsequently calculated by proprietary software (Optojump, Version 1.3.20.0, Microgate, Bolzano, Italy). During the 20 m sprint, 10 m, and 20 m sprint times were measured using three pairs of photoelectric timing gates (Witty system, Microgate, Bolzano, Italy). Players started from a standing position as close to the timing gates as possible without triggering the cells. The IAT (Amiri-Khorasani, Sahebozamani, Tabrizi, & Yusof, 2010) was performed after the 20m sprint test to assess soccer-specific speed abilities. The IAT time was measured using timing gates (Witty system, Microgate, Bolzano, Italy).

Statistical analyses

Statistical analyses were conducted using JASP (version 0.14, JASP Team 2020, University of Amsterdam, available free at <https://jasp-stats.org/download/> (accessed on 20 November

2021). Results are presented as mean values (\pm standard deviation, SD). Normality was verified using the Shapiro-Wilk test, and parametric statistics subsequently used to analyze all indicators. Student t-tests were used to analyze differences between the two experimental weeks. Statistical significance was set at $p < 0.05$. Effect sizes (ES) were calculated to show the magnitude of the effects (standardized differences in means: Cohen's units) with their interpretation based on the following criteria: < 0.2 = trivial, 0.2 to 0.6 = small effect, 0.6 to 1.2 = moderate effect, 1.2 to 2.0 = large effect and > 2.0 = very large.

Results

Of the 28 participants, 20 players (11 U17 players and 9 U19 players) were retained. The 8 other players were excluded owing to injuries sustained.

Training workload

The field session performances are shown in Table 2. Analysis of the most demanding session 1 for the CONTROL condition demonstrated similar values for both experimental weeks: TD ($p=0.580$; $d=0.126$, trivial); LSD ($p=0.728$; $d=0.079$, trivial); MSD ($p=0.588$; $d=0.123$, trivial); HSD ($p=0.682$; $d=0.093$; trivial); SPR ($p=0.157$; $d=0.330$, small); ACC ($p=0.924$; $d=0.022$, trivial); DEC ($p=0.825$; $d=0.050$, trivial) and RPE ($p=0.359$; $d=0.210$, small).

For the most demanding session 2, most indicators did not differ statistically between the typical and the modified periodization strategy: TD ($p=0.552$; $d=0.136$, trivial); LSD ($p=0.140$; $d=0.344$, small); MSD ($p=0.568$; $d=0.130$, trivial); ACC ($p=0.919$; $d=0.023$, trivial); DEC ($p=0.134$; $d=0.350$, small) and RPE ($p=0.110$; $d=0.375$, small). In contrast, HSD ($p=0.025$; $d=0.546$, small) and SPR ($p=0.015$; $d=0.599$, small) were significantly greater during the modified versus the typical periodization strategy.

Table 2. Typical and modified periodization external and internal training loads during the most demanding sessions 1 and 2.

	Most demanding session 1		Most demanding session 2	
	Typical	Modified	Typical	Modified
TD (m)	6689.2 \pm 429.9	6765.6 \pm 629.7	6033.5 \pm 678.6	5919.5 \pm 525.7
LSD (m)	4570.5 \pm 348.5	4605.1 \pm 411.6	5246.1 \pm 686.7	4930.0 \pm 461.3
MSD (m)	1390.9 \pm 172.4	1423.57 \pm 207.4	563.9 \pm 206.1	592.2 \pm 153.8
HSD (m)	683.3 \pm 302.2	657.0 \pm 291.7	223.5 \pm 92.3	306.4 \pm 117.1*
SPR (m)	43.9 \pm 34.9	80.3 \pm 98.0	67.2 \pm 44.6	89.6 \pm 44.9*
ACC (n)	79.1 \pm 14.2	79.5 \pm 16.7	87.6 \pm 24.2	87.3 \pm 21.5
DEC (n)	54.9 \pm 13.1	54.0 \pm 16.7	66.8 \pm 21.0	61.4 \pm 18.6
RPE (a.u.)	7.2 \pm 0.9	7.0 \pm 0.9	5.9 \pm 1.3	6.6 \pm 1.1

Values are presented as means \pm SD. Most demanding session 1 served as CONTROL. Significantly greater performance between the typical and modified periodization are shown (* = $p < 0.05$). TD: Total distance; LSD: Low speed running ($[0-15[\text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$); MSD: Moderate

speed distance ([15-20] $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$); HSD: High speed distance ([20-25] $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$); SPR: Sprint ($> 25 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$); ACC: Accelerations ($> 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$); DEC: Decelerations ($< -3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$); RPE: Rate of perceived exertion.

Testing procedure

Values for the physical tests and the Hooper questionnaire during CONTROL (Table 3) were not statistically different between the two monitored weeks: CMJ ($p=0.818$; $d=0.052$, trivial); 10m ($p=0.656$; $d=0.101$, trivial); 20m ($p=0.773$; $d=0.065$, trivial); IAT ($p=0.790$; $d=0.060$, trivial); Fatigue ($p=0.577$; $d=0.127$, trivial); Sleep ($p=0.390$; $d=0.197$, trivial); Stress ($p=0.201$; $d=0.296$, small); DOMS ($p=0.825$; $d=0.050$, trivial); HI ($p=0.409$; $d=0.189$, trivial).

In the TEST condition, values for CMJ ($p=0.499$; $d=0.154$, trivial); 20m ($p=0.138$; $d=0.347$, small); IAT ($p=0.186$; $d=0.307$, small); Fatigue ($p=0.249$; $d=0.266$, small), Stress ($p=1.000$; $d=0$, trivial), and DOMS ($p=0.134$; $d=0.350$, small) were not significantly different (Figure 2). In contrast, 10m time was significantly lower during the modified periodization as compared to the typical periodization ($p=0.024$; $d=0.550$, small). Values for sleep ($p=0.014$; $d=0.607$, moderate) and HI ($p=0.016$; $d=0.592$, small) were also lower during the modified weeks as compared to the typical periodization (Figure 2).

Table 3. Values for physical tests and Hooper questionnaire during the typical and modified periodization strategies for the most demanding session 1 (CONTROL: MD-4).

	Typical periodization	Modified periodization
CMJ height (cm)	41.68 ± 4.94	41.57 ± 4.19
10m sprint (s)	1.90 ± 0.09	1.90 ± 0.09
20m sprint (s)	3.20 ± 0.15	3.19 ± 0.13
IAT (s)	15.42 ± 0.59	15.45 ± 0.45
Fatigue (au)	2.55 ± 1.02	2.55 ± 1.20
Sleep (au)	2.20 ± 1.03	2.50 ± 1.20
Stress (au)	1.35 ± 0.73	1.70 ± 1.49
DOMS (au)	2.00 ± 0.84	2.00 ± 0.95
Hooper Index (au)	8.10 ± 2.28	8.75 ± 3.13

Values are means ± SD. CMJ: Counter Movement Jump; IAT: Illinois Agility Test; DOMS: Delayed Onset Muscle Soreness; au: arbitrary unit***Insert Figure 2 about here***.

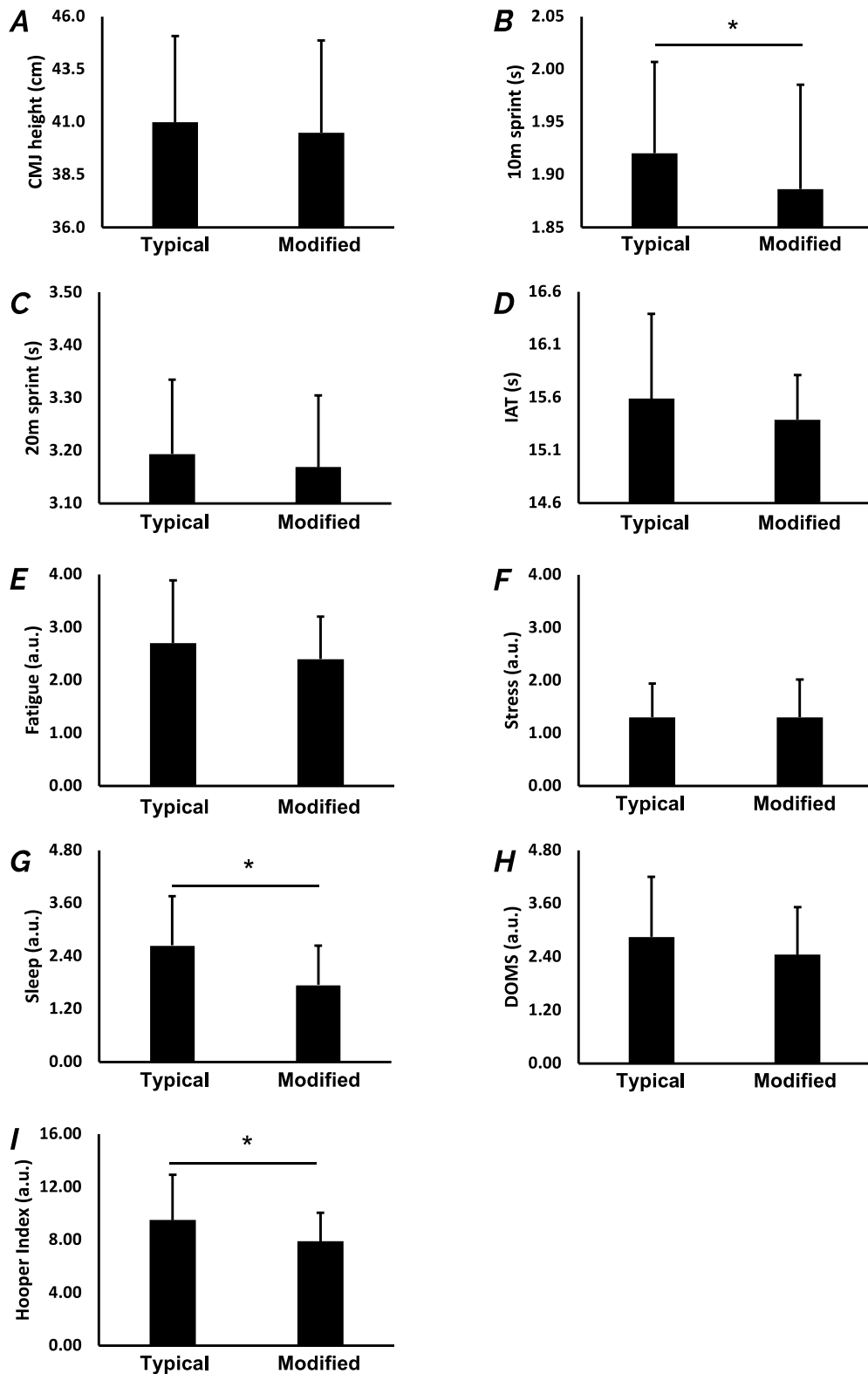


Figure 2. Physical and Hooper questionnaire results for TEST on MD. Significantly greater performance for physical tests and subjective readiness level for the Hooper questionnaire are observed (* = $p < 0.05$). A: Countermovement jump height; B: 10m sprint time; C: 20m sprint time; D: Illinois Agility Test time; E: Fatigue; F: Stress; G: Sleep; H: DOMS (Delayed Onset Muscle Soreness); I: Hooper Index.

Discussion

The present study investigated the effects of a modified weekly periodization strategy compared to a typical periodization in elite academy soccer players on measures of external training load and subsequent readiness for the next match. The modified weekly periodization interspersed a low-load training session between the two most demanding training sessions, while these two sessions were consecutive during the typical weekly periodization. Results revealed that the modified periodization led to players performing greater external loads at high intensities during the second most demanding session. Furthermore, the modified periodization strategy did not appear detrimental to subsequent match performance since the readiness level on MD increased.

Here, it is noteworthy that players were able to perform greater distances at high-speed and sprint during the speed-oriented session in the most demanding session 2 of the modified periodization as compared to the typical strategy. This result suggests that the low-load session placed on MD-3 during the modified periodization was beneficial in helping the youth players to recover from the likely fatigue obtained following the most-demanding session 1. Indeed, during the most demanding session 1, practitioners sought aerobic development through small- and medium-sided games. These drills notably require heavy demands related to changes in movement direction leading to greater ACC and DEC demands per min than competition (Sarmiento et al., 2018). Authors have previously shown that an elevation in the number of ACC and DEC led to increases in indicators of muscle damage such as plasma creatine kinase and fatigue (Douchet, Humbertclaude, Cometti, Paizis, & Babault, 2021; Young, Hepner, & Robbins, 2012). Following exercise-induced muscle damage, plasma creatine kinase and DOMS are significantly elevated 24 to 48h post training intervention (Twist & Eston, 2005). These elevations can lead to similar decreases in sprint performance 24h and 48h post-exercise (Twist & Eston, 2005). However, work has shown that implementing an active rather than a passive recovery strategy immediately after an intense soccer training session promoted significantly decreased muscle damage 48h post training intervention (Darani, Abedi, & Fatollahi, 2018). Therefore, we can hypothesize that the low-load session placed between the two most-demanding training sessions during the modified periodization might have acted as active recovery and as such, was beneficial for subsequent training by alleviating fatigue. Moreover, this periodization strategy could also be of interest to increase high velocity external loading, which is shown to be significantly lower in youth players compared with professionals throughout the week (Houtmeyers et al., 2020). These elevated weekly external loads are important to soccer performance (Di Salvo, Gregson, Atkinson, Tordoff, & Drust, 2009). They could help prepare players to cope with the ever-increasing high intensity competitive demands (Lago-Peñas et al., 2022; Nassis et al., 2020), and bridge the gap with professional standards (Houtmeyers et al., 2020).

Previous studies have highlighted that a gradual reduction in the training load (tapering) across the final two days leading to competition plays a key role in the periodization strategy to increase players' readiness (Kelly et al., 2020; Los Arcos et al., 2017). It is noteworthy that the present results demonstrated that players readiness level on MD, as attested by improved scores in the Hooper questionnaire and physical tests, improved following the modified periodization

microcycle. This finding might be explained by the recovery on the day interspersing the two most-demanding training sessions. Without sufficient recovery, successively conducting the two most-demanding sessions (typical periodization strategy) could lead to fatigue accumulation. Indeed, a previous study showed that greater training loads were correlated with a decrease in subjective recovery indices in academy players (Noon, James, Clarke, Taylor, & Thake, 2018). To counteract fatigue accumulation, practitioners usually commence weekly tapering on MD-2 (Douchet et al., 2023). Interestingly, the present results suggest that tapering can be shortened, thereby enabling increased emphasis and positive effects on physical development. Indeed, in addition to the increased training load during the second of the most demanding sessions, the low-load session during the modified periodization strategy on MD-3 positively affected readiness level on MD. This conclusion was further highlighted by improved 10m sprint times on MD following the modified periodization. An alternative periodization strategy where a highly demanding training session is programmed closer to match-day is thus feasible when sufficient recovery is scheduled within the schedule.

This study has limitations. Indeed, training periodization is a complex process depending on numerous factors such as player level, inter-individual history, the period during the pre- and in-season, and individual responses to training stimulus. Indeed, players may respond differently to these varying periodization models. In addition, the results of our study analyzed the average responses across the group of players. As a result, some individuals may have responded differently to these periodizations. As such, the present experimental design should be replicated over a longer period using a larger sample size and in different training contexts. For instance, additional professional teams combined with different training contents and periodization strategies should be considered, taking into account the individual responses.

Conclusion

The results of the present study demonstrated that a modified periodization (most demanding sessions interspersed with a low-load session) led to greater HSD and SPR distances covered in the speed-specific training session. These increased distances could have possible advantages for the development of physical qualities and notably aid development of youth soccer players' performance during official competitions. Furthermore, delaying the weekly tapering to MD-1 was not detrimental for players' readiness levels on MD. On the contrary, the modified periodization slightly improved some readiness scores for the subsequent competitive game.

Practical applications

This study showed that an alternative microcycle periodization models can be implemented in youth soccer. Indeed, interspersing a low load session between the two most demanding sessions was shown to be a valid strategy to increase players' high-intensity external loads. Additionally, it is possible to use high training loads on MD-2 when sufficient recovery is scheduled within a weekly periodization without any detrimental effect for the subsequent match.

References

- Amiri-Khorasani, M., Sahebozamani, M., Tabrizi, K. G., & Yusof, A. B. (2010). Acute effect of different stretching methods on Illinois agility test in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf049c>
- Anderson, L., Orme, P., Di Michele, R., Close, G. L., Morgans, R., Drust, B., & Morton, J. P. (2016). Quantification of training load during one-, two- and three-game week schedules in professional soccer players from the English Premier League: implications for carbohydrate periodisation. *Journal of Sports Sciences*, *34*(13), 1250–1259. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1106574>
- Brini, S., Boullosa, D., Calleja-González, J., van den Hoek, D. J., Nobari, H., & Clemente, F. M. (2022). Impact of combined versus single-mode training programs based on drop jump and specific multidirectional repeated sprint on bio-motor ability adaptations: a parallel study design in professional basketball players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *14*(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00551-w>
- Buchheit, M., Settembre, M., Hader, K., & Mchugh, D. (2023). Planning the microcycle in elite football: to rest or not to rest? *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 1–7.
- Darani, M. S. M., Abedi, B., & Fatolahi, H. (2018). The effect of active and passive recovery on creatine kinase and C-reactive protein after an exercise session in football players. *International Archives of Health Sciences*, *5*(1), 1. https://doi.org/10.4103/iahs.iahs_31_17
- Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., & Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in premier league soccer. *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1105950>
- Douchet, T., Humbertclaude, A., Cometti, C., Paizis, C., & Babault, N. (2021). Quantifying Accelerations and Decelerations in Elite Women Soccer Players during Regular In-Season Training as an Index of Training Load. *Sports*, *9*(8), 109. <https://doi.org/10.3390/sports9080109>
- Douchet, T., Paizis, C., & Babault, N. (2022). Physical Impact Of A Typical Training Session With Different Volumes On The Day Preceding A Soccer Match. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(September).
- Douchet, T., Paizis, C., & Babault, N. (2023). Typical weekly physical periodization in French academy soccer teams: a survey. *Biology of Sport*, *40*(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.5114/biolSport.2023.119988>
- Dubois, R., Lyons, M., Paillard, T., Maurelli, O., & Prioux, J. (2020). Influence of weekly workload on physical, biochemical and psychological characteristics in professional rugby union players over a competitive season. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002741>
- Hooper, S. L., & Mackinnon, L. T. (1995). Monitoring Overtraining in Athletes: Recommendations. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.2165/00007256-199520050-00003>
- Houtmeyers, K. C., Jaspers, A., Brink, M. S., Vanrenterghem, J., Varley, M. C., & Helsen, W. F. (2020). External load differences between elite youth and professional football players: ready for take-off? *Science and Medicine in Football*, *0*(0), 1–5. <https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1789201>
- Howatson, G., & Adi, M. (2009). Exercise-induced Muscle Damage Following A Bout Of Sport Specific Repeated Sprints. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(8), 2419–2424. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bac52e>
- Kelly, D. M., Strudwick, A. J., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2020).

- Quantification of training and match-load distribution across a season in elite English Premier League soccer players. *Science and Medicine in Football*, 4(1), 59–67.
<https://doi.org/10.1080/24733938.2019.1651934>
- Lago-Peñas, C., Lorenzo-Martinez, M., Lopez-Del Campo, R., Resta, R., & Rey, E. (2022). Evolution of physical and technical parameters in the Spanish LaLiga 2012-2019. *Science and Medicine in Football*.
- Los Arcos, A., Mendez-Villanueva, A., & Martínez-Santos, R. (2017). In-season training periodization of professional soccer players. *Biology of Sport*, 34(2), 149–155.
<https://doi.org/10.5114/biolSport.2017.64588>
- Malone, J. J., Murtagh, C. F., Morgans, R., Burgess, D. J., Morton, J. P., & Drust, B. (2015). Countermovement jump performance is not affected during an in-season training microcycle in elite youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 752–757. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000701>
- Martín-García, A., Gómez Díaz, A., Bradley, P. S., Morera, F., & Casamichana, D. (2018). Quantification of a professional football team's external load using a microcycle structure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3511–3518.
<https://doi.org/10.1519/jsc.00000000000002816>
- Nassis, G. P., Massey, A., Jacobsen, P., Brito, J., Randers, M. B., Castagna, C., ... Krstrup, P. (2020). Elite football of 2030 will not be the same as that of 2020: Preparing players, coaches, and support staff for the evolution. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30(6), 962–964. <https://doi.org/10.1111/sms.13681>
- Noon, M. R., James, R. S., Clarke, N. D., Taylor, R. J., & Thake, C. D. (2018). Next day subjective and objective recovery indices following acute low and high training loads in academy rugby union players. *Sports*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/sports6020056>
- O'Brien, J., Young, W., & Finch, C. F. (2017). The use and modification of injury prevention exercises by professional youth soccer teams. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. <https://doi.org/10.1111/sms.12756>
- Oliva-Lozano, J. M., Gómez-Carmona, C. D., Rojas-Valverde, D., Fortes, V., & Pino-Ortega, J. (2022). Effect of training day, match, and length of the microcycle on the worst-case scenarios in professional soccer players. *Research in Sports Medicine*, 30(4), 425–438.
<https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1895786>
- Oliveira, R., Brito, J. P., Loureiro, N., Padinha, V., Ferreira, B., & Mendes, B. (2020). Does the distribution of the weekly training load account for the match results of elite professional soccer players? *Physiology and Behavior*, 225(May), 113118.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113118>
- Sarmento, H., Clemente, F. M., Harper, L. D., Costa, I. T. da, Owen, A., & Figueiredo, A. J. (2018). Small sided games in soccer—a systematic review. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(5), 693–749.
<https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1517288>
- Twist, C., & Eston, R. (2005). The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*.
<https://doi.org/10.1007/s00421-005-1357-9>
- Willmott, A. G. B., James, C. A., Bliss, A., Leftwich, R. A., & Maxwell, N. S. (2019). A comparison of two global positioning system devices for team-sport running protocols. *Journal of Biomechanics*, 83, 324–328. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.11.044>
- Young, W. B., Hepner, J., & Robbins, D. W. (2012). Movement demands in Australian Rules football as indicators of muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318225a1c4>

IV.2.2. Étude 3 : Influence de l'ordre des séances du microcycle compétitif sur les charges externes hebdomadaires et l'état de forme le jour du match chez des joueurs de football élite d'un centre de formation.

Influence Of The Order Of Physical Qualities During The Microcycle On Weekly External Loads And Match Day's Readiness Level In Elite Academy Soccer Players

Tom Douchet, Christos Paizis, Nicolas Babault

Soumis dans The Journal of Strength and Conditioning Research

Abstract

Elite academy soccer practitioners usually implement an aerobic-oriented session followed by a speed-oriented session during the first and second heavy load session of a training week, respectively. This study aimed to investigate if the order of these physical training sessions would influence the external training loads and the subsequent readiness level on match day.

25 elite academy soccer players (12 U17 and 13 U19) participated in two experimental weeks randomly presented. The AEROBIC-SPEED periodization implemented an aerobic-oriented session on MD-4 and a speed-oriented session on MD-2. The SPEED-AEROBIC periodization did the opposite. Players wore a global positioning system and rated their perceived exertion (RPE) during these two sessions. Players were also tested on MD-4 for baseline values (CONTROL) and match-day (TEST). Tests included a counter movement jump (CMJ), a 20-m sprint, the Illinois agility test (IAT), and the Hooper questionnaire.

For the aerobic-oriented session, players reported greater distances during AEROBIC-SPEED periodization than SPEED-AEROBIC in 15-20km/h ($1273.53\text{m} \pm 328.51$ vs $1174.84\text{m} \pm 210.33$, $p < 0.05$) and 20-25km/h ($658.92\text{m} \pm 264.41$ vs $478.17\text{m} \pm 259.10$, $p < 0.01$). For the speed-oriented session, players reported greater distances during SPEED-AEROBIC than AEROBIC-SPEED periodization in 20-25km/h ($298.84\text{m} \pm 120.12$ vs $223.24\text{m} \pm 114.86$, $p < 0.05$) and $>25\text{km/h}$ ($110.74\text{m} \pm 34.65\text{m}$ vs 84.96 ± 43.85 , $p < 0.05$). Tests revealed similar values for CONTROL and TEST between the two experimental weeks for CMJ, 20m, IAT and Hooper.

The physical qualities (both aerobic and speed), when periodized at the beginning of the week (on MD-4) rather than later (MD-2) showed higher external loads without changing the readiness level on MD. The results emphasize the need to periodize the training contents according to the aim of the cycle.

Résumé

Des observations antérieures non publiées ont démontré qu'une planification modifiée par rapport à la planification typique du microcycle en football augmentait les charges externes

hebdomadaires avec une performance accrue le jour du match (J). Les praticiens mettent généralement en place des séances aérobies en début ou milieu de semaine, et des séances de vitesse en milieu ou fin de semaine. Cette étude visait à déterminer si l'ordre des qualités physiques influençait les charges externes et l'état de forme le jour du match.

32 joueurs élite U17 et U19 d'un centre de formation ont été testés pendant 5 semaines. Les semaines testées ont été randomisées. Les joueurs portaient un système de positionnement global et évaluaient leur effort perçu (RPE) à chaque séance. Les tests ont été effectués à J-4 pour les valeurs de base (CONTROL) et répétés (TEST) sur le jour de match. Les tests consistaient en un saut à contre-mouvement (CMJ), un sprint de 20 m, un Illinois Agility Test (IAT) et le questionnaire de Hooper (pour l'état de forme subjectif). Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$.

En ce qui concerne la séance aérobique, les joueurs ont parcouru de plus grandes distances lorsqu'elle était placée en première à 15-20 km/h (1273,53 m \pm 328,51 contre 1174,84 m \pm 210,33, $p < 0,05$) et à 20-25 km/h (658,92 m \pm 264,41 contre 478,17 m \pm 259,10, $p < 0,01$). Pour la séance vitesse, les joueurs ont parcouru des distances plus importantes lorsque la séance était placée en première en comparaison de placée en seconde à 20-25 km/h (298,84 m \pm 120,12 vs 223,24 m \pm 114,86, $p < 0,05$) et > 25 km/h (110,74 m \pm 34,65 m vs 84,96 \pm 43,85, $p < 0,05$). Les tests ont révélé des valeurs identiques pour CONTROL et TEST entre les deux semaines testées.

Cette étude a démontré que l'ordre des séances n'entraîne pas de différences significatives sur l'état de forme compétitif. De plus, les entraîneurs devraient placer la qualité physique qu'ils considèrent comme la plus importante en premier, car les joueurs se sont montrés plus efficaces en début de semaine.

Introduction

In team sports, competition recurrency obligates the coaching staff to deal with multiple variables for training programming such as recovery from the previous match, physical qualities maintenance/development, and enhancement of the readiness level for the following match (Gamble, 2013). The observations reported by a survey in French academies showed that practitioners mainly implemented two heavy-load training sessions during the weekly periodization (Douchet et al., 2023). The first heavy-load session mostly consisted in aerobic-oriented sessions, using small- to medium-sided games (Douchet et al., 2023). During the second heavy-load session, practitioners generally emphasize speed development using large-sided games. The contents of these two training sessions are based on the principles of tactical periodization (Tee et al., 2018).

The use of small and medium-sided games during the first heavy-load session is based on a likely residual fatigue from the previous match. Indeed, a previous study has shown that sprint time was impaired 72h following a soccer match (Nédélec et al., 2012). Therefore, implementing speed-oriented sessions early in the week could be detrimental to speed development (Duhig et al., 2016). Indeed, due to the high fatigability of the fast twitch fibers, players might be required to recruit more slow twitch fibers (Nummela, Vuorimaa, & Rusko,

2015) to sustain the repeated and demanding sprinting actions of soccer (Kaplan, 2010). Therefore, it might be harder for players to reach their maximal speed, leading to decreased high-intensity work, lowering the potential for speed development. Moreover, small and medium-sided games have been shown to decrease the high-speed and sprinting demands as compared to large-sided games (Riboli, Coratella, Rampichini, Ce, & Esposito, 2020). The use of speed-oriented sessions (early after an official match) could also be detrimental for players' safety. Indeed, in a fatigued state, muscle activity was shown to increase even at submaximal sprinting conditions (Thelen, Chumanov, Best, Swanson, & Heiderscheit, 2005).

However, in academy settings, the art of periodization is complicated by the necessity to bridge the gap between youth and professional players' capacities (Houtmeyers et al., 2020). It was shown that academy practitioners prioritized physical development over competition (Douchet et al., 2023). Therefore, training sessions might be more demanding than the competition, leading to greater fatigue than following matches (Wrigley et al., 2012). As a consequence, fatigue could be more pronounced during the second heavy-load session as compared to the first. For speed development, positioning the speed-oriented session later in the weekly periodization might be more detrimental than placing it first.

The aim of the present study was to explore the impact of inverting the order of the heavy load training sessions (AEROBIC-SPEED vs. SPEED-AEROBIC), on the weekly external loads, and the match day readiness. Because of a residual fatigue, we hypothesized that external load will always be greater during the first heavy-load session performed compared to the second (irrespective of the physical quality). We also hypothesized that the order of the sessions will not impact the competitive readiness level.

Methods

Experimental approach to the problem

This study used a randomized cross-over design to examine the effects of a weekly periodization consisting of an aerobic-oriented session during the first heavy session and a speed-oriented session during the second (AEROBIC-SPEED periodization), versus a periodization implementing the opposite (SPEED-AEROBIC periodization) on the training loads performed during these sessions, and subsequent match day (MD) readiness (Figure 1). Two experimental weeks were tested. During the AEROBIC-SPEED periodization experimental week, the heavy load aerobic-oriented session was implemented on MD-4 and the heavy load speed-oriented session on MD-2. During the speed-aerobic periodization experimental week, the heavy load speed-oriented session was implemented on MD-4 and the aerobic-oriented session on MD-2. The other sessions of the week remained unchanged (Table 1). Players were monitored on MD-4 to obtain control values (countermovement jump [CMJ], 20m sprint, Illinois Agility Test [IAT], Hooper questionnaire, training workload using global positioning system [GPS], and rate of perceived exertion [RPE]). Players were also monitored during the second heavy session with GPS and RPE to evaluate external and internal training workload, respectively. Players were tested on MD using a CMJ, 20m sprint, IAT, and Hooper questionnaire to determine their readiness for match day. T-tests were used to evaluate possible statistical differences between both periodization strategies.

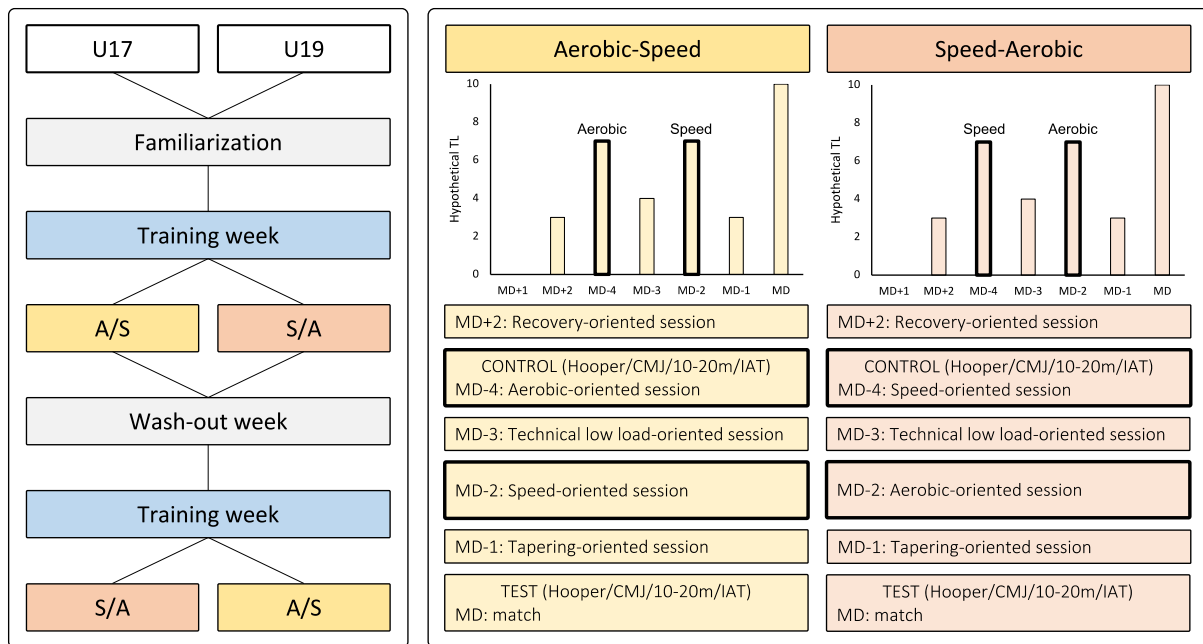


Figure 1. Study flowchart. Training weeks (identical contents) were performed to standardize the fitness level during experimental weeks. A/S: AEROBIC-SPEED periodization; S/A: SPEED-AEROBIC periodization; MD: Matchday; CMJ: Countermovement Jump; IAT: Illinois agility test.

Table 1. Organization of AEROBIC-SPEED and SPEED-AEROBIC periodization during experimental weeks.

	AEROBIC-SPEED		SPEED-AEROBIC	
	AM	PM	AM	PM
MD+1	Rest	Rest	Rest	Rest
MD+2	Rest	Active recovery / prophylactic work (60min)	Rest	Active recovery / prophylactic work (60min)
MD-4	CONTROL + 12' 30/30 MAS intermittent work + Aerobic oriented session – SSG/MSG (90min)	Positional specific session (60min)	CONTROL + 4x30m sprint work + Speed-oriented session – LSG (90min)	Positional specific session (60min)
MD-3	Technical low-load drills (75min)	Rest	Technical low-load drills (75min)	Rest
MD-2	4x30m sprint work + speed-oriented session – LSG (90min)	Lower body strength session (60min)	12' 30/30 MAS intermittent work + Aerobic oriented session – SSG/MSG (90min)	Lower body strength session (60min)
MD-1	Rest	Reactivity – SSG (60min)	Rest	Reactivity – SSG (60min)
MD	Rest	TEST + Match (90min)	Rest	TEST + Match (90min)

SSG = small-sided games; MSG = Medium-sided games; LSG = Large-sided games; MAS = maximal aerobic speed; MD: Matchday.

Participants

A total of thirty-two elite academy soccer players (16 U17 players: age = 16.2 ± 0.5 years, height = 170.6 ± 5.6 cm, body mass = 63.9 ± 3.7 kg and 16 U19 players: age = 18.2 ± 0.6 years, height = 172.8 ± 3.9 cm, body mass = 68.2 ± 4.2 kg) belonging to the French professional Ligue 2 football club of Dijon Football Côte d'Or were recruited for this study. Goalkeepers were not included due to the different nature of their activity. Players who did not participate in all training sessions were also omitted. Players were instructed to maintain their usual daily intake of food and water. All the players were informed of the research protocol, benefits, and risks before giving their consent in accordance with the declaration of Helsinki. Approval of the study was obtained by the local ethic committee (IRB00012476-2021-17-06-114).

Procedure

Players were tested during the 2020-2021 season for six consecutive weeks, following the winter break, between the 40th and 45th week of the season. Two experimental weeks were tested, with each preceded by a standardized training week. The two blocks (standardized week + experimental week) were interspersed by a standardized wash-out week (Figure 1). To limit potential confounding effects, standardized training weeks were strictly identical. Therefore, content, duration, and intensity of training were identical during the experimental weeks. For the AEROBIC-SPEED periodization strategy, two heavy-load sessions were implemented on MD-4 and MD-2 using aerobic- and speed-oriented sessions, respectively (Figure 1). During the SPEED-AEROBIC periodization approach, the contents of the training sessions of MD-4 and MD-2 were inverted. Therefore, during the speed-aerobic periodization, the two heavy-load sessions used speed- and then aerobic-oriented sessions, respectively (Figure 1). During the two heavy-load sessions, dissociated physical work was executed.

Throughout the aerobic-oriented session, players performed 12 minutes of 30"/30" (30 seconds effort / 30 seconds passive rest) maximal aerobic speed intermittent work followed by 20 min (5x4 min, 2 min rest, 5vs5 with 125m² per player) small- and 20 min (4x5 min, 2 min rest, 5vs5 with 175m² per player) medium-sided games (Table 1). During the speed-oriented session, players performed a series of 4x30 m sprints followed by 40 min (4x10 min, 3 min rest, 10vs10) large-sided games (Table 1). All field training sessions took place on an artificial playing field.

Training workload was measured during the two heavy load sessions. Training load monitoring was performed using a 10-Hz Fieldwiz GPS (Fieldwiz, Liège, Belgique), integrating a 100-Hz triaxial accelerometer microsensor for every field-based training session and match. This tracking device has been shown to display low bias, and good coefficient of variation for total distance covered and peak speed, indicating sufficient reliability to track team-sport load variables (Willmott et al., 2019). The device was located between the scapulae using a specifically designed vest. As recommended by the manufacturer, all devices were activated 15 min before data collection. The GPS units were distributed to the players 10 min before training session onset. Players systematically wore the same device to avoid inter-unit variability. GPS were turned off as soon as the training session or match was terminated. Data were downloaded and analyzed immediately after each match and training session using the

manufacturer's propriety software package (Fieldwizz, ASI, Lausanne, Switzerland). External load was monitored using the following variables: total distance (TD) expressed as the absolute distance covered by the players and in meters (m), distances at specific speeds (in m) including low-speed distance (LSD; [0-15[km·h⁻¹), moderate-speed distance (MSD; [15-20[km·h⁻¹), high-speed distance (HSD; [20-25] km·h⁻¹), and sprint distance (SPR; > 25 km·h⁻¹), and the total number of accelerations (ACC; > 3 m·s⁻²) and decelerations (DEC; < -3 m·s⁻²). After these experimental training sessions, players reported their RPE using a Borg CR-10 scale (Douchet, Paizis, & Babault, 2022). RPE was recorded on the players' individual cellphones between 15 to 30 min after the end of the session (Douchet, Paizis, & Babault, 2022).

Physical performance was tested during MD-4 and MD. On MD-4, values served as CONTROL to ensure that players had similar physical levels before the first heavy-load training session of the two experimental weeks. On MD, the testing procedure (here called TEST) was used to compare readiness at the end of the typical and modified periodization. The testing procedure was chosen in accordance with that used in a previous study (Douchet, Paizis, & Babault, 2022). Tests included a CMJ, 20m sprint, IAT, and Hooper questionnaire.

Volunteers first had to answer the Hooper Questionnaire to obtain an insight into the subjective readiness according to ratings of sleep quality of the preceding night and fatigue, stress, and delayed onset muscle soreness (DOMS) (Hooper & Mackinnon, 1995). Each response was rated on a seven-point Likert scale, with responses ranging from 1 to 7 respectively, corresponding to "very, very good" to "very, very bad" for sleep and to "very, very low" to "very, very high" for fatigue, stress, and DOMS. The Hooper Index (HI) summated the four ratings (Hooper & Mackinnon, 1995). Ratings were completed on players' individual cellphones, 30 min before the session, to limit any potential influence from teammates.

The participants then performed a 15-min standardized FIFA 11+ warm-up (O'Brien et al., 2017) followed by physical tests systematically completed in the following order: CMJ, 20m sprint, and IAT. Players had two trials for each test, interspersed by 2 min of passive recovery. The different tests were also separated by 2 min passive recovery. The best values were retained for statistical analysis (Brini et al., 2022). Players were familiarized with the testing procedure one week before the study onset (Figure 1). During the CMJ, players had to jump as high as possible, beginning in a standing position, then flexing the knees until 90°, and extending the knees to jump in a continuous movement (J. J. Malone, Murtagh, et al., 2015). They were asked to keep their arms on their hips from standing until landing. Performance was measured using a photocell jump system (Optojump, Microgate, Bolzano, Italy) sampling at 1000 Hz, with jump height (cm) subsequently calculated by proprietary software (Optojump, Version 1.3.20.0, Microgate, Bolzano, Italy). During the 20 m sprint, 10 m, and 20 m sprint times were measured using three pairs of photoelectric timing gates (Witty system, Microgate, Bolzano, Italy). Players started from a standing position as close to the timing gates as possible without triggering the cells. The IAT (Amiri-Khorasani et al., 2010) was performed after the 20m sprint test to assess soccer-specific speed abilities. The IAT time was measured using timing gates (Witty system, Microgate, Bolzano, Italy).

Statistical analyses

Statistical analyses were conducted using JASP (version 0.14, JASP Team 2020, University of Amsterdam, available free at <https://jasp-stats.org/download/> (accessed on 20 November 2021). Results are presented as mean values (\pm standard deviation, SD). As normality was verified using the Shapiro-Wilk test, parametric statistics were applied for all indicators. Student t-tests were used to analyze differences between the two experimental weeks. The statistical significance was set at $p < 0.05$. Effect sizes (ES) were calculated to show the magnitude of the effects (standardized differences in means: Cohen's units) with their interpretation based on the following criteria: < 0.2 = trivial, 0.2 to 0.6 = small effect, 0.6 to 1.2 = moderate effect, 1.2 to 2.0 = large effect and > 2.0 = very large.

Results

Out of 32 participants, 25 players (12 U17 players and 13 U19 players) were considered for analyses. The 7 other players were excluded from the analyses owing to injuries sustained.

Training workload

Field session performances are shown in Table 2. For the aerobic-oriented session, performances were mostly comparable for AEROBIC-SPEED and SPEED-AEROBIC periodization weeks: TD ($p=0.589$; $d=0.109$, trivial); LSD ($p=0.111$; $d=0.331$, small); SPR ($p=0.071$; $d=0.378$, small); ACC ($p=0.847$; $d=0.039$, trivial); DEC ($p=0.716$; $d=0.074$, trivial); RPE ($p=0.266$; $d=0.228$, small). However, MSD ($p=0.016$; $d=0.516$, small) and HSD ($p=0.003$; $d=0.660$, moderate) were significantly greater during AEROBIC-SPEED (on MD-4) compared to SPEED-AEROBIC (on MD-2).

For speed sessions, most indicators were similar between AEROBIC-SPEED and SPEED-AEROBIC weeks: TD ($p=0.218$; $d=0.253$, small); LSD ($p=0.349$; $d=0.191$, trivial); MSD ($p=0.610$; $d=0.103$, trivial); DEC ($p=0.125$; $d=0.318$, small); RPE ($p=0.241$; $d=0.241$, small). However, HSD ($p=0.023$; $d=0.487$, small), SPR ($p=0.019$; $d=0.503$, small), and ACC ($p < 0.001$; $d=0.857$, moderate) were significantly greater during SPEED-AEROBIC (on MD-4) compared to AEROBIC-SPEED (on MD-2).

Table 2. External and internal training load for aerobic and speed sessions separately during AEROBIC-SPEED and SPEED-AEROBIC week periodization.

	Aerobic session		Speed session	
	AEROBIC-SPEED	SPEED-AEROBIC	AEROBIC-SPEED	SPEED-AEROBIC
TD	7329.8 ± 717.9	7247.2 ± 433.1	5877.9 ± 547.4	5982.0 ± 451.0
LSD	5320.4 ± 436.9	5498.3 ± 379.5	4962.1 ± 474.3	5038.2 ± 436.4
MSD	1273.5 ± 328.5*	1174.8 ± 210.3	550.7 ± 173.4	528.9 ± 178.3
HSD	658.9 ± 264.4**	478.1 ± 259.1	223.2 ± 114.8	298.8 ± 120.1*
SPR	60.46 ± 89.59	23.25 ± 50.29	84.96 ± 43.85	110.74 ± 34.65*
ACC	79.88 ± 15.81	80.60 ± 21.50	59.40 ± 17.17	77.60 ± 22.13***
DEC	54.92 ± 15.62	53.88 ± 17.23	52.56 ± 15.34	58.28 ± 18.54
RPE	7.12 ± 0.91	6.80 ± 0.85	6.52 ± 1.06	6.16 ± 0.97

Values are means ± SD. Significantly greater performances are shown (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$). TD: Total distance; LSD: Low speed distance ($[0-15[\text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$); MSD: Moderate speed distance ($[15-20[\text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$); HSD: High speed distance ($[20-25] \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$); SPR: Sprint ($> 25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$); ACC: accelerations ($> 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$); DEC: decelerations ($< -3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$); RPE: rate of perceived exertion.

Tests

Results from physical tests and Hooper questionnaire are shown in Table 3. Statistical analyses revealed that CONTROL was not different between the two monitored weeks: CMJ ($p=0.327$; $d=0.192$, trivial); 10m ($p=0.103$; $d=0.325$, small); 20m ($p=0.073$; $d=0.360$, small); IAT ($p=0.187$; $d=0.261$, small); Fatigue ($p=0.683$; $d=0.080$, trivial); Sleep ($p=0.285$; $d=0.210$, small); Stress ($p=0.156$; $d=0.281$, small); DOMS ($p=0.752$; $d=0.061$, trivial); HI ($p=0.252$; $d=0.225$, small).

Similarly, during TEST, no significant differences were highlighted: CMJ ($p=0.240$, $d=0.231$, small); 10m ($p=0.462$; $d=0.144$, trivial); 20m ($p=0.643$; $d=0.690$, trivial); IAT ($p=0.172$; $d=0.270$, small); Fatigue ($p=0.327$; $d=0.192$, trivial), Sleep ($p=0.476$; $d=0.139$, trivial), Stress ($p=0.802$; $d=0.049$, trivial), DOMS ($p=0.558$; $d=0.114$, trivial), and HI ($p=0.666$; $d=0.084$, trivial).

Table 3. Physical test and Hooper values for CONTROL and TEST separately during AEROBIC-SPEED and SPEED-AEROBIC week periodization.

	CONTROL		TEST	
	AEROBIC-SPEED	SPEED-AEROBIC	AEROBIC-SPEED	SPEED-AEROBIC
CMJ	41.14 ± 4.14	40.56 ± 4.85	41.06 ± 4.50	40.44 ± 4.34
10m	1.89 ± 0.09	1.87 ± 0.07	1.89 ± 0.09	1.90 ± 0.08
20m	3.18 ± 0.14	3.15 ± 0.12	3.17 ± 0.13	3.18 ± 0.12
IAT	15.20 ± 0.31	15.15 ± 0.35	15.38 ± 0.47	15.47 ± 0.33
Fatigue	2.56 ± 1.23	2.44 ± 0.87	2.37 ± 0.82	2.36 ± 1.02
Sleep	2.67 ± 1.47	2.37 ± 1.06	1.85 ± 0.93	2.56 ± 1.42
Stress	1.56 ± 1.31	1.15 ± 0.45	1.30 ± 0.66	1.08 ± 0.27
DOMS	1.96 ± 0.92	2.04 ± 1.32	2.44 ± 1.10	2.04 ± 0.77
HI	8.74 ± 3.07	8.00 ± 2.37	7.96 ± 2.49	7.73 ± 2.73

Values are means ± SD. Significantly greater performances are shown (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$). CMJ: Counter Movement Jump; IAT: Illinois Agility Test; DOMS: Delayed Onset Muscle Soreness; HI: Hooper Index.

Discussion

The aim of this study was to investigate if the order of the training sessions, each targeting different physical qualities influenced the external loads and match day's readiness level. In line with our hypothesis, external load was greater during the first heavy-load session compared to the second, irrespective of the physical quality. Our second hypothesis was also confirmed, the order of the sessions did not impact the competitive readiness level.

Players were able to sustain more demanding sessions during the first, as compared to the second heavy load day. Following a competitive match, performance can be impaired up to 72h (Nédélec et al., 2012). Therefore, during the early week, on MD+1 and MD+2, practitioners implement recovery-oriented sessions to restore the homeostasis (Borresen & Ian Lambert, 2009; Douchet et al., 2023). The readiness level subsequently increases for the first heavy load session (Thorpe et al., 2015). Following this day devoted to physical development, readiness level could decrease due to the residual effects from the demanding training sessions (M. Buchheit et al., 2013; Thorpe et al., 2015). Consequently, fatigue levels may be more pronounced during the second heavy load day. Irrespective of the physical quality, the most important work should be placed during the first heavy load session, on MD-4.

The results confirmed this rationale. Training sessions, when placed at the beginning of the week, enabled players to perform greater external loads without variations in internal training load. These increases were found regardless of the physical quality to be developed. On further examination, we observed session-dependent variations. Indeed, the aerobic-oriented session placed at the beginning of the week showed greater MSD and HSD external loads on MD-4 compared to MD-2. Similarly, the speed-oriented session placed at the beginning of the week demonstrated greater HSD and SPR external loads on MD-4. These results can be explained by the contents implemented during these sessions. It was shown that the pitch area, and more precisely, the relative pitch area per player, impacted the external loads (Riboli et al., 2020). Since small- and medium-sided games use a low relative area per player, they do not enable players to reach their maximal speed. Therefore, SPR is usually not stressed during these type of games, but rather MSD and HSD (Hill-Haas, Dawson, Impellizzeri, & Coutts, 2011). However, large-sided games do enable players to reach their maximal speed and therefore stress SPR (Hill-Haas et al., 2011). As the aerobic-oriented session mainly implemented small- and medium-sided games, it is not surprising that MSD and HSD significantly differentiated periodization, while SPR did not. Conversely, the speed-oriented session mainly stressed HSD and SPR. During the aerobic-oriented session, the maximal aerobic speed intermittent work can also explain why MSD and HSD demands were increased. This work was performed at the intermittent maximal aerobic speed (here 19.6 km/h on average). With increased readiness during the first heavy load session, players could have performed this work slightly quickly, increasing MSD and HSD demands. For the repeated sprints during the speed-oriented session, players might have reached greater maximal speed, leading to increased external loads in HSD and SPR. Although small-sided games were implemented, acceleration and deceleration demands did not change during the aerobic session. Acceleration and deceleration could have been expected to significantly differentiate periodization due to their high demands in these contents (Sangnier et al., 2019). Indeed, small-sided games are usually prescribed to emphasize acceleration and deceleration qualities, and not large-sided games (Sangnier et al., 2019; Tee et al., 2018). However, it was only in the speed session that the accelerations showed significant differences between periodization. These results might suggest that the thresholds used for acceleration and deceleration ($> 3\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ and $< -3\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) were too high to discriminate their demands during small- and medium-sided games. Since acceleration and deceleration must be part of the monitoring process to picture athletes' readiness level (Douchet et al., 2021), our results suggest that training load monitoring tools and thresholds should be selected according to the type of session implemented throughout the week.

Altogether, our results highlight the need for recovery to perform as much external load as possible during the week. Therefore, training sessions should be periodized according to the main physical quality to be developed. During the preseason, practitioners often seek $\dot{V}O_2\text{max}$ development (Campos-Vazquez, Toscano-Bendala, Mora-Ferrera, & Suarez-Arrones, 2017). Therefore, aerobic sessions could be periodized first during this part of the season to increase $\dot{V}O_2\text{max}$ improvement. However, during the competitive season, the aim of academy practitioners is to bridge the gap between youth and professional players, particularly with respect to high-intensity thresholds (i.e. HSD, SPR) (Houtmeyers et al., 2020). Indeed, a

previous study demonstrated that the differences between these two populations were mainly observed in high-intensities (Houtmeyers et al., 2020). It was also demonstrated that HSD and SPR competitive demands were not replicated enough weekly compared to other GPS-derived variables and should be increased in academy settings (Douchet, Paizis, Roche, & Babault, 2022). As modern (Barnes et al., 2014; Lago-Peñas et al., 2022), and future soccer (Nassis et al., 2020) is and will continue to be shaped by the increasing high-intensity demands, implementing a periodization for that aim is crucial. Therefore, placing the speed-oriented session first, on MD-4, seems to be of particular interest to increase high-intensity demands and reduce the differences between youth and professional players during the in-season (Houtmeyers et al., 2020). Additionally, as readiness level is particularly important to increase training sessions' external loads, it seems mandatory to implement optimal recovery strategies immediately after the match (Kinugasa & Kilding, 2009). Thanks to these recovery protocols, players will be able to undergo greater training loads for the same internal load, leading to increased long-term development. This will ensure that MD-4 sprint work during the speed session can be implemented safely, and at the highest possible intensity (Thelen et al., 2005). The study also demonstrated that the readiness level of MD was not impacted by the type of periodization implemented during the week. Indeed, physical tests and the Hooper questionnaire on MD were similar across both experimental weeks. Contrary to tactical periodization precepts, our results do not support the idea that aerobic-oriented sessions with maximal aerobic speed work should not be implemented on MD-2. This result is of particular interest to demonstrate that varying periodization can be implemented, leading to comparable readiness levels on MD. Additionally, while our results did not demonstrate any impact of the periodization model on MD's readiness levels, practitioners should seek strategies to increase competitive preparation. Indeed, practitioners could reduce MD-1 training load to decrease fatigue from the weekly heavy developmental training sessions (Douchet, Paizis, & Babault, 2022). Our results, therefore, highlight the need to build periodization based on teams' goals and training context rather than applying what has always been applied empirically.

Training periodization is a complex process depending on numerous factors such as players' level and age, teams aims, inter-individuals' history, responses to training stimulus, and the period during the pre- and in-season. Accordingly, the present experimental design should be replicated over a longer period with a larger sample size and different training contexts.

Conclusion

Periodized at the beginning of the week, the training sessions demonstrated increased specific external load compared to the end of the week, without any change of readiness level on MD. The results of the present study highlighted the need to periodize training sessions, each targeting different physical qualities according to the main development aim. This study, therefore, emphasizes that different periodizations can be implemented in academy settings.

References

- Amiri-Khorasani, M., Sahebozamani, M., Tabrizi, K. G., & Yusof, A. B. (2010). Acute effect of different stretching methods on Illinois agility test in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf049c>
- Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M., & Bradley, P. S. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375695>
- Borresen, J., & Ian Lambert, M. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779–795. <https://doi.org/10.2165/11317780-000000000-00000>
- Brini, S., Boullosa, D., Calleja-González, J., van den Hoek, D. J., Nobari, H., & Clemente, F. M. (2022). Impact of combined versus single-mode training programs based on drop jump and specific multidirectional repeated sprint on bio-motor ability adaptations: a parallel study design in professional basketball players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00551-w>
- Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J. C., Bourdon, P. C., Voss, S. C., Hocking, J., ... Coutts, A. J. (2013). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 550–555. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.003>
- Campos-Vazquez, M. A., Toscano-Bendala, F. J., Mora-Ferrera, J. C., & Suarez-Arrones, L. J. (2017). Relationship between internal load indicators and changes on intermittent performance after the preseason in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(6), 1477–1485. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001613>
- Douchet, T., Humbertclaude, A., Cometti, C., Paizis, C., & Babault, N. (2021). Quantifying Accelerations and Decelerations in Elite Women Soccer Players during Regular In-Season Training as an Index of Training Load. *Sports*, 9(8), 109. <https://doi.org/10.3390/sports9080109>
- Douchet, T., Paizis, C., & Babault, N. (2022). Physical Impact Of A Typical Training Session With Different Volumes On The Day Preceding A Soccer Match. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(September).
- Douchet, T., Paizis, C., & Babault, N. (2023). Typical weekly physical periodization in French academy soccer teams: a survey. *Biology of Sport*, 40(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.5114/biolport.2023.119988>
- Douchet, T., Paizis, C., Roche, H., & Babault, N. (2022). Positional differences in absolute vs. relative training loads in elite academy soccer players. *European Congress of Sport Science*.
- Duhig, S., Shield, A. J., Opar, D., Gabbett, T. J., Ferguson, C., & Williams, M. (2016). Effect of high-speed running on hamstring strain injury risk. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095679>
- Gamble, P. (2013). Strength and conditioning for team sports: Sport-specific physical preparation for high performance, second edition. In *Strength and Conditioning for Team Sports: Sport-specific physical preparation for high performance, second edition*. <https://doi.org/10.4324/9780203084250>
- Hill-Haas, S. V., Dawson, B., Impellizzeri, F. M., & Coutts, A. J. (2011). Physiology of small-sided games training in football: A systematic review. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.2165/11539740-000000000-00000>
- Hooper, S. L., & Mackinnon, L. T. (1995). Monitoring Overtraining in Athletes: Recommendations. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.2165/00007256-199520050->

00003

- Houtmeyers, K. C., Jaspers, A., Brink, M. S., Vanrenterghem, J., Varley, M. C., & Helsen, W. F. (2020). External load differences between elite youth and professional football players: ready for take-off? *Science and Medicine in Football*, 0(0), 1–5.
<https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1789201>
- Kaplan, T. (2010). Examination of repeated sprinting ability and fatigue index of soccer players according to their positions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 2115–2121.
- Kinugasa, T., & Kilding, A. E. (2009). A comparison of post-match recovery strategies in youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5), 1402–1407.
- Lago-Peñas, C., Lorenzo-Martinez, M., Lopez-Del Campo, R., Resta, R., & Rey, E. (2022). Evolution of physical and technical parameters in the Spanish LaLiga 2012-2019. *Science and Medicine in Football*.
- Malone, J. J., Murtagh, C. F., Morgans, R., Burgess, D. J., Morton, J. P., & Drust, B. (2015). Countermovement jump performance is not affected during an in-season training microcycle in elite youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 752–757. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000701>
- Nassis, G. P., Massey, A., Jacobsen, P., Brito, J., Randers, M. B., Castagna, C., ... Krstrup, P. (2020). Elite football of 2030 will not be the same as that of 2020: Preparing players, coaches, and support staff for the evolution. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30(6), 962–964. <https://doi.org/10.1111/sms.13681>
- Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2012). Recovery in Soccer: Part I-post-match fatigue and time course of recovery. *Sports Medicine*, 42(12), 997–1015. <https://doi.org/10.2165/11635270-000000000-00000>
- Nummela, A., Vuorimaa, T., & Rusko, H. (2015). Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400 - m sprint. 37–41.
<https://doi.org/10.1080/02640419208729920>
- O'Brien, J., Young, W., & Finch, C. F. (2017). The use and modification of injury prevention exercises by professional youth soccer teams. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. <https://doi.org/10.1111/sms.12756>
- Riboli, A., Coratella, G., Rampichini, S., Ce, E., & Esposito, F. (2020). Area per player in small-sided games to replicate the external load and estimated physiological match demands in elite soccer players. *PLoS ONE*, 15(9 September 2020), 1–15.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229194>
- Sangnier, S., Cotte, T., Brachet, O., Coquart, J., & Tourny, C. (2019). Planning Training Workload in Football Using Small-Sided Games' Density. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(10), 2801–2811.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002598>
- Tee, J. C., Ashford, M., & Piggott, D. (2018). A Tactical Periodization Approach for Rugby Union. *Strength and Conditioning Journal*, 40(5), 1–13.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000390>
- Thelen, D. G., Chumanov, E. S., Best, T. M., Swanson, S. C., & Heiderscheit, B. C. (2005). Simulation of biceps femoris musculotendon mechanics during the swing phase of sprinting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), 1931–1938.
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000176674.42929.de>
- Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2015). Monitoring fatigue during the in-season competitive phase in elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(8), 958–964.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0004>

- Willmott, A. G. B., James, C. A., Bliss, A., Leftwich, R. A., & Maxwell, N. S. (2019). A comparison of two global positioning system devices for team-sport running protocols. *Journal of Biomechanics*, 83, 324–328. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.11.044>
- Wrigley, R., Drust, B., Stratton, G., Scott, M., & Gregson, W. (2012). Quantification of the typical weekly in-season training load in elite junior soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1573–1580. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.709265>

IV.3. De l'optimisation du développement physique vers l'optimisation de l'état de forme compétitif

Ces études ont permis de montrer que les deux stratégies de modification de la planification entraînent des augmentations des charges de travail au cours de la semaine sans réduire l'état de forme le jour de la compétition. Ces résultats peuvent s'expliquer par l'état de forme possiblement supérieur en début de semaine plutôt qu'au milieu, ainsi que la fatigue accumulée lors de la réalisation consécutive des charges de travail élevées. Nos résultats démontrent alors qu'il existe d'autres organisations de la planification de la semaine permettant de satisfaire les objectifs avancés par les praticiens, de développement et de capacité de performance compétitive.

Malgré ces résultats qui mettent en avant les organisations du microcycle favorisant le développement des athlètes, il est nécessaire de garder à l'esprit que la performance compétitive reste déterminante. Les deux études précédentes ont proposé de réaliser des charges de travail élevées à J-2. De ce fait, il est indispensable que la stratégie d'affutage utilisée à J-1 soit optimale afin d'accroître encore les sollicitations lors des séances à charges élevées sans risquer de diminuer l'état de forme le jour du match, ce qui pourrait mener à une diminution des performances, mais aussi à des risques de blessure. D'après notre enquête, les praticiens réalisent pour la plupart la même séance, avec l'utilisation de travail de vivacité, et des jeux réduits. Pourtant, bien que la durée de la séance soit généralement courte (environ 60min) ces contenus peuvent paraître trop exigeant face à l'objectif annoncé d'affutage du fait qu'ils sont également utilisés dans la semaine pour un objectif de développement. En effet, les jeux réduits pourraient potentiellement provoquer une baisse des performances (définie ici comme de la fatigue (Osgnach, Poser, Bernardini, Rinaldo, & Di Prampero, 2010) et décrit par une élévation de la créatine kinase (Young et al., 2012) et du lactate sanguin (R. Akenhead, French, Thompson, & Hayes, 2015)), en raison des nombreuses accélérations, décélérations et

courses à haute intensité (Gaudino, Alberti, & Iaia, 2014). De ce fait, la prochaine étude a cherché à observer l'impact de différents volumes d'entraînement lors de cette séance, sur l'état de forme compétitif. Nous avons alors utilisé des variations de l'ordre de 25% de la durée d'entraînement typique (45min vs. 60min vs. 75min). Nous émettions alors l'hypothèse que la réduction du volume d'entraînement permettrait un état de forme supérieur le jour du match, qui s'explique par la nature trop exigeante des contenus d'entraînement généralement prescrits dans la planification typique.

IV.3.1. Étude 4 : Impact physique d'une séance d'entraînement typique le jour précédant un match avec différents volumes chez des joueurs de football élite en centre de formation.

Physical impact of a typical training session with different volumes on the day preceding a match in academy soccer players.

Tom Douchet, Christos Paizis, Nicolas Babault

Publié dans International Journal of Environmental Research and Public Health (2022) ; 19 (21): 13828

Abstract

French academies almost all implement reactivity drills and small-sided games (SSG) the day preceding a match (MD-1). The present study aimed to determine the physical impact of different training durations on MD-1 on the subsequent matchday performance (MD).

Eleven elite U19 academy soccer players conducted three typical training sessions lasting 45 min (TS45), 60 min (TS60) and 75 min (TS75) on MD-1. During TS60, warm-up, reactivity and SSG were 10, 15 and 24 min, respectively, plus coaches' feedback or water breaks. Durations of all training components decreased by 25% for TS45 and increased by 25% for TS75. Tests were conducted on MD-4 (CONTROL) and MD before the match (TEST). Tests consisted of a counter movement jump (CMJ), 20 m sprint, Illinois agility test (IAT) and Hooper questionnaire.

CONTROL values were similar over the three experimental conditions. TEST on MD revealed greater CMJ for TS45 (42.7 ± 5.1 cm) compared to TS60 (40.5 ± 5.5 cm, $p = 0.032$) and TS75 (40.9 ± 5.7 cm, $p = 0.037$). 20 m time was lower for TS45 (3.07 ± 0.10 s, $p < 0.001$) and TS60 (3.13 ± 0.10 s, $p = 0.017$) compared to TS75 (3.20 ± 0.10 s). IAT time was lower on TS45 (14.82 ± 0.49 s) compared to TS60 (15.43 ± 0.29 s, $p < 0.001$) and TS75 (15.24 ± 0.33 s, $p = 0.006$). Furthermore, the Hooper index was lower at TEST for TS45 (7.64 ± 1.50) compared to TS60 (11.00 ± 3.49 , $p = 0.016$) and TS75 (9.73 ± 2.41 , $p = 0.016$), indicating a better readiness level.

We concluded that, as training session duration increases, performance decreases on MD. A 45 min training session including reactivity and SSG exercises is therefore recommended on MD-1.

Résumé

Les centres de formation français mettent presque tous en œuvre des exercices de vivacité et des jeux réduits la veille d'un match (J-1). Cette étude visait à déterminer l'impact physique de

différentes durées d'entraînement sur le J-1 sur la performance ultérieure en match.

Onze joueurs d'élite U19 d'un centre de formation de football ont effectué trois séances d'entraînement typiques d'une durée de 45 minutes (TS45), 60 minutes (TS60) et 75 minutes (TS75) sur J-1. Pendant TS60, l'échauffement, la vivacité et le jeu réduit duraient respectivement 10, 15 et 24 min, plus les commentaires des entraîneurs ou les pauses pour boire. Les durées de toutes les composantes de l'entraînement ont diminué de 25% pour le TS45 et augmenté de 25% pour le TS75. Les tests ont été effectués sur J-4 (CONTROL) et le jour du match (TEST). Les tests consistaient en un saut à contre-mouvement (CMJ), un sprint de 20 m, un Illinois Agility Test (IAT) et un questionnaire de Hooper.

Les valeurs du CONTROL étaient similaires dans les trois conditions expérimentales. Le TEST sur le jour du match a révélé un CMJ supérieur pour TS45 ($42,7 \pm 5,1$ cm) par rapport à TS60 ($40,5 \pm 5,5$ cm, $p = 0,032$) et TS75 ($40,9 \pm 5,7$ cm, $p = 0,037$). Le temps sur 20 m était inférieur pour TS45 ($3,07 \pm 0,10$ s, $p < 0,001$) et TS60 ($3,13 \pm 0,10$ s, $p = 0,017$) par rapport à TS75 ($3,20 \pm 0,10$ s). Le temps d'IAT était inférieur sur TS45 ($14,82 \pm 0,49$ s) par rapport à TS60 ($15,43 \pm 0,29$ s, $p < 0,001$) et TS75 ($15,24 \pm 0,33$ s, $p = 0,006$). De plus, l'indice Hooper était plus faible au TEST pour le TS45 ($7,64 \pm 1,50$) par rapport au TS60 ($11,00 \pm 3,49$, $p = 0,016$) et au TS75 ($9,73 \pm 2,41$, $p = 0,016$), ce qui indique un meilleur état de forme.

Nous avons conclu que, lorsque la durée de l'entraînement augmente, les performances diminuent sur le jour du match. Un entraînement de 45 min comprenant des exercices de vivacité et de SSG est donc recommandé sur le J-1 par rapport à des durées plus longues.

Introduction

Periodization is one of the main questions of the training staff working with elite athletes (Reilly, 2005). To date, there are no guidelines on how to manage the weekly training load in soccer. Most of the studies focusing on the weekly periodization have depicted practices without objectifying them (Coutinho et al., 2015; Martín-García et al., 2018; Wrigley et al., 2012). A common trend across teams is generally reported, with the greatest weekly training loads usually occurring mid-way between two consecutive matches (Stevens, de Ruiter, Twisk, Savelsbergh, & Beek, 2017). Nevertheless, the magnitude of the training loads varies between teams (Clemente, Owen, et al., 2019) and is partly attributed to the coach's background and country habits (Stoszkowski & Collins, 2016).

On the day preceding the match (MD-1), a workload decrease is commonly observed in professionals (Clemente, Owen, et al., 2019; J. J. Malone, Di Michele, et al., 2015; Martín-García et al., 2018) and youth (Coutinho et al., 2015; Wrigley et al., 2012). Indeed, players must be in optimal readiness to play and withstand a heavy competitive demand (Rahnama, Reilly, & Lees, 2002). Therefore, this training load decrease can be considered an intra-week tapering method to favor recovery from mid-week sessions and competitive performance (Owen et al., 2017).

In a recent survey in elite French soccer academies (Douchet et al., 2023), most practitioners reported using a short training session for tapering on MD-1. This session was mainly composed of reactivity drills and small-sided games (SSG) for 60 minutes (Douchet et al., 2023). Reactivity drills have already been reported in previous studies without justification (Brito et al., 2016; Kelly et al., 2020; Martín-García et al., 2018). A recent study indicated that this session was concluded by set pieces due to their tactical importance and low energy requirement (Martín-García et al., 2018). The use of SSG so close to competition can be surprising. Indeed, SSG could potentially lead to performance decrements (here defined as fatigue (Osgnach et al., 2010) through elevated plasma creatine kinase (Young et al., 2012) and blood lactate (R. Akenhead et al., 2015)), as a consequence of the numerous accelerations, decelerations, and high-speed running (Gaudino et al., 2014). It was shown that implementing larger pitch sizes elicited greater hamstring fatigue while smaller pitch sizes could lower the training load (Castillo et al., 2021). SSG have been extensively studied, and studies have shown that training load could also be adjusted by manipulating multiple variables (e.g., volume expressed as work to rest ratio) (Gaudino et al., 2014). For instance, the continuous format of SSG would lead to a greater physical load compared to the same duration intermittent format (Casamichana, Castellano, & Dellal, 2013).

To our knowledge, this popular MD-1 training session, usually conducted across elite French soccer academies, has never been tested and is more likely a practical, habit-based session. Therefore, in this study, we aimed to explore the effects of such a training session using various training durations (i.e., training volume). We hypothesized that the current duration of MD-1 session would decrease the physical and psychological characteristics of the players on the MD and decreasing this duration might increase performance. The results from the present study would have a large impact for practitioners for training periodization to promote soccer performance and for injury prevention.

Methods

Participants

Twenty elite academy soccer players (age = 18.2 ± 0.4 years, height = 177.5 ± 1.6 cm, body mass = 72.1 ± 2.3 kg, body fat = 9.7 ± 1.2 %) of the U19 team of the elite French soccer club of Dijon Football Côte d'Or (DFCO) were recruited for this study. The sample size was calculated a priori using G*Power (version 3.1.9.6, free software available at <https://www.psychologie.hhu.de/arbeitsgruppen/allgemeine-psychologie-und-arbeitspsychologie/gpower.html>) with the following criteria: effect size of 0.3, power of 0.8, probability error of 0.05. A sample size of 20 players was indicated. Goalkeepers were excluded from this study due to the different nature of their activity. Therefore, 4 central defenders, 6 full backs, 4 central midfielders, 3 wide midfielders, and 3 forwards were included. Only players completing every session during the protocol were included in the study. Players were instructed to maintain their regular nutritional status. All the players were notified of the research protocol, benefits and risks before providing written informed consent in accordance with the declaration of Helsinki. Approval of the study was obtained by the local ethic

committee (CERSTAPS, a national ethics research committee in sports sciences: IRB00012476-2021-22-04-105).

General Design

This study was conducted during the 2020-2021 in-season for seven consecutive weeks, before the winter break, between the 14th and 19th week of the season. All sessions took place on an artificial field. During the first week, participants conducted a familiarization session (Figure 1). During this session, participants were familiarized with all physical tests, Hooper Questionnaire, and training contents. Then, three experimental weeks were conducted and were interspersed with three standardized training weeks. To obtain a similar fitness level, the standardized training weeks were strictly identical in content, duration, and intensity.

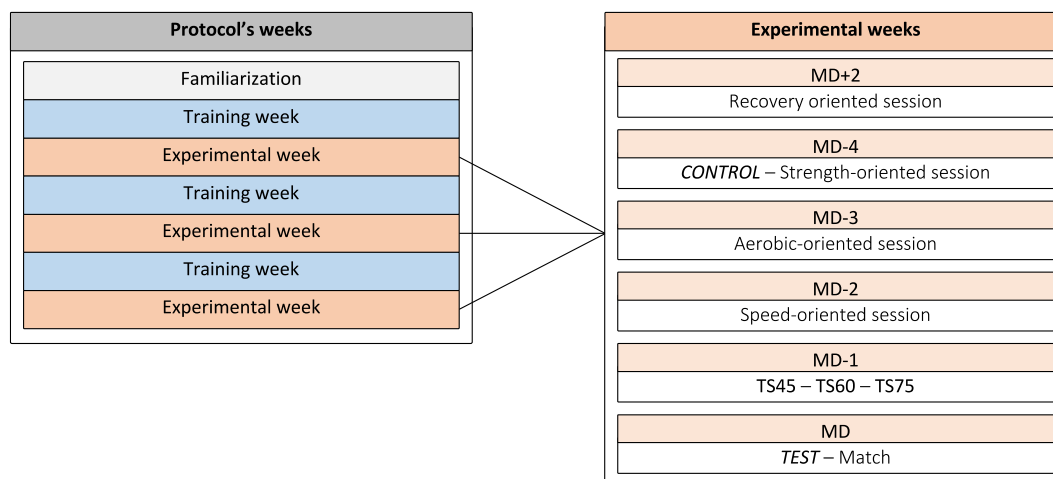


Figure 1. Study flowchart. Training weeks (identical contents) were performed to standardize the fitness level during the following experimental weeks. MD: Matchday; TS45: 45 min training session; TS60: 60 min training session; TS75: 75 min training session.

Therefore, training sessions from MD+2 to MD-2 were identical. External and internal load were monitored during these sessions to ensure that training load was similar (not reported here). Briefly, MD+2 consisted in a recovery-oriented session implementing aerobic technical exercises for 60min. MD-4 consisted in a strength-oriented session with small-sided games for 90min. MD-3 was an aerobic-oriented session with medium- to large-sided games for 90min. MD-2 was a speed-oriented session using large-sided games for 75min. Similarly, the content, duration and intensity of all training sessions were identical during the experimental weeks (Figure 1). The only difference between experimental weeks was on MD-1. During this training session (MD-1), training content and intensity were similar, but duration was either 45 min (TS45), 60 min (TS60) or 75 min (TS75). Training was composed of a standardized warm-up, reactivity work, and SSG. Reactivity work consisted of a 5-0-5 test (Ryan, Uthoff, McKenzie, & Cronin, 2022) with an auditive start signal. Runs were interspersed by 2min of recovery. SSG was 5 against 5 plus goalkeepers on a 30x40m wide field (representing 120m² for each player). Sequences were 2min work and 2min passive rest. This method of SSG was chosen in accordance with responses given by practitioners who answered the survey demonstrating that

French academies typically use these drills on MD-1 (Douchet et al., 2023). During TS60, warm-up, reactivity and SSG were 10 min, 15 min, and 24 min, respectively. The remaining time was used for water breaks or coaches' feedback. During TS45, training duration was decreased by 25%: 8 min of warm-up, 12 min reactivity work, and 16 min SSG. During TS75, training duration was increased by 25%: 12 min of warm-up, 20 min reactivity work, and 32 min SSG. Players were blinded from training duration of the training session they were performing and from the different duration tested throughout the study to prevent any pacing strategy.

Players were tested during two separate days of the experimental weeks. Tests on MD-4 served as CONTROL to verify players were in a similar fitness state. Tests on MD (here called TEST) aimed to compare the effects of the different experimental sessions (TS45, TS60, and TS75). Tests consisted of a counter movement jump (CMJ), 20m sprint, Illinois agility test (IAT), and Hooper questionnaire. In addition, a global positioning system (GPS) was used to monitor players' external load during the experimental sessions TS45, TS60, and TS75.

Testing procedure

On the morning of the testing days MD-4 and MD, participants were asked to complete the Hooper Questionnaire. It aimed to obtain a subjective insight into individuals' fitness level (Hooper & Mackinnon, 1995). It was completed on their respective cellphone to limit teammates' influence. They provided their subjective feeling of sleep quality the previous night, as well as ratings of fatigue, stress, and delayed onset muscle soreness (DOMS). Each response was rated on a seven-point Likert scale, with responses ranging from “very, very good = 1” to “very, very bad = 7” for sleep, and from “very, very low = 1” to “very, very high = 7” for fatigue, stress, and DOMS. The Hooper Index (HI) was the summation of the four ratings (Hooper & Mackinnon, 1995).

On MD-4 and MD, just after a 15-min standardized FIFA 11+ warm-up (O'Brien et al., 2017), players performed in a constant order physical tests with a counter movement jump (CMJ), 20m sprint, and Illinois agility test (IAT). During the CMJ, players had to jump as high as possible, beginning in a standing position, then flexing the knees until 90°, and extending the knees to jump in a continuous movement (J. J. Malone, Murtagh, et al., 2015). They were asked to keep their arms on their hips from standing until landing. Performance was measured using a photocell jump system (Optojump, Microgate, Bolzano, Italy) sampling at 1000 Hz, with jump height (cm) subsequently calculated by proprietary software (Optojump, Version 1.3.20.0, Microgate, Bolzano, Italy). During the 20m sprint, 10m, and 20 m sprint times were measured using three pairs of photoelectric timing gates (Witty system, Microgate, Bolzano, Italy). Players started from a standing position as close to the timing gates as possible without triggering the cells. The IAT (Amiri-Khorasani et al., 2010) was performed after the 20m sprint test to assess soccer-specific speed abilities. The IAT time was measured using timing gates (Witty system, Microgate, Bolzano, Italy). Players had two trials for each test, with trials interspersed by 2 min of passive recovery. The different tests were also separated by 2min passive recovery. The best values were used for analysis (Brini et al., 2022).

Training workload was evaluated during each experimental training session by using a GPS. Players wore a 10-Hz Fieldwizz (Willmott et al., 2019) GPS alongside a 100-Hz triaxial accelerometer microsensor on every field-based training session and match. The device was located between the scapulae using a special vest. As recommended by the manufacturer, all devices were activated 15 min before data collection. GPS were distributed to the players 10 min before training session onset. Players always wore the same sensor to avoid interunit variability. GPS were turned off as soon as the training session or match was stopped. Data were downloaded and analyzed immediately after each match and training session. The manufacturer software package was used (Fieldwizz, ASI, Lausanne, Switzerland). The external load was monitored using the total distance, distance at specific speeds, accelerations, and decelerations. Total distance (TD) was the distance covered by the players and was expressed in meters (m). Similarly, distances at specific speeds were expressed in m and included low-speed distance (LSD; [0-15[km·h⁻¹), moderate-speed distance (MSD; [15-20[km·h⁻¹), high-speed distance (HSD; [20-25] km·h⁻¹), and sprint distance (SPR; > 25 km·h⁻¹). The total number of accelerations (ACC; > 3 m·s⁻²) and decelerations (DEC; < -3 m·s⁻²) was determined.

Finally, after these experimental training sessions, players gave their rate of perceived exertion (RPE) using a Borg CR-10 scale (Impellizzeri, Rampinini, Coutts, Sassi, & Marcora, 2004). RPE was given on individuals' cellphones between 15 to 30 min after the end of the session (Impellizzeri et al., 2004).

Statistical analyses

Statistical analyses were conducted using JASP (version 0.14, JASP Team 2020, University of Amsterdam, available free at <https://jasp-stats.org/download/> (accessed on 9 September 2021). Sphericity was examined by conducting Mauchly's test. Several one-way ANOVA with repeated measurements were conducted. Parametric tests with Bonferroni's post hoc were conducted in the case of significant training session effects for physical tests to identify any localized effect. Mean values are presented with the effect size (Cohen's *d*). Effect sizes were defined as trivial (<0.2), small (0.2-0.5), moderate (0.5-0.8) and large (>0.8) (Cohen, 1988). Non-parametric tests (Friedman's ANOVA and Conover's post hoc tests) were conducted for the Hooper questionnaire and RPE. For each ANOVA, the effect sizes were calculated using the partial eta-squared (η_p^2) with values being considered as small (<0.06), moderate (0.06-0.15), or large (>0.15) (Cohen, 1988) for parametric tests and Kendall's W with values being considered as poor agreement (<0.20), fair agreement (0.21-0.40), moderate agreement (0.41-0.60), good agreement (0.61-0.80), and very good agreement (0.81-1.00) (Landis & Koch, 1977) for non-parametric tests. The statistical significance was set at $p < 0.05$. The first ANOVA was conducted for MD-4 CONTROL values (Hooper questionnaire and physical tests) to ensure a similar fitness level between conditions. The second was conducted on experimental sessions for training workloads and RPE, and on MD TEST values (Hooper questionnaire and physical tests) to determine differences between the experimental training sessions.

Results

Out of 20 participants, 11 players were considered for analyses due to missed training sessions. Results of the ANOVAs are presented in Table 1. CONTROL values did not show any significant effect revealing a similar fitness level between the three experimental weeks.

Table 1. Results for the one-way ANOVAs.

	CONTROL	TEST
CMJ	p=0.266; $\eta_p^2=0.124$, moderate	p=0.022; $\eta_p^2=0.317$, large
10m	p=0.337; $\eta_p^2=0.103$, moderate	p=0.036; $\eta_p^2=0.283$, large
20m	p=0.368; $\eta_p^2=0.095$, moderate	p<0.001; $\eta_p^2=0.609$, large
IAT	p=0.125; $\eta_p^2=0.103$, moderate	p<0.001; $\eta_p^2=0.590$, large
Fatigue	p=0.767; W= 0.024, poor	p=0.016; W=0.379, fair
Sleep	p=0.159; W=0.167, poor	p=0.409; W=0.081, poor
Stress	p=0.717; W=0.030, poor	p=0.368; W=0.091, poor
DOMS	p=0.497; W=0.064, poor	p=0.057; W=0.249, fair
HI	p=0.629; W=0.042, poor	p=0.010; W=0.416, moderate
GPS INDICATORS		
TD	p<0.001; $\eta_p^2=0.835$, large	
LSD	p<0.001; $\eta_p^2=0.846$, large	
MSD	p=0.003; $\eta_p^2=0.449$, large	
HSD	p=0.023; $\eta_p^2=0.314$, large	
SPR	p=0.120; $\eta_p^2=0.191$, large	
ACC	p<0.001; $\eta_p^2=0.683$, large	
DEC	p<0.001; $\eta_p^2=0.698$, large	
RPE	p=0.779; W=0.023, poor	

The statistical significance was set at $p<0.05$. Partial eta-squared (η_p^2) were considered as small (<0.06), moderate (0.06-0.15), or large (>0.15). CMJ: counter movement jump; IAT: Illinois agility test; TD: Total distance (m); LSD: low-speed distance ([0-15[km·h⁻¹) (m); MSD: moderate speed distance ([15-20[km·h⁻¹) (m); HSD: High speed distance ([20-25] km·h⁻¹) (m); SPR: Sprint distance (> 25 km·h⁻¹) (m); ACC: accelerations (> 3 m·s⁻²) (n); DEC: decelerations (< -3 m·s⁻²) (n); RPE: rate of perceived exertion.

Physical tests

During TEST, significant differences were highlighted for CMJ, 10m, and IAT (Table 1). CMJ height was significantly greater in TS45 than in TS60 ($p=0.032$; $d=0.946$, large) and TS75 ($p=0.037$; $d=0.830$, large), while no difference existed between TS60 and TS75 ($p=0.851$; $d=0.071$, trivial) (Table 2). 10m time showed significantly lower values in TS45 compared to TS75 ($p=0.033$; $d=0.846$, large). However, no differences were highlighted between TS45 and TS60 ($p=0.686$; $d=0.374$, small), and between TS60 and TS75 ($p=0.402$; $d=0.471$, small). 20m time did not demonstrate significant difference between TS45 and TS60 ($p=0.066$; $d=0.748$, moderate). TS45 ($p<0.001$; $d=1.680$, large) and TS60 ($p=0.017$; $d=0.932$, large) 20m time were both significantly lower than TS75. Additionally, IAT time showed significantly lower values

for TS45 compared to both TS60 ($p<0.001$; $d=1.583$, large) and TS75 ($p=0.006$; $d=1.080$, large), while TS75 and TS60 were not different ($p=0.332$; $d=0.503$, moderate).

Table 2. Values of physical tests for CONTROL and TEST during the three weeks.

Indicator	CONTROL			TEST		
	TS45	TS60	TS75	TS45	TS60	TS75
CMJ (cm)	41.3 ± 5.2	43.1 ± 5.40	41.9 ± 4.3	42.7 ± 5.1 \$#	40.7 ± 5.5	40.9 ± 5.7
10m (s)	1.85 ± 0.08	1.88 ± 0.06	1.86 ± 0.08	1.83 ± 0.07 #	1.86 ± 0.07	1.90 ± 0.06
20m (s)	3.10 ± 0.11	3.09 ± 0.08	3.13 ± 0.12	3.07 ± 0.10 #	3.13 ± 0.10 #	3.20 ± 0.10
IAT (s)	15.05 ± 0.34	15.40 ± 0.59	15.22 ± 0.44	14.82 ± 0.49 \$#	15.43 ± 0.29	15.24 ± 0.33

Values are means ± SD. \$: significantly greater performance than TS60 for $p<0.05$; #: significantly greater performance than TS75 for $p<0.05$. CMJ: counter movement jump; IAT: Illinois agility test.

Hooper Questionnaire

During TEST, no significant difference was obtained for sleep, stress and DOMS. In contrast, significant differences were obtained for fatigue and HI (Table 1). Fatigue was significantly lower for TS45 compared to TS60 ($p=0.007$) (Table 3). No differences were shown between TS45 and TS75 ($p=0.442$), and between TS60 and TS75 ($p=0.442$). HI for TEST was also significantly lower for TS45 compared to both TS60 ($p=0.016$), and TS75 ($p=0.016$). No difference existed between TS60 and TS75 ($p=1.000$).

Table 3. Values of Hooper questionnaire for CONTROL and TEST during the three weeks.

Indicator	CONTROL			TEST		
	TS45	TS60	TS75	TS45	TS60	TS75
Fatigue	2.82 ± 1.17	2.55 ± 0.82	2.55 ± 1.21	2.27 ± 0.47 \$	3.36 ± 1.12	2.73 ± 0.90
Sleep	2.73 ± 1.56	2.91 ± 1.30	1.91 ± 1.04	1.73 ± 1.27	2.09 ± 0.70	1.91 ± 0.70
Stress	1.27 ± 0.65	1.36 ± 0.50	1.27 ± 0.47	1.09 ± 0.30	1.45 ± 0.93	1.27 ± 0.47
DOMS	2.27 ± 1.35	1.91 ± 1.22	2.36 ± 1.36	2.55 ± 0.82	4.09 ± 1.92	3.82 ± 1.25
HI	9.09 ± 2.47	8.73 ± 2.80	8.09 ± 3.59	7.64 ± 1.50 \$#	11.00 ± 3.49	9.73 ± 2.41

Values are means ± SD (A.U.). \$: significantly lower value than TS60 for $p<0.05$; #: significantly lower value than TS75 for $p<0.05$. DOMS: Delayed Onset Muscle Soreness; HI: Hooper Index.

Field session performances

Statistical analyses revealed significant differences for TD, LSD, MSD, HSD, ACC, DEC (Table 1). No difference was observed for RPE. TD was significantly greater for TS75 than TS60 ($p < 0.001$; $d = 1.597$, large) and TS45 ($p < 0.001$; $d = 3.032$, large) (Table 4). TS60 was also significantly greater than TS45 ($p < 0.001$; $d = 1.435$, large). Same results are shown for LSD with TS75 being significantly greater than both TS60 ($p < 0.001$; $d = 1.573$, large) and TS45 ($p < 0.001$; $d = 3.165$, large). TS60 was significantly greater than TS45 ($p < 0.001$; $d = 1.591$, large). For MSD, TS75 was significantly greater than TS60 ($p = 0.016$; $d = 0.940$, large) and TS45 ($p = 0.004$, $d = 1.140$, large). TS60 and TS45 did not show difference ($p = 1.000$; $d = 0.201$, small). For HSD, a significant difference was found between TS60 and TS75 ($p = 0.031$; $d = 0.850$, large). TS45 and TS75 ($p = 0.087$; $d = 0.709$, moderate), and TS45 and TS60 ($p = 1.000$; $d = 0.144$, trivial) were not significantly different. For ACC, significant differences were observed between TS75 and both TS60 ($p < 0.001$; $d = 1.540$, large), and TS45 ($p < 0.001$; $d = 1.846$, large). No difference was highlighted between TS60 and TS45 ($p = 1.000$; $d = 0.306$, small). Concerning DEC, significant differences are shown for TS75 compared to TS60 ($p < 0.001$; $d = 1.418$, large), and to TS45 ($p < 0.001$; $d = 1.990$, large), whilst no difference existed between TS45 and TS60 ($p = 0.114$; $d = 0.572$, moderate).

Table 4. Values of GPS indicators and RPE for MD-1 during the three weeks.

Indicator	TS60	TS75	TS45
TD	3842.4 ± 225.8 @	4720.2 ± 343.4 \$@	3053.9 ± 553.6
LSD	3594.0 ± 188.3 @	4358.4 ± 297.6 \$@	2820.8 ± 485.8
MSD	215.2 ± 66.2	304.6 ± 79.0 \$@	196.1 ± 100.4
HSD	31.7 ± 23.5	55.4 ± 21.5 \$	35.7 ± 25.7
SPR	2.4 ± 5.0	3.9 ± 5.6	0 ± 0
ACC	48.3 ± 10.3	73.9 ± 17.8 \$@	43.2 ± 10.5
DEC	39.5 ± 12.1	54.6 ± 11.1 \$@	33.4 ± 7.0
RPE	5.73 ± 1.27	5.91 ± 0.90	5.82 ± 0.60

Values are means ± SD. @: significantly greater performance than TS45 for $p < 0.05$; \$: significantly greater performance than TS60 for $p < 0.05$. TD: Total distance (m); LSD: low-speed distance ([0-15[km·h⁻¹) (m); MSD: moderate speed distance ([15-20[km·h⁻¹) (m); HSD: High speed distance ([20-25] km·h⁻¹) (m); SPR: Sprint distance (> 25 km·h⁻¹) (m); ACC: accelerations (> 3 m·s⁻²) (n); DEC: decelerations (< -3 m·s⁻²) (n); RPE: rate of perceived exertion.

Discussion

This study aimed to investigate the effects of different training durations during the typical MD-1 training session across French academies soccer players. In line with our hypothesis, the results highlighted that a shorter training session duration led to an increased fitness level on MD. Indeed, our results suggested that TS45 led to markedly better performance compared to the other training durations. Players' 10m and 20m sprint times demonstrated that extending the duration up to 75 min led to further underperformance compared to TS45. However, as

attested by CMJ and IAT, TS45 proved superior to extended sessions without distinction between TS60 and TS75.

The results of the present study could be explained by the type of exercises implemented during these training sessions. Reactivity work, also called agility, requires rapid force development, high power output, and the ability to efficiently utilize the stretch-shortening cycle to accelerate and decelerate (S.S. Plisk, 2000). It was previously shown that increasing the weekly ACC and DEC demands led to a decreased readiness to play (Douchet et al., 2021). Furthermore, as ACC and DEC are very demanding actions, previous studies have shown that they can lead to increased muscle damage and plasma creatine kinase (Young et al., 2012). Indeed, on one hand, ACC were shown to require greater metabolic demand and neural activation of the working muscles compared to constant running (Mero & Komi, 1986). On the other hand, DEC were shown to predominantly consist of eccentric actions leading to muscle fatigue (Osgnach et al., 2010), intrinsic risk factors for injury (Alentorn-Geli et al., 2009). Still, ACC and DEC were similar between TS45 and TS60. This result could explain the lack of difference between these two training durations for 10 and 20 m sprints. Indeed, we might assume that a certain amount of ACC and DEC can be performed before producing a performance decrement.

The training sessions tested here also implemented SSG. At first, SSG were introduced to replicate competitive physiological demands and technical requirements. These training exercises are generally considered very demanding (Little, 2009). It was shown that the recovery kinetic following SSG was not complete after 24h of recovery for neuromuscular, biochemical, endocrine, and mood responses (Sparkes et al., 2018). Furthermore, a recent study demonstrated that fatigue following SSG could last up to 72h during isokinetic strength tests (Papanikolaou et al., 2021). Then, since this type of exercise imposes athletes to play under great technical pressure and fatigue, it obviously leads to significant physiological and mental fatigue (Gabbett & Mulvey, 2008), as confirmed by Hooper questionnaire results. Indeed, players reported increased fatigue with increasing training durations, and the Hooper index was lower for TS45 (i.e., increased fitness level) than both TS60 and TS75.

Additionally, and as expected, the external load increased with duration. However, not all variables were impacted similarly by training durations. Indeed, TD and low-velocity thresholds (LSD, MSD) were more sensitive to detect external load variations than high-intensity thresholds (HSD, SPR). This result can be attributed to the implementation of this specific SSG. Indeed, as a 30x40m wide SSG was implemented, we could hypothesize that high-intensity action thresholds were not easily reached. It was shown that SSG elicit predominantly low- to medium-intensity movements, while high-intensity actions are reduced in comparison to official matches [34]. Furthermore, ACC and DEC failed to differentiate TS45 and TS60 whereas these actions are crucial during reactivity drills and SSG. During these training exercises, players are expected to accelerate and decelerate over short distances. Therefore, players might not have sufficient distance to reach these high ACC and DEC thresholds and would need greater field sizes. This explanation also coincides with previous studies demonstrating that lowering ACC and DEC thresholds would better differentiate training load during SSG (Hodgson, Akenhead, & Thomas, 2014). These results therefore

suggest that low-velocity (LSD, MSD) and lower ACC/DEC ($< 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} / > -3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) thresholds should be as important as high-intensity actions during the monitoring process.

While we highlighted that this typical session was inadequate with the tapering aim, it could still match another practitioner's aim. Indeed, a previous survey amongst French academy strength and conditioning coaches demonstrated that development was emphasized over match results (Douchet et al., 2023). Focusing on physical development requires greater training loads than a competitive result-oriented goal. Such increased training volume is usually observed during preseason (when practitioners look for physical development rather than match results) (Fessi et al., 2016). Therefore, the actual MD-1 content might be suitable when academy policies are based on long-term career development. However, this session is more likely to be tradition-based than evidence-based. The present training session seems to be part of a belief based on some potential (but erroneous) benefits.

As competition is a top priority for elite-level teams, enabling players to be ready for competitive demands is of paramount importance. Match requires more and more physical, as long as technical and tactical demands (Barnes et al., 2014). Therefore, lowering the training load by decreasing duration or implementing more tactical sessions (Coppalle, Ravé, Moran, Salhi, Ben Abderrahman, et al., 2021) containing drills such as set pieces (Martín-García et al., 2018) seems more suitable. Furthermore, because of the competitive nature of SSG, it was shown that game-based exercises could lead to increased contact injury risk (Little, 2009). This could lead to players' absence on MD, which could lower the team's overall level and decrease the chance of winning (Bengtsson, Ekstrand, & Hägglund, 2013). Additionally, implementing such demanding exercises on MD-1 could increase players' fatigue on MD, particularly during the second half. This could expand the already high hamstring eccentric fatigue, increasing the injury risk (Robineau, Jouaux, Lacroix, & Babault, 2012). Therefore, our study suggests that a shorter training duration is mandatory to reduce players' fatigue and optimize performance on MD.

Training periodization is a complex process depending on numerous factors such as players' level, inter-individuals' history, responses to training stimulus, and the period during the pre- and in-season. Additionally, it would be of interest to explore the physiological responses associated with different exercise durations in a future study. Furthermore, our study did not explore the impact of MD-1 training duration on match performance. Due to the high variability of match performance (e.g., high-intensity performance), comparing matches can be challenging. Accordingly, the present experimental design should be replicated with a larger sample size and different contexts of training to explore the physiological responses of such training sessions alongside the impact on match performance. For instance, professional teams and different exercises or durations should be considered. It could also be of interest to consider a congested match fixture regularly present during the in-season.

Conclusions

Our study highlighted that the duration of MD-1 training session implementing reactivity and SSG impacts the physical and psychological characteristics of MD. Decreasing the duration to

45min led to better performance on MD compared to both 60 and 75min. In addition, practitioners should be aware that when prescribing drills such as reactivity drills and SSG, fatigue will appear from the high demands of ACC and DEC, possibly leading to underperformance and increased risks of injury more particularly on hamstring muscles during a subsequent match. Therefore, we encourage practitioners to implement lighter load exercises such as set pieces and tactical exercises on MD-1 if tapering is sought.

References

- Akenhead, R., French, D., Thompson, K. G., & Hayes, P. R. (2015). The physiological consequences of acceleration during shuttle running. *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1389968>
- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *17*(7), 705–729. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0813-1>
- Amiri-Khorasani, M., Sahebozamani, M., Tabrizi, K. G., & Yusof, A. B. (2010). Acute effect of different stretching methods on Illinois agility test in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf049c>
- Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M., & Bradley, P. S. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375695>
- Bengtsson, H., Ekstrand, J., & Hägglund, M. (2013). Muscle injury rates in professional football increase with fixture congestion: An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092383>
- Brini, S., Boullosa, D., Calleja-González, J., van den Hoek, D. J., Nobari, H., & Clemente, F. M. (2022). Impact of combined versus single-mode training programs based on drop jump and specific multidirectional repeated sprint on bio-motor ability adaptations: a parallel study design in professional basketball players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *14*(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00551-w>
- Brito, J., Hertzog, M., & Nassis, G. P. (2016). Do match-related contextual variables influence training load in highly trained soccer players? *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(2), 393–399. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001113>
- Casamichana, D., Castellano, J., & Dellal, A. (2013). Influence of different training regimes on physical and psychological demands during small-sided soccer games: continuous vs. intermittent format. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *18*(2), 690–697.
- Castillo, D., Rodríguez-Fernández, A., Nakamura, F. Y., Sanchez-Sanchez, J., Ramirez-Campillo, R., Yanci, J., ... Raya-González, J. (2021). Influence of Different Small-Sided Game Formats on Physical and Physiological Demands and Physical Performance in Young Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *35*(8), 2287–2293. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003114>
- Clemente, F. M., Owen, A., Serra-Olivares, J., Nikolaidis, P. T., Van Der Linden, C. M. I., & Mendes, B. (2019). Characterization of the Weekly External Load Profile of Professional Soccer Teams from Portugal and the Netherlands. *Journal of Human Kinetics*, *66*, 155–164. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0054>

- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed; N. Hillsdale, Ed.). <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Coppalle, S., Ravé, G., Moran, J., Salhi, I., Ben Abderrahman, A., Zouita, S., ... Zouhal, H. (2021). Internal and External Training Load in Under-19 versus Professional Soccer Players during the In-Season Period. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph18020558>
- Coutinho, D., Gonçalves, B., Figueira, B., Abade, E., Marcelino, R., & Sampaio, J. (2015). Typical weekly workload of under 15, under 17, and under 19 elite Portuguese football players. *Journal of Sports Sciences*, 33(12), 1229–1237. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1022575>
- Douchet, T., Humbertclaude, A., Cometti, C., Paizis, C., & Babault, N. (2021). Quantifying Accelerations and Decelerations in Elite Women Soccer Players during Regular In-Season Training as an Index of Training Load. *Sports*, 9(8), 109. <https://doi.org/10.3390/sports9080109>
- Douchet, T., Paizis, C., & Babault, N. (2023). Typical weekly physical periodization in French academy soccer teams: a survey. *Biology of Sport*, 40(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.5114/biolport.2023.119988>
- Fessi, M. S., Zarrouk, N., Filetti, C., Rebai, H., Elloumi, M., & Moalla, W. (2016). Physical and anthropometric changes during pre-and in-season in professional soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(10), 1163–1170.
- Gabbett, T. J., & Mulvey, M. J. (2008). Time-motion analysis of small-sided training games and competition in elite women soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181635597>
- Gaudino, P., Alberti, G., & Iaia, F. M. (2014). Estimated metabolic and mechanical demands during different small-sided games in elite soccer players. *Human Movement Science*. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.05.006>
- Hodgson, C., Akenhead, R., & Thomas, K. (2014). Time-motion analysis of acceleration demands of 4v4 small-sided soccer games played on different pitch sizes. *Human Movement Science*. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.12.002>
- Hooper, S. L., & Mackinnon, L. T. (1995). Monitoring Overtraining in Athletes: Recommendations. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.2165/00007256-199520050-00003>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A., & Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000128199.23901.2F>
- Kelly, D. M., Strudwick, A. J., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2020). Quantification of training and match-load distribution across a season in elite English Premier League soccer players. *Science and Medicine in Football*, 4(1), 59–67. <https://doi.org/10.1080/24733938.2019.1651934>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data Published by : International Biometric Society Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2529310>. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- Little, T. (2009). Optimizing the use of soccer drills for physiological development. *Strength and Conditioning Journal*. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181a5910d>
- Malone, J. J., Di Michele, R., Morgans, R., Burgess, D., Morton, J. P., & Drust, B. (2015). Seasonal training-load quantification in elite English Premier League soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 489–497. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0352>
- Malone, J. J., Murtagh, C. F., Morgans, R., Burgess, D. J., Morton, J. P., & Drust, B. (2015).

- Countermovement jump performance is not affected during an in-season training microcycle in elite youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 752–757. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000701>
- Martín-García, A., Gómez Díaz, A., Bradley, P. S., Morera, F., & Casamichana, D. (2018). Quantification of a professional football team's external load using a microcycle structure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3511–3518. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002816>
- Mero, A., & Komi, P. V. (1986). Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. <https://doi.org/10.1007/BF00421652>
- O'Brien, J., Young, W., & Finch, C. F. (2017). The use and modification of injury prevention exercises by professional youth soccer teams. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. <https://doi.org/10.1111/sms.12756>
- Osgnach, C., Poser, S., Bernardini, R., Rinaldo, R., & Di Prampero, P. E. (2010). Energy cost and metabolic power in elite soccer: A new match analysis approach. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ae5cfd>
- Owen, A. L., Lago-Peñás, C., Gómez, M. Á., Mendes, B., & Dellal, A. (2017). Analysis of a training mesocycle and positional quantification in elite European soccer players. *International Journal of Sports Science and Coaching*. <https://doi.org/10.1177/1747954117727851>
- Papanikolaou, K., Tsimeas, P., Anagnostou, A., Varypatis, A., Mourikis, C., Tzatzakis, T., ... Fatouros, I. G. (2021). Recovery Kinetics following Small-Sided Games in Competitive Soccer Players: Does Player Density Size Matter? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(9), 1270–1280. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2020-0380>
- Plisk, S. S. (2000). Speed, Agility, and Speed-Endurance Development in. In *Essentials of Strength Training and Conditioning* (pp. 427–470). Human Kinetics Publishers Inc.
- Rahnama, N., Reilly, T., & Lees, A. (2002). Injury risk associated with playing actions during competitive soccer. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsm.36.5.354>
- Reilly, T. (2005). An ergonomics model of the soccer training process. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 561–572. <https://doi.org/10.1080/02640410400021245>
- Robineau, J., Jouaux, T., Lacroix, M., & Babault, N. (2012). Neuromuscular fatigue induced by a 90-minute soccer game modeling. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2), 555–562. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318220dda0>
- Ryan, C., Uthoff, A., McKenzie, C., & Cronin, J. (2022). Traditional and Modified 5-0-5 Change of Direction Test: Normative and Reliability Analysis. *Strength and Conditioning Journal*, 44(4), 22–37. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000691>
- Sparkes, W., Turner, A., Weston, M., Russell, M., Johnston, M., & Kilduff, L. (2018). Neuromuscular, biochemical, endocrine, and mood responses to small-sided games' training in professional soccer. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002424>
- Stevens, T. G. A., de Ruiter, C. J., Twisk, J. W. R., Savelsbergh, G. J. P., & Beek, P. J. (2017). Quantification of in-season training load relative to match load in professional Dutch Eredivisie football players. *Science and Medicine in Football*. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1282163>
- Stoszowski, J., & Collins, D. (2016). Sources, topics and use of knowledge by coaches. *Journal of Sports Sciences*, 34(9), 794–802.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1072279>

- Willmott, A. G. B., James, C. A., Bliss, A., Leftwich, R. A., & Maxwell, N. S. (2019). A comparison of two global positioning system devices for team-sport running protocols. *Journal of Biomechanics*, 83, 324–328. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.11.044>
- Wrigley, R., Drust, B., Stratton, G., Scott, M., & Gregson, W. (2012). Quantification of the typical weekly in-season training load in elite junior soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1573–1580. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.709265>
- Young, W. B., Hepner, J., & Robbins, D. W. (2012). Movement demands in Australian Rules football as indicators of muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318225a1c4>

IV.4. De l'optimisation de la performance compétitive vers l'individualisation de la planification de l'entraînement

Jusque-là, nos différentes études ont montré que moduler la planification typiquement utilisée en football permettait de favoriser le développement physique et l'état de forme le jour du match. Par exemple, lorsque le volume était réduit à 45min lors de la veille de match à J-1, les performances sur les tests physiques et le questionnaire Hooper ont montré des résultats significativement améliorés. Cela peut notamment s'expliquer par les contenus d'entraînement utilisés (vivacité et jeux réduits). En effet, ces contenus produisent de nombreuses accélérations et décélérations qui entraînent une charge neuromusculaire significative pouvant mener à une réduction de l'état de forme. De ce fait, les entraînements à J-1 devraient chercher à réduire le volume d'entraînement si ces contenus sont maintenus, ou encore les modifier. En effet, cette journée pourrait être l'occasion de travailler davantage les principes tactiques à l'approche de la compétition, ne nécessitant pas une dépense d'énergie trop importante, comme les coups de pieds arrêtés. Grâce à de telles stratégies, il sera alors possible d'accroître les charges de travail lors des entraînements à charges élevées, tout en conservant un état de forme satisfaisant lors de la compétition. À long terme cela permettrait de satisfaire le double objectif des centres de formation, de développement physique et de performance compétitive.

Pour autant, afin de développer au mieux les athlètes, il est nécessaire de prendre en compte l'individu. En accord avec le principe fondamental de l'entraînement de spécificité, les staffs devraient chercher à recréer les conditions compétitives afin de permettre le développement de l'athlète et d'obtenir un transfert en match. Grâce à l'évolution des technologies embarquées et notamment des GPS, il est aujourd'hui possible de connaître avec précision les efforts compétitifs selon les postes. Dans l'entraînement, les praticiens cherchent alors à recréer les demandes compétitives selon les postes. Pourtant, dans la majorité des cas, les charges de travail sont exprimées de manière absolue, et donc non individualisées selon les capacités

compétitives de l'athlète. De ce fait, notre cinquième étude avait pour but de comparer la méthode de quantification absolue des charges d'entraînement avec la méthode relative aux capacités compétitives de l'athlète. À ce jour, seules deux études ont exploré les différences entre les postes durant l'entraînement en utilisant cette quantification relative (Baptista, Johansen, & Figueiredo, 2019; Guerrero-Calderón et al., 2022). Les auteurs ont mis en évidence différentes charges d'entraînement relatives en fonction des postes. Par exemple, les milieux excentrés étaient moins susceptibles de reproduire leurs exigences compétitives, en particulier pendant les efforts de haute intensité, par rapport aux défenseurs latéraux (Baptista et al., 2019). Les auteurs ont également démontré que certains postes surpassaient les charges de match pendant l'entraînement pour les accélérations et sous-performaient les actions de haute intensité (Guerrero-Calderón et al., 2022). Un entraînement donné pourrait donc conduire à des charges de travail variables selon les postes (Guerrero-Calderón et al., 2022). Si l'entraînement adhère aux principes d'individualisation et de spécificité, les différences obtenues avec la méthode de quantification absolue, devraient disparaître avec la méthode relative. Si l'entraînement recrée correctement les exigences compétitives, cela signifie que l'objectif des staffs sera de modifier la planification au niveau de sa forme, et de son organisation comme réalisé dans les études précédentes. Dans le cas contraire, l'objectif principal des staffs sera alors de satisfaire prioritairement l'individualisation et la spécificité en modifiant l'entraînement au niveau individuel. Nous émettions alors l'hypothèse que les différences apparaissant lors de la méthode de quantification absolue disparaîtraient avec la méthode relative, signifiant que l'entraînement reproduit correctement la compétition.

IV.4.1. Étude 5 : Différences entre les postes dans les charges d'entraînement
absolues et relatives chez des joueurs de football élite en centre de formation

**Positional differences in absolute vs. relative training loads in elite academy
soccer players.**

Tom Douchet, Christos Paizis, Hugo Roche, Nicolas Babault

Soumis dans The Journal of Sports Science and Medicine

Abstract

Weekly training loads are usually reported using absolute values and are not individualized according to competitive positional demands (relative values). The aim of this study was to evaluate absolute and relative training loads and compare playing positions during a full in-season in an elite soccer academy.

24 elite academy soccer players, categorized into five positions (CD: central defender [n=4]; FB: full back [n=5]; CM: central midfielder [n=6]; WM: wide midfielder [n=5]; FW: forward [n=4]), were monitored using a global positioning system. Absolute training load was calculated using the total distance, the distance at moderate-speed ($[15-20[\text{ km} \cdot \text{ h}^{-1}$), high-speed ($[20-25[\text{ km} \cdot \text{ h}^{-1}$), sprint ($> 25 \text{ km} \cdot \text{ h}^{-1}$), the total number of accelerations ($> 3 \text{ m} \cdot \text{ s}^{-2}$) and decelerations ($< -3 \text{ m} \cdot \text{ s}^{-2}$). Relative training load was calculated by dividing absolute training loads by mean values of the competitive matches. Training loads were determined daily according to their distance from match day (MD). One-way ANOVAs were performed to evaluate differences between playing positions.

Absolute moderate-speed distance was greater for WM compared to CD ($p=0.015$, and $p=0.017$), while the opposite was shown for relative values ($p=0.014$, and $p<0.001$) on MD-4 and MD-3, respectively. The absolute moderate-speed distance was not different between CD, FB, CM, and FW, whereas relative values were greater for CD on MD+2 and MD-4 ($p<0.05$). FB and WM performed greater absolute high-speed distance than CD on MD-4 and MD-3 ($p<0.05$) while no difference was highlighted for relative values.

Our results demonstrated that the training load for CD is underestimated using absolute training loads for moderate and high-speed distances. In contrast, relative training loads highlighted WM as an underloaded position. Therefore, relative training loads are recommended as they contextualize training loads according to competitive demands and favor training individualization.

Résumé

Les charges d'entraînement hebdomadaires sont généralement rapportées en utilisant des valeurs absolues et ne sont pas individualisées en fonction des exigences des postes occupés

en compétition (valeurs relatives). L'objectif de cette étude était d'évaluer les charges d'entraînement absolues et relatives et de comparer les postes pendant une saison complète dans un centre de formation de football d'élite.

24 joueurs d'élite d'un centre de formation de football, répartis en cinq positions (CD : défenseur central [n=4] ; FB : défenseur latéral [n=5] ; CM : milieu de terrain axial [n=6] ; WM : milieu de terrain excentré [n=5] ; FW : attaquant [n=4]), ont été suivis à l'aide d'un système de positionnement global (GPS). La charge de travail absolue a été calculée en utilisant la distance totale, la distance à vitesse modérée ([15-20[km·h⁻¹]), à haute intensité ([20-25[km·h⁻¹]), en sprint (> 25 km·h⁻¹), le nombre total d'accélération (> 3 m·s⁻²) et de décélérations (< -3 m·s⁻²). La charge de travail relative a été calculée en divisant les charges d'entraînement absolues par les valeurs moyennes des matchs compétitifs. Les charges d'entraînement ont été déterminées quotidiennement en fonction de leur distance par rapport au jour du match (J). Des ANOVA à sens unique ont été réalisées pour évaluer les différences entre les postes.

La distance absolue à vitesse modérée était plus grande pour WM par rapport à CD (p=0.015, et p=0.017) tandis que le contraire était montré pour les valeurs relatives (p=0.014, et p<0.001) sur J-4 et J-3, respectivement. La distance absolue à vitesse modérée n'était pas différente entre CD, FB, CM et FW alors que les valeurs relatives étaient supérieures pour CD sur J+2 et J-4 (p<0,05). FB et WM ont réalisé une distance absolue à haute intensité plus importante que CD sur J-4 et J-3 (p<0,05) alors qu'aucune différence n'a été mise en évidence pour les valeurs relatives.

Nos résultats ont démontré que la charge de travail pour CD est sous-estimée en utilisant les charges d'entraînement absolues pour les distances modérées et à haute intensité. En revanche, les charges d'entraînement relatives ont mis en évidence que WM est une position sous-chargée. Les charges d'entraînement relatives sont recommandées car elles contextualisent les charges d'entraînement en fonction des exigences de la compétition et favorisent l'individualisation de l'entraînement.

Introduction

Global positioning systems (GPS) are commonly used across the majority of top-level team sports and particularly soccer (Richard Akenhead & Nassis, 2016). Measuring external loads (e.g., distance, speed, accelerations) has widely helped our understanding of the work and capacities of athletes during training sessions and competitions. For example, studies examining soccer competitions generally report that midfielders cover the greatest total distance, wide midfielders and forwards cover the greatest high-intensity distance, while the central defender position is often reported as the least demanding (Richard Akenhead, Hayes, Thompson, & French, 2013; Bradley et al., 2009; Di Salvo et al., 2007; Mohr et al., 2003). These distinct positional demands during competitions have similarly been observed during training (R Akenhead, Harley, & Tweddle, 2016; J. J. Malone, Di Michele, et al., 2015). However, quantitative analyses are generally conducted using absolute values (e.g., total distance covered at different velocities or the total number of accelerations). Although useful

for training load follow-up, absolute values lack for individualization. Indeed, for a similar external training load, players adaptive response will differ based on their own physical capacities (Impellizzeri et al., 2019).

Training load individualization could be achieved using personalized physical capacities or using competitive physical demands. The latter has recently been proposed to calculate relative training loads by expressing absolute training loads as a fraction of players' competitive demands (Zurutuza, Castellano, Echeazarra, & Casamichana, 2017). This alternative method has been used to describe the weekly microcycle (Baptista et al., 2019; Clemente, Rabbani, et al., 2019; Guerrero-Calderón et al., 2022; Modric, Jelacic, & Sekulic, 2021; Zurutuza et al., 2017). Studies have shown that the high-intensity competitive efforts were less replicated during training as compared to low-intensity actions. However, to date, only two studies have explored possible positional differences (Baptista et al., 2019; Guerrero-Calderón et al., 2022). Authors highlighted that wide players were less likely to replicate their competitive demands, particularly during high-intensity efforts than wide back players (Baptista et al., 2019). In addition, while most positions underperformed competitive high-intensity efforts, accelerations have been shown to be overperformed (Guerrero-Calderón et al., 2022). Therefore, the authors proposed to alter training programming to better match the actual competition demand depending on playing positions (Guerrero-Calderón et al., 2022). Relative training loads would enable practitioners to individualize training loads and ensure that players are trained according to their competitive positional demands.

Although relative training loads quantification is emerging, to the best of our knowledge, no study has attempted to compare the relative and absolute quantification methods to explore differences between playing positions during the microcycle in academy soccer players. The aim of this study was to evaluate absolute and relative training loads and compare playing positions over the full in-season in an elite soccer academy. We hypothesized that these two methods of training load quantification would yield different conclusions. More particularly, we expected to observe differences between positions by using absolute training loads (e.g., greater workload for wide as compared to central players) and that these positional differences would disappear with relative training loads (i.e., training sessions similarly replicate the competitive demands for all positions).

Methods

Participants

Twenty-four elite academy soccer players (age = 18.2 ± 0.6 years, height = 177.8 ± 1.3 cm, body mass = 70.2 ± 3.9 kg) of the U19 team of the elite French football club of Dijon Football Côte d'Or were recruited for this study. Physical capacities of the players (i.e., sprint, vertical jump and aerobic performances) are presented in the supplementary file (Table S1). Players were categorized in five different positions: central defender (CD) (n=4), fullback (FB) (n=5), central midfielder (CM) (n=6), wide midfielder (WM) (n=5), and forward (FW) (n=4). Goalkeepers were excluded from this study due to the different nature of their activity. All the

players were notified of the research protocol, benefits, and risks before providing written informed consent in accordance with the declaration of Helsinki. Approval of the study was obtained from the local ethic committee (approval number: IRB00012476-2021-17-06-114).

Design

An observational cohort study was conducted on an academy soccer team throughout the 2020/2021 season of the highest national youth soccer competition in France. The methodology was chosen in accordance with that used in similar studies (Clemente, Rabbani, et al., 2019; Modric et al., 2021). Only the weeks that fulfilled the following criteria were considered: (i) the team played only one match during the week, (ii) with a minimum of 6 days between the matches, (iii) players should complete all training sessions of the considered week, and (iv) players should play the whole match. Furthermore, to reduce the potential effects of situational and environmental factors, matches including red cards or specific outputs (e.g., bad weather, bad pitch, matches against teams that were mathematically assured of the title or relegation) were not analyzed (Chmura et al., 2021). Therefore, out of the 26 competitive weeks, only 20 were included. This led to the average inclusion of 6.15 ± 0.97 players per week.

Firstly, training loads (total distance, distances covered at specific speeds, and the number of accelerations and decelerations) were initially calculated in absolute values. Mean values were calculated daily from the considered weeks using GPS-derived data (see below). Secondly, relative training loads were calculated according to the demands identified in competitive matches. The mean values for all players' competitive matches of the considered weeks were calculated for the same GPS-derived data (total distance, distances covered at specific speeds, and the number of accelerations and decelerations). On average, players had 4.9 ± 2.7 complete matches to calculate the mean values (CD: 6.4 ± 2.9 matches; FB: 5.7 ± 3.3 ; CM: 4.4 ± 2.8 ; WM: 4.25 ± 1.1 ; FW: 3.6 ± 1.0). Afterwards, absolute training loads were expressed as a function of the mean values of all the competitive matches of the considered weeks. Days were named according to their distance in days from matchday (MD) (Owen et al., 2017). For example, MD-4 corresponded to a training session four days before MD. The team followed a typical periodization throughout the season, which consisted of six technical-tactical field-based sessions and two gym-based sessions (Table 1). Only field-based sessions were analyzed (MD+2b, MD-4a, MD-4b, MD-3a, MD-2, MD-1). Gym-based sessions (MD+2a, MD-3b) were therefore excluded from analyses.

Table 1. Weekly periodization.

	MD+1	MD+2	MD-4	MD-3	MD-2	MD-1
AM	-	-	MD-4a: Strength oriented session (90min)	MD-3a: Aerobic oriented session (90min)	Speed oriented session (70min)	-
PM	-	MD+2a: Upper body strength session (60min) MD+2b: Active recovery session (60min)	MD-4b: Positional specific session (60min)	MD-3b: Lower body strength session (60min)	-	Tapering oriented session (60min)

MD: match day.

Workload

Players wore a 10-Hz Fieldwizz GPS alongside a 100-Hz triaxial accelerometer microsensor on every field-based training session and match. This tracking system showed low bias and good coefficient of variation for the total distance and peak speed, indicating high reliability to track team-sport variables (Willmott et al., 2019). The device was located between the scapulae using a special vest. As recommended by the manufacturer, all devices were activated 15 min before data collection. Players always wore the same sensor to avoid interunit variability. GPS were turned off as soon as the training session or match was stopped. Data were downloaded and analyzed immediately after each match and training session using the manufacturer software package (Fieldwizz, ASI, Lausanne, Switzerland).

The external load during each match and training session was monitored using the total distance, distance covered at specific speeds, number of accelerations, and decelerations. Total distance was the distance covered by the players and expressed in meters (m). Similarly, distances at specific speeds were expressed in m and included moderate-speed distance ([15-20[km·h⁻¹), high-speed distance ([20-25] km·h⁻¹), and sprint distance (> 25 km·h⁻¹). The total number of accelerations (> 3 m·s⁻²) and decelerations (< -3 m·s⁻²) was determined. Distances covered at each specific speed and number of accelerations and decelerations, were determined as soon as the players reached the above thresholds and as long as the players remained within the given threshold. The absolute values, quantified during training, were subsequently expressed as a function of values obtained during competitive matches to compute relative training loads. In accordance with a previous study, the distance at low-speed ([0-15[km·h⁻¹)

was excluded from analyses due to its limited influence on soccer performance (Clemente, Rabbani, et al., 2019).

Statistical analyses

All statistical analyses were performed using JASP (Ver 0.13, JASP Team (2020), University of Amsterdam). Sphericity was examined by conducting Mauchly's test. One-way repeated measures analyses of variances (ANOVA) were performed to evaluate differences between positions (independent factor) for absolute and relative values. For each ANOVA, partial eta-squared (η_p^2) was calculated as a measure of effect size. Effect sizes were considered as small (<0.06), moderate (0.06-0.15), or large (>0.15) (Cohen, 1988). In the case of significant position effects, Bonferroni's post hoc tests were used to identify any localized effect. The statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results

738 individual training sessions (CD = 192, FB = 204, CM = 132, WM = 102, FW = 108) and 123 individual matches (CD = 32, FB = 34, CM = 22, WM = 17, FW = 18) were analyzed.

Competitive demands

During soccer games (Table 2), the ANOVAs revealed significant position effects for total distance ($p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.420$, large), moderate-speed distance ($p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.327$, large), high-speed distance ($p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.497$, large), sprint distance ($p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.262$, large), the number of accelerations ($p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.205$, large) and decelerations ($p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.339$, large).

Table 2. Mean values of GPS indicators during competition across positions.

	CD	FB	CM	WM	FW
TD (m)	9914 ± 617	10260 ± 622	10943 ± 639 a,b,e	11168 ± 690 a,b,e	10240 ± 575
MSD (m)	1113 ± 274	1198 ± 338	1420 ± 337 a	1796 ± 400 a,b,c	1545 ± 389 a,b
HSD (m)	375 ± 131	520 ± 115 a,c	351 ± 129	664 ± 142 a,b,c,e	474 ± 114 a, c
SPR (m)	120 ± 117	210 ± 96 a,c	130 ± 118	190 ± 96 c	125 ± 93
ACC (n)	83 ± 24	100 ± 23 a,c	79 ± 26	115 ± 27 a,c	95 ± 28
DEC (n)	71 ± 22	99 ± 20 a,c	78 ± 23	107 ± 23 a,c	91 ± 22 a

Values are presented as mean values ± SD. TD: Total distance (m); LSD: low-speed distance ([0-15[km·h⁻¹) (m); MSD: moderate speed distance ([15-20[km·h⁻¹) (m); HSD: High speed distance ([20-25] km·h⁻¹) (m); SPR: Sprint distance (> 25 km·h⁻¹) (m); ACC: accelerations (> 3 m·s⁻²) (n); DEC: decelerations (< -3 m·s⁻²) (n); CD: central defender; FB: full back; CM:

central midfielder; WM: wide midfielder; FW: forward. Longer distance or more accelerations/decelerations for $p < 0.05$ than a: CD; b: FB; c: CM; d: WM; e: FW.

Total distance was significantly greater for CM and WM than the other positions. Moderate-speed distance was significantly greater for WM compared to CD, FB, and CM. FW had greater moderate-speed distance than CD and FB. CM had greater moderate-speed distance than CD. High-speed distance was greater for WM than the other positions. FB and FW demonstrated greater values than CD, and CM. Sprint distance was greater for FB than CD, and CM. WM also covered greater sprint distance than CM. The number of accelerations and decelerations was greater for FB and WM than CD, and CM. FW also performed more decelerations than CD.

Training workload

Significant main playing position effects were obtained for all absolute and relative training load variables (Table S2).

The absolute total distance was greater for WM compared to CM on MD+2b, CD and FB on MD-4b, and CD, CM and FW on MD-3a (Figure 1). FW also had greater absolute total distance than FB on MD-4b. On MD-1, CM had a greater absolute total distance than CD and FB. The relative total distance was greater for CD than CM on MD+2b, and MD-4a. On MD-4b, the relative total distance was greater for FW and WM than FB.

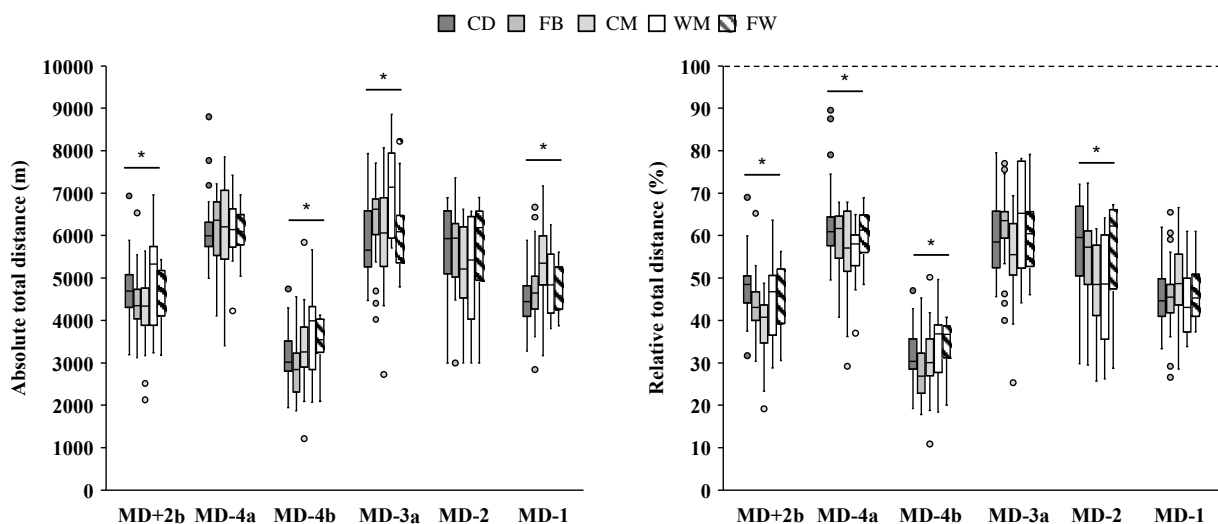


Figure 1. Whisker plots representing positional absolute and relative total distance across the week. Dots represent outliers. *: significant difference between positions for $p < 0.05$.

The absolute moderate-speed distance was greater for WM than CM on MD+2b, CD, and FB on MD-4b, and CD on MD-3a (Figure 2). On MD-1, CM covered greater absolute moderate-speed distance than CD, and FB. The relative moderate-speed distance was greater for CD than the other positions on MD+2b, and MD-4a, WM on MD-4b, WM on MD-2, and FW on MD-1. FB also covered greater relative moderate-speed distance than CM, and WM on MD+2b, WM, and FW on MD-4a, CM, WM, and FW on MD-3a, WM on MD-2, and WM on MD-1. CM covered a greater relative moderate-speed distance than WM on MD-1.

des principes fondamentaux de l'entraînement

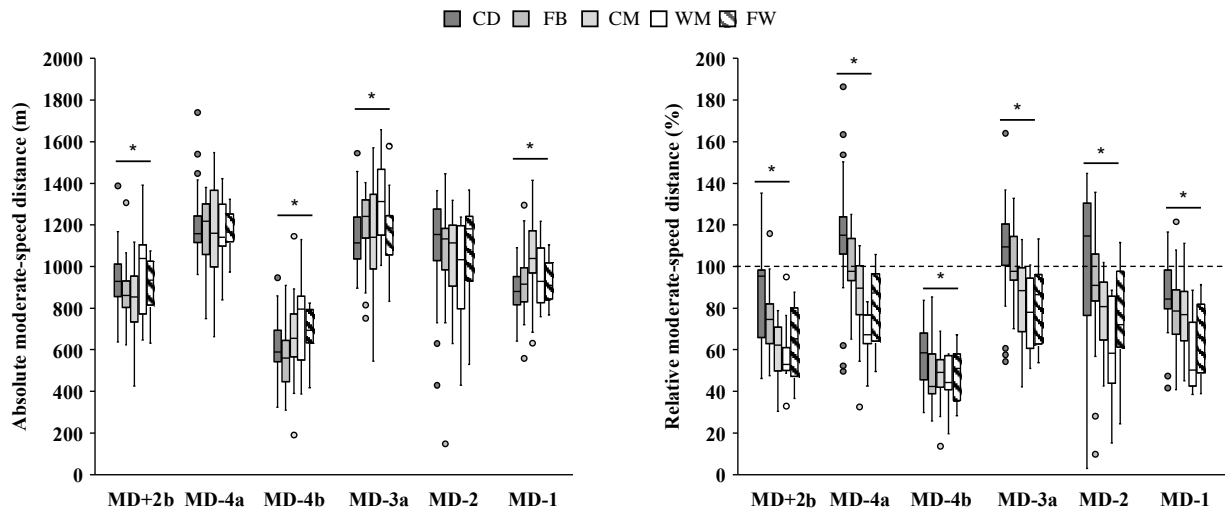


Figure 2. Whisker plots representing positional absolute and relative moderate-speed distance across the week. Dots represent outliers. *: significant difference between positions for $p < 0.05$.

The absolute high-speed distance was greater for WM than CD on MD+2b, MD-4a, and MD-3a (Figure 3). WM covered a greater absolute high-speed distance than CD on MD-4a, and MD-3a. The relative high-speed distance was greater for CM than the other positions on MD-4a.

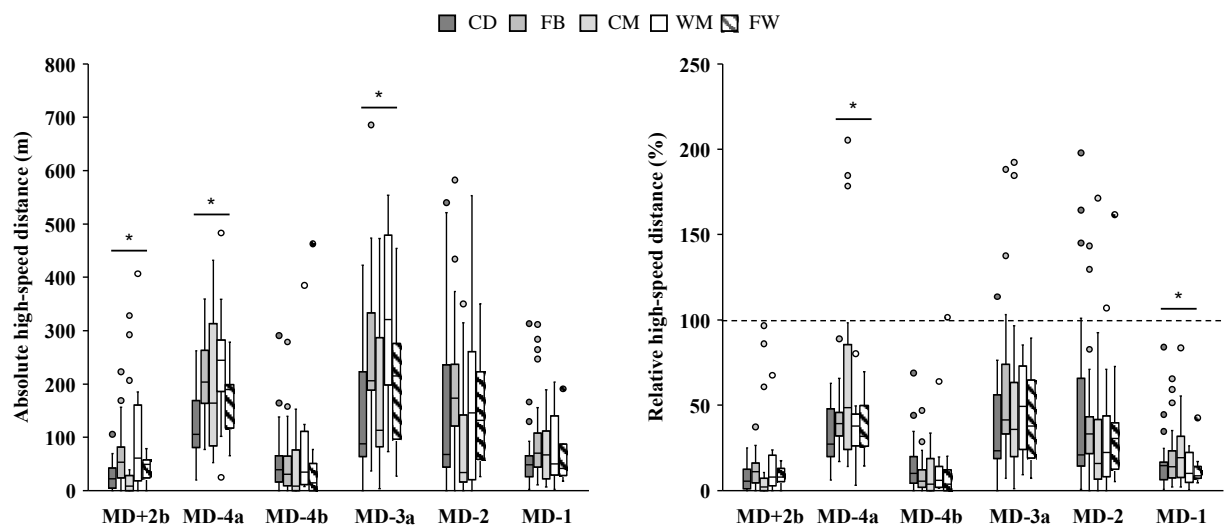


Figure 3. Whisker plots representing positional absolute and relative high-speed distance across the week. Dots represent outliers. *: significant difference between positions for $p < 0.05$.

The absolute sprint distance was greater for FB than CD, and CM on MD+2b, and MD-2 (Figure 4). During MD-4a, and MD-3a, WM covered a greater absolute sprint distance than CD, and CM. The relative sprint distance was greater for FW than CD on MD-3a, and MD-2.

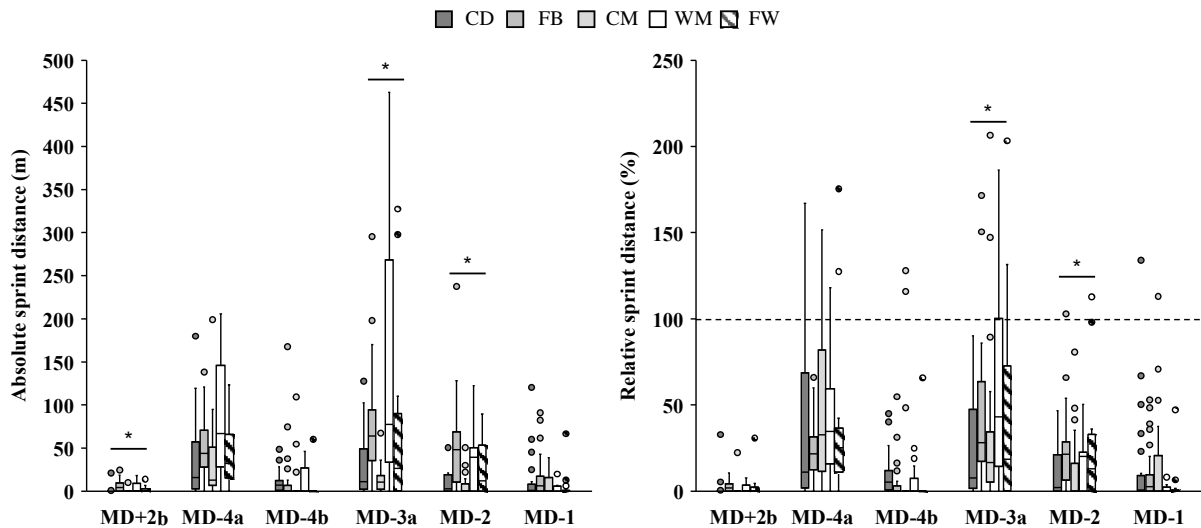


Figure 4. Whisker plots representing positional absolute and relative sprint distance across the week. Dots represent outliers. *: significant difference between positions for $p < 0.05$.

The absolute number of accelerations was greater for FW, and WM than CM on MD-4a, and FB on MD-4b (Figure 5). FB, and WM, had greater absolute accelerations than CD, and CM on MD-3a. The absolute accelerations were greater for FB than CM on MD-2. FW had a greater relative number of accelerations than FB on MD-4b and MD-4a, and than FB, and WM on MD-1. The relative accelerations were greater for CD as compared to FB on MD-4a, and WM on MD-2.

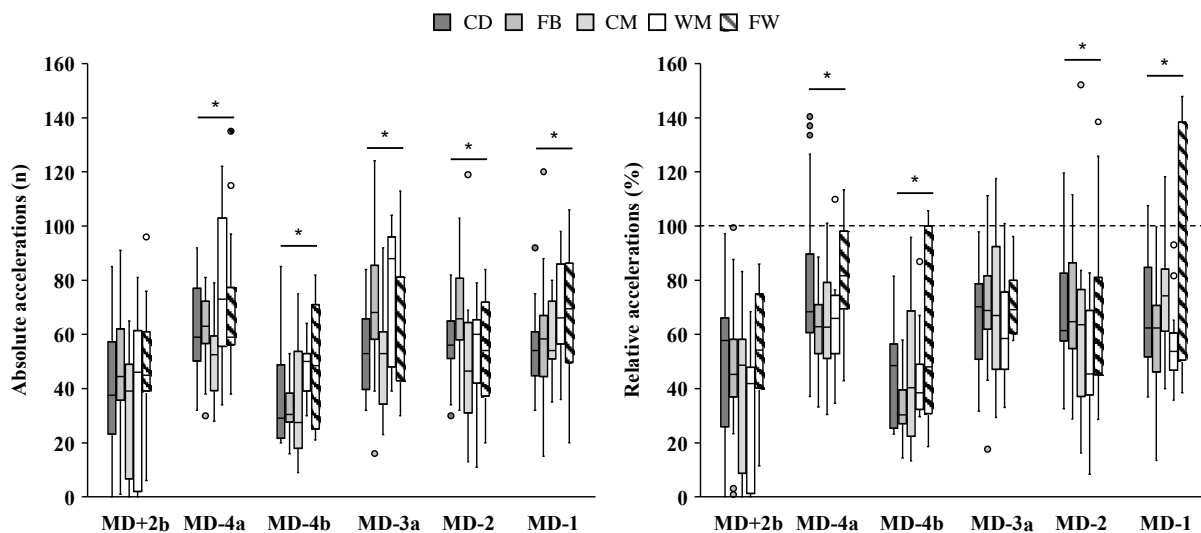


Figure 5. Whisker plots representing positional absolute and relative accelerations number across the week. Dots represent outliers. *: significant difference between positions for $p < 0.05$.

The absolute number of decelerations was greater for FB as compared to the other positions on MD-4a, and MD-3a, and CM, and FW on MD-2 (Figure 6). WM had greater absolute decelerations as compared to the other positions on MD-4a, and MD-3a, CD, CM, and FB on MD-4b, and CD, CM, and FW on MD-1. The relative number of decelerations was greater for

CD than FW on MD-4a, FB on MD-4b, and CM, WM, and FW on MD-2. On MD-4b, WM had a greater relative number of decelerations than FB.

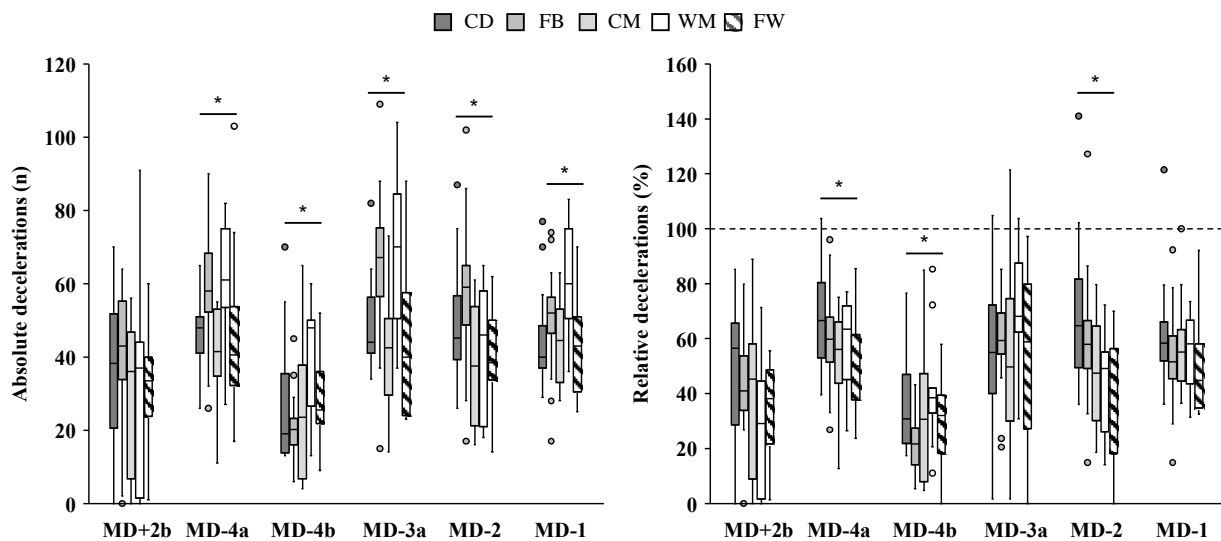


Figure 6. Whisker plots representing positional absolute and relative decelerations number across the week. Dots represent outliers. *: significant difference between positions for $p < 0.05$.

Discussion

The aim of this study was to evaluate absolute and relative training loads and compare playing positions over the full in-season in an elite soccer academy. Our results only partly confirmed our a priori hypothesis. While WM did perform greater workloads than central players using the absolute training loads method, relative training loads demonstrated that WM were underloaded compared to the other positions and that CD performed the greatest relative training loads. Therefore, the results showed that quantifying relative training loads increases our interpretation of players' training loads compared to the absolute method.

Our main results from absolute training loads suggested that WM performed greater workloads on several days compared to the other positions for all GPS-derived values. Conversely, CD had the lowest training loads. Previous studies also obtained similar results in professional players (R Akenhead et al., 2016; J. J. Malone, Di Michele, et al., 2015; Owen et al., 2017). In addition, wide players (FB and WM) demonstrated a greater number of accelerations and decelerations during training compared to central positions (CD, CM, and FW). Authors proposed that practitioners should carefully consider the higher acceleration and deceleration load imposed on wide players as compared to central players (Vigh-Larsen, Dalgas, & Andersen, 2018) as these actions were shown to lead to neuromuscular fatigue in elite women soccer players (Douchet et al., 2021). This is due to the greater neural activation of working muscles, compared to constant-speed running (Mero & Komi, 1986). Playing position differences registered using absolute training loads are concordant with competitive positional demands. However, such similarity cannot ensure that competitive demands are exactly reproduced.

Relative training loads are proposed to help programming training in a way to reflect the real match demands (Guerrero-Calderón et al., 2022). When accounting for relative training loads, markedly different conclusions emerged. For instance, while CD often reported lower absolute training loads (R Akenhead et al., 2016; J. J. Malone, Di Michele, et al., 2015), our results revealed CD performed significantly greater relative training loads than most positions during the entire microcycle. Similarly, while WM reported the greatest competitive demands and weekly absolute values, relative values suggested that they were less likely to replicate competition demands. This result is consistent with a previous study conducted in professional players (Baptista et al., 2019). These authors reported that the WM position poorly reproduced the competitive demands as compared to the other playing positions. More specifically, WM are well known to have numerous speed changes during competitive matches (Vigh-Larsen et al., 2018). However, our results demonstrated that central positions (CD and FW) performed a significantly greater relative number of accelerations and decelerations than wide players. The competitive positional differences are not reproduced during training. The practitioner should consider relative training loads for optimal programming and should pay more attention to increasing the training load on wide players for instance with additional work after the session to achieve the physical goals (Guerrero-Calderón et al., 2022).

Furthermore, the competitive demands are not reproduced to the same extent across all GPS variables during training. Indeed, a player exactly reproducing the competition demands would obtain 100% relative values during each single session (horizontal line in Figures 1 to 6). As can be seen from the various figures (except for moderate-speed distance and to a lesser extent accelerations and decelerations), this was evidently not the case. Indeed, data were far below 100% for the relative total, high-speed, and sprint distances covered throughout the microcycle. Of course, replicating the total distance of the match during training is impractical and is not the main aim of practitioners. However, relative high-speed and sprint distances are much easier to replicate and are not time-constrained. Academy practitioners should consider increasing high-speed and sprint distances during the week to approach 100% relative training loads. Indeed, high-intensity efforts are continuously growing in soccer rendering these efforts more and more crucial for competitive results (Di Salvo et al., 2009; Nassis et al., 2020). Moreover, high-intensity distance has been shown to differentiate players' levels, and was associated with success in soccer (Mohr et al., 2003). Increasing high-intensity distances in academy settings is necessary for the development of young players and to bridge the gap from the academy to the professional status; a training stimulus continuously below competitive demands will be inefficient to increase high-intensity distances during matches. High-intensity efforts are characterized by numerous accelerations and decelerations. Our results, and others, revealed that accelerations are extensively replicated during training (Clemente, Rabbani, et al., 2019; Guerrero-Calderón et al., 2022). However, performing numerous accelerations and decelerations has been suggested to decrease the level of readiness (Douchet et al., 2021). Optimizing the balance between high-intensity distance and number of accelerations is facilitated using relative training loads and may avoid unexpected fatigue.

As in the present study, numerous soccer teams use small-sided games. Such training modality could explain the numerous accelerations and decelerations and the reduced high-velocity

distance. While small-sided games disserve high-velocity efforts, moderate-speed efforts, number of accelerations, and decelerations are easily performed (Dalen et al., 2021). For instance, compared to running-based drills, small-sided games have been shown to increase acceleration and deceleration, and decrease high-speed and sprint demands (Ade, Harley, & Bradley, 2014). Therefore, previous studies have demonstrated that field size should be manipulated to emphasize the physical qualities the practitioners intend to develop (i.e., increasing or decreasing the number of square meters per player to increase high-velocity demands or to emphasize accelerations and decelerations, respectively) (Riboli et al., 2020; Sangnier et al., 2019). It was also proposed that small-sided games should be complemented by game-specific drills (e.g., large-sided games) to replicate the competitive demand for high-velocity efforts (Gabbett, T. J., & Mulvey, 2013). To ensure an optimal amount of high-intensity work throughout the week, practitioners should also consider implementing more dissociated work (e.g., repeated 40m sprints) (Haugen, Tønnessen, Hisdal, & Seiler, 2013; Iaia, Rampinini, & Bangsbo, 2009).

To the best of our knowledge, this study was the first to explore the differences between absolute and relative training loads in elite academy soccer players. The study challenged the commonly accepted thought that WM perform the greatest weekly training load and CD the lowest. This study also demonstrated that training sessions fail to replicate competitive demands for most GPS-derived data. However, replicating competition during training sessions is not easily achieved. As previously suggested, additional work after a training session is an alternative (Guerrero-Calderón et al., 2022). Further studies should be conducted to explore the effects of such supplementary work. In our study, a single academy soccer team was considered, with a limited number of matches. Accordingly, future research should replicate this study design in a different context (e.g., professional teams). In addition, future work should quantify relative training loads using different values such as individualized thresholds based on personalized physical capacities, or competitive most demanding sequences. These new quantifications would help to improve training prescription and individualization.

Conclusions

Our results, obtained in academy soccer players, highlighted the need to quantify relative training loads to help contextualize training programming according to the competitive demands. This study challenged previous results demonstrating that WM performed greater training loads than other positions, and CD lower training loads using absolute terms. For instance, some GPS-derived data such as the relative moderate-speed distance revealed that WM were underloaded compared to other positions, while CD performed the greatest relative training loads. Furthermore, during the microcycle, our results demonstrated that competition was only replicated for low-velocity thresholds, accelerations, and decelerations. The possible overuse of small-sided games (although critical for soccer performance) disserve the replication of high-velocity efforts. Practitioners in soccer academies, should therefore increase high-intensity demands over the week using, for example, large-sided games, dissociated situations including sprinting or more generally, high-intensity efforts or by additional work at the end of training sessions.

Key points

- Relative should be quantified over absolute training loads to contextualize training loads based on players' demands during soccer competition.
- Relative training loads could help practitioners to further individualize training contents and improve prescription.
- Players should cover greater distances in high-velocity thresholds during training to replicate competitive demands.
- Practitioners should consider adding large-sided games and dissociated work to meet high-intensity requirements.

References

- Ade, J. D., Harley, J. A., & Bradley, P. S. (2014). Physiological response, time-motion characteristics, and reproducibility of various speed-endurance drills in elite youth soccer players: Small-sided games versus generic running. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 471–479. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2013-0390>
- Akenhead, R., Harley, J. A., & Twedde, S. P. (2016). Examining the external training load of an english premier league football team with special reference to acceleration. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001343>
- Akenhead, Richard, Hayes, P. R., Thompson, K. G., & French, D. (2013). Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play. *Journal of Science and Medicine in Sport*. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.005>
- Akenhead, Richard, & Nassis, G. P. (2016). Training load and player monitoring in high-level football: Current practice and perceptions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0331>
- Baptista, I., Johansen, D., & Figueiredo, P. (2019). Positional Differences in Peak- and Accumulated- Training Load Relative to Match Load in Elite Football. *Sports*.
- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., & Krstrup, P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 159–168. <https://doi.org/10.1080/02640410802512775>
- Chmura, P., Liu, H., Andrzejewski, M., Chmura, J., Kowalczyk, E., Rokita, A., & Konefał, M. (2021). Is there meaningful influence from situational and environmental factors on the physical and technical activity of elite football players? Evidence from the data of 5 consecutive seasons of the German Bundesliga. *PLoS ONE*, 16(3 March), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247771>
- Clemente, F. M., Rabbani, A., Conte, D., Castillo, D., Afonso, J., Clark, C. C. T., ... Knechtle, B. (2019). Training/match external load ratios in professional soccer players: A full-season study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph16173057>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed; N. Hillsdale, Ed.). <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Dalen, T., Sandmæl, S., Stevens, T. G. A., Hjelde, G. H., Kjøsnes, T. N., & Wisløff, U. (2021). Differences in Acceleration and High-Intensity Activities Between Small-Sided Games and Peak Periods of Official Matches in Elite Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(7), 2018–2024.

- <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003081>
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222–227. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924294>
- Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., & Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in premier league soccer. *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1105950>
- Douchet, T., Humbertclaude, A., Cometti, C., Paizis, C., & Babault, N. (2021). Quantifying Accelerations and Decelerations in Elite Women Soccer Players during Regular In-Season Training as an Index of Training Load. *Sports*, 9(8), 109. <https://doi.org/10.3390/sports9080109>
- Gabbett, T. J., & Mulvey, M. J. (2013). Time-motion analysis of small-sided training games and competition in elite women soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(2), 543–552.
- Guerrero-Calderón, B., Fradua, L., Morcillo, J. A., & Castillo-Rodríguez, A. (2022). Analysis of the Competitive Weekly Microcycle in Elite Soccer: Comparison of Workload Behavior in Absolute and Relative Terms. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000004219>
- Haugen, T. A., Tønnessen, E., Hisdal, J., & Seiler, S. (2013). The Role and Development of Sprinting Speed in Soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 432–441.
- Iaia, M. F., Rampinini, E., & Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(3), 291–306. <https://doi.org/10.1123/ijsp.4.3.291>
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and external training load: 15 years on. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 270–273. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>
- Malone, J. J., Di Michele, R., Morgans, R., Burgess, D., Morton, J. P., & Drust, B. (2015). Seasonal training-load quantification in elite English Premier League soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 489–497. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0352>
- Mero, A., & Komi, P. V. (1986). Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. <https://doi.org/10.1007/BF00421652>
- Modric, T., Jelacic, M., & Sekulic, D. (2021). Relative training load and match outcome: Are professional soccer players actually undertrained during the in-season? *Sports*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/sports9100139>
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
- Nassis, G. P., Massey, A., Jacobsen, P., Brito, J., Randers, M. B., Castagna, C., ... Krstrup, P. (2020). Elite football of 2030 will not be the same as that of 2020: Preparing players, coaches, and support staff for the evolution. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30(6), 962–964. <https://doi.org/10.1111/sms.13681>
- Owen, A. L., Lago-Peñás, C., Gómez, M. Á., Mendes, B., & Dellal, A. (2017). Analysis of a training mesocycle and positional quantification in elite European soccer players. *International Journal of Sports Science and Coaching*. <https://doi.org/10.1177/1747954117727851>

- Riboli, A., Coratella, G., Rampichini, S., Ce, E., & Esposito, F. (2020). Area per player in small-sided games to replicate the external load and estimated physiological match demands in elite soccer players. *PLoS ONE*, *15*(9 September 2020), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229194>
- Sangnier, S., Cotte, T., Brachet, O., Coquart, J., & Tourny, C. (2019). Planning Training Workload in Football Using Small-Sided Games' Density. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *33*(10), 2801–2811. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002598>
- Vigh-Larsen, J., Dalgas, U., & Andersen, T. (2018). Position-specific acceleration and deceleration profiles in elite youth and senior soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1114–1122.
- Willmott, A. G. B., James, C. A., Bliss, A., Leftwich, R. A., & Maxwell, N. S. (2019). A comparison of two global positioning system devices for team-sport running protocols. *Journal of Biomechanics*, *83*, 324–328. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.11.044>
- Zurutuza, U., Castellano, J., Echeazarra, I., & Casamichana, D. (2017). Absolute and relative training load and its relation to fatigue in football. *Frontiers in Psychology*, *8*(JUN), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00878>

IV.5. La nécessité de considérer l'individu et ses spécificités compétitives

En accord avec notre hypothèse principale, les deux méthodes de quantification des charges de travail sont en désaccord. Cependant, nous émettions cette hypothèse pensant que les charges relatives ne montreraient aucune différence entre les postes, grâce à une construction de l'entraînement adhérent aux principes d'individualisation et de spécificité. Pourtant, les résultats démontrent que les valeurs absolues, mettant en avant des postes sous-chargés comme les défenseurs centraux, ou encore surchargés comme les milieux excentrés, proposent des résultats opposés à la méthode relative. En effet, en utilisant la méthode relative, nous pouvons observer que les milieux excentrés sont en réalité sous-entraînés par rapport à leurs exigences compétitives, quand les autres postes, dont les défenseurs centraux, sont en réalité les postes ayant les exigences les plus fortes lors de l'entraînement. De ce fait, une nouvelle compréhension de l'entraînement émerge de cette quantification, mettant en avant la nécessité d'adapter les charges d'entraînement par rapport aux caractéristiques spécifiques à l'individu. De plus, cette étude montre que bien que le développement soit recherché, et que les distances à haute intensité soient déterminantes dans le football de nos jours, ces actions ne sont que très peu reproduites dans l'entraînement. En effet, durant la semaine les distances à haute intensité devraient être augmentée afin d'assurer leur développement. Il convient de noter que ces distances ont largement augmentées ces dernières saisons et que le niveau neuromusculaire des athlètes discrimine les niveaux de pratique. La quantification des charges de manière relative permet alors une toute nouvelle compréhension de l'entraînement en football et assure l'adhésion aux principes d'individualisation, et de spécificité.

V. Discussion générale

L'objectif principal de cette thèse était d'objectiver les pratiques de planification du microcycle dans le football français, ainsi que de trouver des stratégies pour l'optimiser, permettant un développement accru des qualités physiques des joueurs en formation, tout en optimisant la performance compétitive. En accord avec l'hypothèse que nous émettions, il semblerait que la planification actuelle des contenus d'entraînement du microcycle puisse être optimisée dans le but d'améliorer le développement physique, sans provoquer d'effets néfastes sur la performance. Bien que le développement soit prioritairement recherché par les praticiens, ceux-ci ne réalisent que deux séances à charges élevées au cours de la semaine. Nos résultats ont alors montré que les charges d'entraînement pouvaient être augmentées lors du microcycle compétitif en ajoutant une journée de récupération entre les charges élevées, ou encore en modifiant l'ordre des contenus d'entraînement. Aussi, nos résultats ont montré que la séance d'entraînement typique de J-1 ne satisfaisait pas l'objectif annoncé d'affutage et ne permettait pas d'optimiser l'état de forme compétitif. Enfin, nos résultats démontraient que l'entraînement provoque des charges d'entraînement distinctes entre les athlètes, ne permettant pas la reproduction de leurs exigences compétitives.

V.1. État des lieux du microcycle

Notre enquête portait sur l'objectivation des pratiques de planification du microcycle compétitif dans les centres de formation français. Premièrement, les praticiens rapportaient mettre en avant le développement physique plutôt que le résultat compétitif. Pourtant, nos résultats ont mis en avant l'adhésion des équipes de centre de formation aux principes de la planification tactique (Tee et al., 2018). En effet, deux journées étaient orientées sur la récupération à J+1 et J+2. À la suite de cette phase de récupération, seules deux journées étaient

dédiées au développement physique, à J-4 et J-3. Enfin, les deux journées précédant la compétition voyaient une diminution de la charge de travail afin de réaliser un affutage pré-compétitif. Ces résultats nous permettent de souligner le paradoxe existant entre la volonté affichée par les praticiens d'accentuer le développement physique au sein de planification de la semaine, en comparaison de l'objectif compétitif. En effet, les deux journées dédiées au développement peuvent paraître insuffisantes pour engendrer une amélioration des qualités physiques des athlètes. Aussi, bien que le développement des qualités physiques soit recherché, les praticiens ne réalisent que peu de travail dissocié. Concernant la qualité de force, lorsque celle-ci est priorisée, nos résultats démontrent une très faible utilisation du travail de musculation du bas du corps ou de pliométrie (33,3% et 31,1% des équipes respectivement). Au cours de la semaine, les équipes réalisaient en moyenne moins d'une séance de musculation. Pourtant, ces exercices dissociés provoquent un stress neuromusculaire significatif entraînant un développement de la qualité de force (Franco-Márquez et al., 2015; J. R. Silva et al., 2015). Dans un objectif de développement, au minimum deux séances devraient être proposées aux athlètes (Ratamess et al., 2009; Rønnestad et al., 2011).

De plus, malgré une volonté de mettre en avant une qualité physique chaque jour, comme le préconise la planification tactique, les contenus d'entraînement ne semblaient pas valider cette priorisation. Les contenus dissociés, qui seraient sans doute les plus à même d'attester de l'orientation donnée au travail physique, ne montraient aucune différence d'utilisation pour la musculation bas du corps (entre J+2, J-4 et J-3), et le travail aérobic intermittent (entre J+1, J+2, J-4, J-3). Il semblerait alors que les praticiens se reposent majoritairement sur le travail intégré. Il a été proposé que les espaces de jeu (le nombre de m² disponible par joueur) pouvaient provoquer un travail plus ou moins important des qualités physiques, avec des espaces réduits favorisant la qualité de force, des grands espaces favorisant la vitesse, et entre les deux, la qualité aérobic (Riboli et al., 2020; Sangnier et al., 2019). Pourtant, notre enquête

montrait que les jeux réduits supposés favoriser le travail de force, et les jeux moyens espaces pour la qualité aérobie, ne montraient aucune différence d'utilisation entre les différents jours de la semaine. Les jeux réduits, notamment utilisés pour le développement de la qualité de force de manière intégrée, étaient également utilisés à J-1 pour l'objectif d'affutage. Aussi, nous observons alors des dissonances entre les objectifs annoncés et les contenus d'entraînement, avec des contenus qui peuvent être trop légers par rapport aux objectifs de développement, mais aussi des contenus qui peuvent être trop exigeant par rapport à l'objectif d'affutage. De ce fait, il paraît indispensable de trouver des stratégies d'augmentation de la charge de travail à travers le microcycle permettant le développement de qualités physiques ciblées, et des stratégies d'optimisation de l'état de forme compétitif.

V.2. Manipulation de la planification

Lors de trois études, nous avons cherché à manipuler la planification pour optimiser à la fois le développement des qualités physiques à travers une augmentation des charges externes, mais également une optimisation de l'état de forme compétitif. De ce fait, une étude s'est attelée à modifier la planification hebdomadaire en ajoutant une journée de récupération entre les journées de développement, et une autre en modifiant l'ordre des contenus d'entraînement de ces séances, afin d'observer les effets sur les charges externes réalisées par les joueurs et leur état de forme le jour du match. Afin de nous assurer que les séances à charges élevées comportaient des contenus d'entraînement orientés vers les qualités ciblées, nous avons fait le choix d'ajouter du travail dissocié (travail intermittent à vitesse maximale aérobie pour la séance aérobie, et travail de sprint pour la séance de vitesse). Ces modifications de la planification ont permis d'augmenter les charges de travail sur la semaine, sans provoquer d'effets négatifs sur l'état de forme le jour de la compétition.

Bien que des études antérieures aient souligné que l'affûtage à partir de J-2 jouait un rôle clé dans la planification du microcycle (Kelly et al., 2020; Los Arcos et al., 2017), nos résultats démontraient que des charges élevées pouvaient être réalisées à J-2 avec un maintien, voire une augmentation du potentiel physique compétitif. Ce résultat pourrait s'expliquer par une augmentation de la fatigue physique accumulée lorsque les séances recherchant le développement (utilisant des charges élevées) sont réalisées consécutivement comme dans la planification typique. Cela démontre alors que l'intégration d'une journée à charge réduite entre les journées de développement pourrait avoir un intérêt qui ne semble pas considéré dans le football français. En effet, d'après les modèles de GAS de Selye (Selye, 1951), et fitness-fatigue de Banister (Banister, 1991), pour que l'adaptation puisse prendre place, il est nécessaire d'imposer à l'organisme une période de récupération. De ce fait, la planification modifiée se proposait d'introduire une charge plus légère entre les deux journées à charges élevées afin de favoriser ce développement. L'entraînement à charge légère, ajouté entre les deux séances fortes, a alors pu jouer le rôle de séance de récupération active, diminuant l'impact (les dommages musculaires) d'une séance de développement sur l'autre (Darani et al., 2018). Cet aspect de récupération semble indispensable pour laisser place à l'adaptation. Nous pourrions également nous demander quel impact aurait l'ajout d'un jour de récupération passive complet entre les journées à charge élevées, en augmentant davantage les charges sur les journées élevées. En accord avec le principe fondamental de gestion de la charge de travail, cela pourrait potentiellement permettre un développement accru à long terme.

Par ailleurs, contrairement à la pensée commune liée à la théorie sous-jacente à la planification tactique, il est possible d'inverser l'ordre des qualités physiques travaillées dans la semaine. L'inversion de l'ordre des contenus d'entraînement démontre que diverses organisations du microcycle sont réalisables sans modification significative de l'état de forme le jour du match. En allant plus loin dans notre analyse des résultats liés à cette étude, ceux-ci nous montrent

l'intérêt de la planification des contenus par rapport à des objectifs précis. En effet, le fait de travailler une qualité donnée plus tôt dans la semaine a permis d'augmenter les charges externes pour les variables GPS recherchées, à savoir les distances entre 15 et 25 km/h pour la séance aérobie, et au-delà de 20 km/h pour la séance de vitesse. Cela met en avant la possibilité de planifier à l'échelle du microcycle les contenus d'entraînement en fonction du développement qui est majoritairement priorisé. Compte tenu des évolutions du football pour les efforts à haute intensité, cette étude permet de donner des recommandations sur l'ordre des séances à favoriser (Barnes et al., 2014; Lago-Peñas et al., 2022; Nassis et al., 2020). Ces distances semblent aujourd'hui discriminer le niveau de pratique (Andersson et al., 2010; Houtmeyers et al., 2020). De ce fait, il semble opportun de permettre aux joueurs de réaliser davantage ces efforts lors des entraînements, afin de faciliter leur reproduction en compétition (S. Malone, Roe, Doran, Gabbett, & Collins, 2017). Nous pouvons supposer que le fait d'effectuer de plus grandes distances à haute intensité et en sprint, notamment grâce à du travail dissocié comme nous l'avons utilisé sous forme de répétitions de 40m en sprint, pourrait développer les capacités de sprint des joueurs (Haugen, Tønnessen, Hisdal, et al., 2013). Cela pourrait alors aider les joueurs à atteindre de plus grandes vitesses pendant les matchs puisqu'il a été démontré que la vitesse maximale de sprint des joueurs influençait directement leur performance dans les conditions compétitives (Mendez-Villanueva, Buchheit, Simpson, Peltola, & Bourdon, 2011). Un potentiel de vitesse plus important pourrait conduire à une charge neuromusculaire relative plus faible pendant les matchs et, par conséquent, à une diminution du développement de la fatigue et du risque de blessure (Mendez-Villanueva, Buchheit, Simpson, & Bourdon, 2013). Aussi, plusieurs études ont montré que les joueurs qui effectuaient un faible volume de distance de haute intensité présentaient un risque accru de blessures sans contact (S. Malone et al., 2018). Par conséquent, une planification hebdomadaire particulière permettant aux joueurs d'effectuer de plus grandes distances à haute vitesse pourrait aider à construire une charge de

travail chronique supérieure, diminuant ainsi le risque de blessure (Gabbett, 2016). De ce fait, nous pourrions suggérer de placer la séance de vitesse en début de semaine.

Bien que le développement soit prioritaire dans les centres de formation, la compétition ne peut être mise de côté. Toutes les augmentations de la charge de travail qui ont été proposées ne pourront satisfaire le second objectif de performance compétitive qu'à condition que l'entraînement de veille de match (J-1) satisfasse le principe d'affutage comme indiqué dans l'enquête. Il nous semble alors opportun de questionner le terme même d'affutage au sein du microcycle dans le football. En effet, ce terme laisse à penser qu'il sera nécessaire de diminuer le volume, que nous avons mis en évidence comme étant une stratégie efficace, mais aussi de maintenir l'intensité (Mujika, 2010). Or de ce point de vue, d'après les contenus utilisés par les praticiens lors de l'entraînement de J-1, nous pouvons penser que ceux-ci sont en accord avec ces principes. En effet, l'utilisation de travail de vivacité et de jeux réduits, peut permettre la validation du procédé d'affutage du fait que ce sont des contenus intenses par nature (Sarmiento et al., 2018). Comme les praticiens réalisent généralement cette séance sur une durée relativement courte (environ 60min), nous aurions pu émettre l'hypothèse que cette séance satisfaisait l'objectif annoncé d'affutage. Or cette séance a pour but favoriser la récupération afin de performer en compétition dans un temps très court. De ce fait, cette séance devrait être perçue comme une séance de récupération (avec une diminution du volume et de l'intensité) et non d'affutage (diminution du volume uniquement). Les contenus d'entraînement utilisés, notamment les jeux réduits, étant utilisés à d'autres moments de la semaine pour des objectifs de développement physique, engendrent de nombreux changements de direction pouvant mener à une fatigue importante (R. Akenhead et al., 2015; Hill-Haas et al., 2011). De ce fait, notre étude ayant exploré l'impact du volume d'entraînement lors de la veille de match montre que les staffs devraient se tourner vers des composantes plus tactiques, comme les coups de

ped arrêté, ou encore l'organisation collective, sans demandes physiques intenses comme le laisse penser le principe de l'affutage.

Grâce à ces études expérimentales, nous pourrions proposer de mettre de côté la planification typique rapportée à travers l'enquête, au profit des organisations du microcycle que nous avons testées. Cependant, dans ce travail de thèse, nous souhaitons mettre en avant la nécessité de se détacher de modèles de planification rigides au profit d'une adhésion aux principes fondamentaux de l'entraînement. En effet, dire que ces modèles sont supérieurs à la planification typique d'après les résultats que nous avons obtenus serait un raccourci facile. Cette limite est inhérente aux études liées à la planification. En effet, dans l'étude de Rhea et al. les sujets testés montraient des gains de force supérieurs grâce à la planification ondulée en comparaison de la planification traditionnelle. Cependant, les auteurs avaient spécifié que les sujets choisis avaient une expérience en musculation qui se rapprochait d'une utilisation d'une planification traditionnelle (Rhea, Phillips, et al., 2003). Il est alors complexe de conclure sur la supériorité d'une méthode par rapport à une autre quand le principe fondamental de variation a pu jouer dans ces résultats. En effet, les joueurs testés dans notre étude, ayant une longue expérience dans l'utilisation de la planification typique, pourraient avoir eu des gains liés à la variation de planification, plus que grâce au modèle de planification en lui-même. Pour rappel, des études dans le football professionnel ont montré que les variations de charge de travail entre les semaines, et à l'intérieur des semaines étaient quasi inexistantes (Los Arcos et al., 2017). Proposer alors de remplacer la planification typique par une planification ajoutant une journée de récupération entre les séances à charge élevées, modifiant l'ordre des contenus d'entraînement, ou diminuant le volume d'entraînement sur la séance de veille de match ne modifierait pas le problème principal lié à l'utilisation d'une planification à l'échelle du microcycle, à savoir le manque de variation à long terme et la progressivité des charges

d'entraînement. La planification en football devrait alors proposer des variations entre les microcycles afin d'optimiser le développement physique et les performances des athlètes.

Aussi, bien que tous ces résultats soient déterminants pour optimiser la planification du microcycle afin d'améliorer le développement physique des joueurs en centre de formation, il est également nécessaire de s'assurer que l'entraînement prend en compte l'individu et ses spécificités. Le football se caractérise par des postes variés qui comporte des exigences compétitives distinctes (Di Salvo et al., 2007). Dans le but de permettre aux joueurs d'améliorer leurs performances en match, les entraînements doivent prendre en compte ces exigences positionnelles.

V.3. Perspectives d'entraînement

Dans un souci de développement physique satisfaisant les principes d'individualisation et de spécificité, la quantification des charges d'entraînement en utilisant des valeurs relatives aux performances compétitives individuelles des athlètes a été explorée. Notre dernière étude avait donc pour objectif de comparer les conclusions issues de la quantification des charges de travail de manière relative, par rapport à une quantification de manière absolue. Dans le cas où l'entraînement recréerait les exigences compétitives des athlètes, aucune différence n'existerait entre les postes en utilisant la quantification relative. Cette étude nous a alors permis de montrer que l'entraînement ne recréait pas les exigences compétitives de manière identique pour tous les postes, certains étant sous entraînés. Dans l'idéal, chaque joueur devrait se voir proposer des contenus spécifiques à ses demandes compétitives, en plus d'être individualisé selon sa réponse à ceux-ci. Pourtant, l'entraînement en football peine à satisfaire ces objectifs notamment du fait de la prescription collective des charges de travail. De ce fait, la possibilité d'individualisation, et de spécificité est limitée. Afin que l'entraînement en football puisse

satisfaire les principes fondamentaux d'individualisation et de spécificité, il semble indispensable de réduire la part collective pour augmenter la part individuelle. Bien que l'entraînement collectif soit une nécessité pour optimiser le développement tactique de l'équipe et la performance compétitive, d'un point de vue physique, l'entraînement devrait être considéré individuellement. Cela pourrait alors prendre la forme de travail individualisé sur une partie de séance pour augmenter, ou diminuer la charge de travail selon la reproduction des exigences compétitives dont fait preuve l'athlète, mais également sa réponse à l'entraînement. Il semblerait alors que ce ne soit qu'en satisfaisant le principe fondamental d'individualisation de l'entraînement que les autres principes puissent être satisfaits.

Augmenter la part de travail dissocié

Notre étude sur les charges d'entraînement relatives montrait également que les joueurs avaient des difficultés à recréer leurs exigences compétitives, pour les distances parcourues à haute intensité. De plus, certains postes étaient sous entraînés en comparaison de leurs partenaires pour ces intensités. L'ajout de travail dissocié pourrait permettre de palier à cette problématique. Le travail dissocié permet d'individualiser facilement les charges de travail, que ce soit en musculation en utilisant le concept de répétition maximal (Ratamess et al., 2009), ou en travail de course à pied en utilisant des pourcentages de $\dot{V}O_2\text{max}$ ou de VMA (Dupont, Akakpo, & Berthoin, 2004). De plus, le travail dissocié pourrait permettre un développement optimisé des qualités physiques déterminantes au football moderne. En effet, le fait que les distances parcourues à haute intensité discriminent le niveau de pratique laisse sous-entendre des différences de niveau physique. Il a été montré que les qualités neuromusculaires des joueurs de haut niveau se détachaient des joueurs de niveaux plus faibles, et que celles-ci étaient en hausse (Cometti et al., 2001; Cotte & Chatard, 2011). En effet, les évolutions du football semblent se porter prioritairement sur les capacités neuromusculaires. Lorsque l'on observe les

évolutions du niveau cardiovasculaire entre 1989 et 2012, les valeurs de $\dot{V}O_2\text{max}$ n'ont pas changé chez les joueurs de football de haut niveau (Tønnessen, Hem, Leirstein, Haugen, & Seiler, 2013). Pourtant, lorsque l'on observe les capacités de sprint, la vitesse maximale atteinte a augmenté de 1,3% entre 1995 et 2010 (Haugen, Tønnessen, & Seiler, 2013). De plus, la force maximale isocinétique a également augmenté de près de 11,7% pour les extenseurs du genou entre 2001 (Cometti et al., 2001) et 2011 (Cotte & Chatard, 2011). Ces résultats montrent alors que le développement neuromusculaire devrait être une priorité dans le microcycle. Pourtant, les résultats de l'enquête montrent une utilisation limitée des séances de musculation (moins d'une séance par équipe par semaine en moyenne). Ces résultats semblent alors ne pas être en accord avec la volonté de développer le potentiel physique des athlètes. Pourtant, des recommandations sur l'entraînement de force sont données depuis longtemps (Ratamess et al., 2009). Si l'on considère uniquement l'aspect fréquence d'entraînement, il a été montré que la réalisation d'une à deux séances d'entraînement de force chez des personnes ayant une expérience dans ce type de séance était recommandée pour maintenir un niveau de force, et non le développer (Graves et al., 1988). Afin d'améliorer les performances neuromusculaires, il semble indispensable d'augmenter le volume d'entraînement de force et de pliométrie. Ces augmentations favoriseront alors les mécanismes de production de force, comme la modification de l'architecture musculaire (la surface de section musculaire, la myotypologie, l'angle de pennation, la longueur des fibres, le cycle étirement raccourcissement (Finer, Simmons, & Spudich, 1994; Gulch, 1994; Knapik, Mawdsley, & Ramos, 1983)), mais aussi les facteurs nerveux (le recrutement, le taux de décharge, la synchronisation (Henneman, Somjen, & Carpenter, 1965; Sakamoto & Sinclair, 2006)).

L'utilisation de la stratégie de microdosage

Le manque de temps d'entraînement en centre de formation est une problématique difficile à résoudre. Pourtant, certaines nouvelles stratégies pourraient permettre d'obtenir des stimuli d'entraînement neuromusculaires suffisant pour provoquer un développement des athlètes. Récemment, la stratégie de microdosage a reçu une attention particulière dans la littérature scientifique. Le microdosage a été défini comme « la division du volume total au sein d'un microcycle, à travers des épisodes fréquents, de courte durée et répétés » (Cuthbert et al., 2021). Pourtant, l'application du microdosage en centre de formation ne devrait pas remplacer les séances dédiées au développement d'une qualité mais plutôt venir s'y ajouter afin d'augmenter la charge de travail et ainsi mettre l'accent sur le développement de qualités physiques spécifiques (Comer, Leshner, Puls, & Serrano, 2022). Cette stratégie a montré des effets positifs dans l'amélioration de la vitesse (Cuadrado-Peñañiel et al., 2023) et de la force (Cuthbert et al., 2021). Là où une séance d'entraînement dédiée à une qualité, comme les séances de musculation, pourraient durer entre 45 min et 60min, une séance microdosée ne dépasserait pas les 20min et permettrait donc d'ajouter ce travail juste avant, ou juste après la séance. Afin d'améliorer le développement de la qualité de vitesse, et donc de production de distance à haute intensité, il serait possible d'ajouter des répétitions de sprints en fin d'entraînement pour les joueurs dont la charge de travail relative est inférieure à leurs partenaires. Cette stratégie pourrait donc permettre d'individualiser la charge de travail, en ajoutant une microdose pour les joueurs sous entraînés pour une qualité précise, et de laisser au repos les joueurs surentraînés.

L'utilisation de modèles de planification à plus long terme

Afin de valider tous les principes fondamentaux de l'entraînement, il semblerait que réfléchir à plus long terme sur la planification des charges d'entraînement puisse être une solution

intéressante. Nous pouvons en effet nous demander si la planification, telle qu'elle est aujourd'hui proposée au sein des centres de formation français, permet un réel développement des qualités physiques des joueurs. Cette interrogation revient à questionner la fiabilité du modèle de planification tactique dans le développement physique, qui n'a jamais été démontrée (Tee et al., 2018). D'après ce qui est proposé par le modèle, chaque qualité physique est travaillée lors de journées différentes afin d'optimiser leur sollicitation (Tee et al., 2018). Lorsqu'une qualité est travaillée, les stimuli sont-ils maintenus suffisamment longtemps pour perturber l'homéostasie et produire un réel développement physique ? Afin de produire une adaptation au stress, nous savons que le stimulus doit être maintenu sur une durée suffisante pour mener au stade de résistance (Selye, 1956). Or une modification des objectifs physiques au jour le jour ne le permet sans doute pas.

Il semble nécessaire de maintenir des charges d'entraînement spécifiques sur des durées plus importantes pour favoriser le développement d'une qualité précise. En définitive, cela reviendrait à rétablir le modèle de planification en bloc au sein du football. Cela permettrait de travailler une qualité physique précise, et des qualités connexes très proches, comme proposé originellement par Verkoshansky (Stone et al., 2021; Verkoshansky, 1999). Cependant ce modèle n'est pas sans problématique. Comme évoqué par Issurin, la planification en bloc repose sur la capacité de rétention des qualités travaillées dans les cycles précédents (Issurin, 2010). Sans cette capacité, nous perdrons les bénéfices des cycles précédents dédiés à d'autres qualités physiques. Cela obligerait les praticiens à travailler toutes les qualités en même temps, ce qui est actuellement réalisé dans le microcycle compétitif en football. Or la problématique majeure liée à la capacité de rétention est la durée pendant laquelle celle-ci opère. Tout d'abord, la durée de rétention est spécifique aux qualités physiques (Mujika & Padilla, 2000). Cette durée variera également selon les charges d'entraînement qui lui auront été consacrées, mais

aussi de manière individuelle (de façon inter- et intra-individuelle), selon les principes de charge interne (Stone et al., 2021).

De plus, la planification en bloc pourrait poser des problèmes d'un point de vue risque de blessure. Au vu de la littérature récente, il semblerait que la charge chronique notamment pour les distances parcourues à haute intensité soit un élément fondamental de la prévention des blessures, notamment au niveau des ischio-jambiers (S. Malone et al., 2018). Cependant, dans le cas de l'utilisation de la planification en bloc, si l'objectif de développement physique se porte sur la qualité de vitesse, nous pouvons logiquement penser que les distances parcourues à haute intensité vont croître de manière exponentielle, en comparaison d'un cycle qui rechercherait le développement de la qualité de force. De ce fait, le ratio charge aiguë : charge chronique pour ces distances montrerait un risque de blessure très important (Gabbett & Ullah, 2012). La littérature suggère que ce risque pourrait être réduit si les athlètes maintenaient des demandes à haute intensité élevées, même lors des cycles ne recherchant pas leur développement. Cela signifie alors que la planification de blocs d'entraînement n'est pas forcément une solution idéale dans le football d'un point de vue prévention des blessures, alors que c'est une solution intéressante pour le développement physique. D'un autre côté, la littérature suggère également que le niveau physique des joueurs permet de jouer le rôle de médiateur dans ce risque de blessure. En effet, des qualités physiques supérieures semblent offrir un effet protecteur contre les variations de charge (Gabbett, 2020; S. Malone et al., 2018). Finalement, certains joueurs auraient une capacité accrue à encaisser les variations de charge. Cela signifie-t-il que les joueurs avec des qualités physiques supérieures, capables d'encaisser ces variations, pourraient soutenir la planification en bloc, et donc optimiser leur développement physique ? Les joueurs avec des qualités physiques moindres, ne pourraient alors pas soutenir ce modèle ?

La planification au niveau individuel

Tous ces résultats nous amènent alors à questionner l'essence même de la planification dans les sports collectifs. L'entraînement sportif représente une activité imprévisible par nature dont les entraîneurs tentent de prédire les conséquences (Barker & Bailey, 2015). Pourtant, la nature hautement complexe et imprévisible de l'adaptation individuelle à tout stress rend paradoxale l'hypothèse des modèles de planifications selon laquelle l'entraînement sportif est optimisé lorsqu'il est planifié à l'avance (Kiely, 2010). Afin de pouvoir se reposer sur les modèles de planification, il est indispensable de connaître avec certitude 1) les durées de rétention et la vitesse à laquelle la condition physique décroît suivant l'arrêt du développement d'une qualité précise, 2) comment l'entraînement actuel interagit avec les entraînements passés, que ce soit pour accélérer ou ralentir l'apparition de l'érosion des qualités précédemment travaillées, 3) comment cela interagit avec les caractéristiques propres à l'individu (expérience, génétique) (Kiely, 2010). Sans ces connaissances, n'existant aujourd'hui pas, il semble que les prédictions faites par les modèles de planification soient incompatibles avec les variétés des réponses inter- et intra-individuelles. Tant que la planification ne considérera pas l'individu au centre du processus d'entraînement, en permettant l'adaptation des charges de travail au sein d'entraînements individuels, il ne sera pas possible de satisfaire les principes fondamentaux de l'entraînement à travers quelque modèle de planification que ce soit. Cela ne signifie pas pour autant que les plans d'entraînement ne peuvent exister. Cependant, ceux-ci doivent se reposer sur les principes fondamentaux, et non sur les modèles proposés depuis des décennies.

Comme démontré dans cette discussion, malgré toutes les définitions données à ce jour de la planification (Kataoka et al., 2021), il nous semble que celles-ci ne correspondent pas aux contraintes liées au sport collectif, et qu'elles ne donnent pas les bonnes orientations aux entraîneurs. En effet, certaines études définissent la planification comme le management du stress à long terme (Harries et al., 2015; Steven S Plisk & Stone, 2003), quand d'autres mettent

en avant la variation des paramètres d'entraînement à court terme (Bradley-Popovich & Haff, 2001). Toutes ces définitions semblent oublier alors de mentionner les principes fondamentaux de l'entraînement, qui doivent dicter le plan d'entraînement. Sur la base de toutes ces observations, nous proposons alors la définition suivante : **« la construction du plan d'entraînement est le principe par lequel les praticiens gèrent la charge de travail de leurs athlètes, en tenant en compte des variations inter- et intra-individuelles dans les réponses aux stimuli spécifiques aux demandes compétitives de ceux-ci. Cette gestion de la charge de travail est effectuée par un suivi quotidien de la charge externe et interne (physiologique et psychologique, de manière objective et subjective), permettant d'augmenter progressivement les charges de travail. Le plan d'entraînement doit alors permettre une variation des charges et des contenus d'entraînement à travers une périodicité du plan menant à des phases de développement et de récupération. »**

VI. Conclusion et perspectives

L'objectif de ce travail de thèse était d'objectiver et d'optimiser les pratiques de planification de l'entraînement dans un contexte imposé en centre de formation élite de football. D'après nos résultats, d'autres organisations que la planification typique employée au sein du football, quel que soit le niveau, sont possibles. Bien que la majorité des équipes adhère au principe de la planification tactique, nos résultats ont montré que d'autres planifications des charges de travail, mais aussi de l'ordre des séances étaient plus efficaces. Cela a permis d'augmenter les charges externes produites au cours de la semaine, avec des états de forme compétitifs comparables, voir optimisés. De plus, nous avons mis en avant la nécessité de s'écarter des pratiques courantes de programmation des contenus d'entraînement de veille de match afin de satisfaire l'objectif de performance compétitive. Pourtant, nos travaux ne mettent pas en avant

la nécessité d'adhérer aux nouvelles organisations que nous avons testés lors de ce travail de thèse. Bien au contraire, nous mettons en avant la nécessité d'adhérer aux principes fondamentaux de l'entraînement plutôt qu'à des méthodes de planification. Bien que les études expérimentales aient montré des résultats intéressants pour le développement des joueurs en formation, il nous est impossible de conclure sur la supériorité de ces méthodes. Il nous semble plus pertinent d'avancer la capacité du principe fondamental de variation de permettre la production de charges externes supérieures et d'état de forme optimisé. De plus, la quantification des charges de travail de manière relative nous a montré que l'entraînement en football peine à reproduire la spécificité compétitive au niveau des différents postes, mais aussi des demandes physiques. De ce fait, le principe d'individualisation devrait être le premier facteur à prendre en compte dans la construction du plan d'entraînement, en ajustant les charges de travail selon le processus d'adaptation de l'individu. En validant ce principe, il sera alors possible de valider tous les autres principes fondamentaux de l'entraînement que sont la spécificité, la variation, la gestion des charges d'entraînement, la réversibilité et la périodicité. Dès lors, les prochaines études scientifiques devraient vérifier nos résultats dans d'autres contextes d'entraînement comme chez les professionnels afin d'observer si la variation des modèles de planification pourrait optimiser le maintien des qualités physiques et l'état de forme compétitif. Aussi, les recherches futures devraient étendre les durées expérimentales pour observer l'impact de la variation des modèles de planification sur le développement physique des athlètes. Enfin, il serait nécessaire de tester l'impact de planifications individualisées sur le développement physique des athlètes, ainsi que sur la performance collective, indispensable en football.

VII. Bibliographie

- Ade, J. D., Drust, B., Morgan, O. J., & Bradley, P. S. (2020). Physiological characteristics and acute fatigue associated with position-specific speed endurance soccer drills: production vs maintenance training. *Science and Medicine in Football*, 00(00), 6–17. <https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1789202>
- Ade, J. D., Harley, J. A., & Bradley, P. S. (2014). Physiological response, time-motion characteristics, and reproducibility of various speed-endurance drills in elite youth soccer players: Small-sided games versus generic running. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 471–479. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2013-0390>
- Akenhead, R., French, D., Thompson, K. G., & Hayes, P. R. (2015). The physiological consequences of acceleration during shuttle running. *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1389968>
- Akenhead, R., Harley, J. A., & Tweddle, S. P. (2016). Examining the external training load of an english premier league football team with special reference to acceleration. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(9), 2424–2432. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001343>
- Akenhead, Richard, Hayes, P. R., Thompson, K. G., & French, D. (2013). Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play. *Journal of Science and Medicine in Sport*. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.005>
- Akenhead, Richard, & Nassis, G. P. (2016). Training load and player monitoring in high-level football: Current practice and perceptions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0331>

- Akubat, I., Patel, E., Barrett, S., & Abt, G. (2012). Methods of monitoring the training and match load and their relationship to changes in fitness in professional youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.712711>
- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *17*(7), 705–729. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0813-1>
- Allerheiligen, B. (2003). In-season strength training for power athletes. *Strength and Conditioning Journal*, *25*(3), 23–28.
- Amiri-Khorasani, M., Sahebozamani, M., Tabrizi, K. G., & Yusof, A. B. (2010). Acute effect of different stretching methods on Illinois agility test in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf049c>
- Amiridis, L. G., & et al. (1996). Co-activation & tension-regulating phenomena during isokinetic knee ext in sedentary & highly skilled humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, *73*, 149–156.
- Anderson, L., Orme, P., Di Michele, R., Close, G. L., Morgans, R., Drust, B., & Morton, J. P. (2016). Quantification of training load during one-, two- and three-game week schedules in professional soccer players from the English Premier League: implications for carbohydrate periodisation. *Journal of Sports Sciences*, *34*(13), 1250–1259. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1106574>
- Andersson, H. Å., Randers, M. B., Heiner-Møller, A., Krstrup, P., & Mohr, M. (2010). Elite female soccer players perform more high-intensity running when playing in international games compared with domestic league games. *Journal of Strength and Conditioning*

Research, 24(4), 912–919. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d09f21>

- Andry, N. (1743). *Orthopaedia: or The Art of Correcting and Preventing Deformities in Children*. London: A. Miller.
- Arroyo-Toledo, J. J., Clemente, V. J., & González--Ravé, J. (2013). The effects of ten weeks block and reverse periodization training on swimming performance and body composition of moderately trained female swimmers. *J. Swimming Research*, 21, 1.
- Arroyo-Toledo, J. J., Clemente, V. J., González-Rave, J. M., Ramos Campo, D., & Sortwell, A. (2013). Comparison between traditional and reverse periodization: swimming performance and specific strength values. *International Journal of Swimming Kinetics*, 2(1), 87–96.
- Baker, D., Wilson, G., & Carlyon, R. (1994). The Effect on Strength of Manipulating Volume and Intensity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 8(4), 235–242.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krustup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play. *Journal of Sports Sciences El Reilly & Thomas*.
<https://doi.org/10.1080/02640410500482529>
- Bangsbo, J., Nørregaard, L., & Thorsø, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 16(2), 110–116.
- Banister, E. W. (1991). Modeling elite athletic performance. *Physiological Testing of Elite Athletes*, 403–424.
- Banister, E. W., Carter, J. B., & Zarkadas, P. C. (1999). Training theory and taper: Validation in triathlon athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 79(2), 182–191. <https://doi.org/10.1007/s004210050493>

- Baptista, I., Johansen, D., & Figueiredo, P. (2019). Positional Differences in Peak- and Accumulated- Training Load Relative to Match Load in Elite Football. *Sports*.
- Barker, E., & Bailey, J. (2015). There's more to coaching than the context: a Bourdieusian account of an embodied athlete. *Sports Coaching Review*, 4(1), 41–57.
<https://doi.org/10.1080/21640629.2015.1121691>
- Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M., & Bradley, P. S. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375695>
- Beato, M., Drust, B., & Iacono, A. Dello. (2021). Implementing High-speed Running and Sprinting Training in Professional Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 42(4), 295–299. <https://doi.org/10.1055/a-1302-7968>
- Bengtsson, H., Ekstrand, J., & Hägglund, M. (2013). Muscle injury rates in professional football increase with fixture congestion: An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British Journal of Sports Medicine*.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092383>
- Bergström, J., & Hultman, E. (1967). A study of glycogen metabolism in man. *J Clin Lab Invest*, 19(3), 218–229.
- Berryman, J. W. (1992). *Exercise and the medical tradition from Hippocrates through antebellum America: a review essay*. Urbana: J.W. Berryman & R.J. Park.
- Bompa, T., & Buzzichelli, C. A. (2015). *Periodization Training for Sports*. Human Kinetics Publishers Inc.
- Bompa, T., & Haff, G. G. (2019). *Periodization: Theory and Methodology of Training, 6th Edition*. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000554581.71065.23>

- Bondarchuk, A. (2008). *Transfer of Training in Sports* (p. 238). p. 238.
- Borresen, J., & Ian Lambert, M. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779–795.
<https://doi.org/10.2165/11317780-0000000000-00000>
- Bosquet, L., Montpetit, J., Arvisais, D., & Mujika, I. (2007). Effects of tapering on performance: A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*.
<https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31806010e0>
- Boullosa, D., Casado, A., Claudino, J. G., Jiménez-Reyes, P., Ravé, G., Castaño-Zambudio, A., ... Zouhal, H. (2020). Do you Play or Do you Train? Insights From Individual Sports for Training Load and Injury Risk Management in Team Sports Based on Individualization. *Frontiers in Physiology*, 11(August), 1–6.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00995>
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., ... Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, 161–170.
<https://doi.org/10.1123/IJSP.2017-0208>
- Bradley-Popovich, G. E., & Haff, G. G. (2001). Nonlinear Versus Linear Periodization Models. *Strength and Conditioning Journal*, 23(1), 42.
<https://doi.org/10.1519/00126548-200102000-00009>
- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., & Krstrup, P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 159–168. <https://doi.org/10.1080/02640410802512775>
- Brini, S., Boullosa, D., Calleja-González, J., van den Hoek, D. J., Nobari, H., & Clemente, F. M. (2022). Impact of combined versus single-mode training programs based on drop

jump and specific multidirectional repeated sprint on bio-motor ability adaptations: a parallel study design in professional basketball players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00551-w>

Brink, M. S., Visscher, C., Arends, S., Zwerver, J., Post, W. J., & Lemmink, K. A. P. M. (2010). Monitoring stress and recovery: New insights for the prevention of injuries and illnesses in elite youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.069476>

Brito, J., Hertzog, M., & Nassis, G. P. (2016). Do match-related contextual variables influence training load in highly trained soccer players? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 393–399. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001113>

Brown, L. E., & Greenwood, M. (2005). Periodization essentials and innovations in resistance training protocols. *Strength and Conditioning Journal*, 27(4), 80–85. <https://doi.org/10.1519/00126548-200508000-00014>

Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J. C., Bourdon, P. C., Voss, S. C., Hocking, J., ... Coutts, A. J. (2013). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 550–555. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.003>

Buchheit, M., Settembre, M., Hader, K., & Mchugh, D. (2023). Planning the microcycle in elite football: to rest or not to rest? *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 1–7.

Buford, T. W., Rossi, S. J., Smith, D. B., & Warren, A. J. (2007). A comparison of periodization models during nine weeks with equated volume and intensity for strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1245–1250.

- Busso, T., Benoit, H., Bonnefoy, R., Feasson, L., & Lacour, J. R. (2002). Effects of training frequency on the dynamics of performance response to a single training bout. *Journal of Applied Physiology*, *92*(2), 572–580. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00429.2001>
- Busso, T., Candau, R., & Lacour, J. (1994). Fatigue and fitness modeled from the effects of training on performance. *European Journal of Applied Physiology*, *69*, 50–54.
- Busso, T., Carasso, C., & Lacour, J. R. (1991). Adequacy of a systems structure in the modeling of training effects on performance. *Journal of Applied Physiology*, *71*(5), 2044–2049.
- Busso, T., Denis, C., Bonnefoy, R., Geysant, A., & Lacour, J. R. (1997). Modeling of adaptations to physical training by using a recursive least squares algorithm. *Journal of Applied Physiology*. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.82.5.1685>
- Butowskij. (1910). *Course on the history and methodology of physical exercises*. Moscow.
- Calvert, T. W., Banister, E. W., Savage, M. V., & Bach, T. (1976). A systems model of training for athletic performance. *Aust J Sports Med*.
- Campos-Vazquez, M. A., Toscano-Bendala, F. J., Mora-Ferrera, J. C., & Suarez-Arrones, L. J. (2017). Relationship between internal load indicators and changes on intermittent performance after the preseason in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(6), 1477–1485.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001613>
- Cardinale, M., & Varley, M. C. (2017). Wearable Training-Monitoring Technology: Applications, Challenges, and Opportunities. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, *12*(2), 255–262. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2016-0423>

- Carlile, F. (1961). The athlete and adaptation to stress. *Track Technique*, 1(5), 156–158.
- Casado, A., González-Mohino, F., González-Ravé, J. M., & Foster, C. (2022). Training Periodization, Methods, Intensity Distribution, and Volume in Highly Trained and Elite Distance Runners: A Systematic Review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(6), 820–833. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0435>
- Casamichana, D., Castellano, J., & Dellal, A. (2013). Influence of different training regimes on physical and psychological demands during small-sided soccer games: continuous vs. intermittent format. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 690–697.
- Castillo, D., Raya-González, J., Weston, M., & Yanci, J. (2019). Distribution of External Load During Acquisition Training Sessions and Match Play of a Professional Soccer Team. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Publish Ah. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003363>
- Castillo, D., Rodríguez-Fernández, A., Nakamura, F. Y., Sanchez-Sanchez, J., Ramirez-Campillo, R., Yanci, J., ... Raya-González, J. (2021). Influence of Different Small-Sided Game Formats on Physical and Physiological Demands and Physical Performance in Young Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(8), 2287–2293. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003114>
- Chalencon, S., Pichot, V., Roche, F., Lacour, J. R., Garet, M., Connes, P., ... Busso, T. (2015). Modeling of performance and ANS activity for predicting future responses to training. *European Journal of Applied Physiology*, 115(3), 589–596. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3035-2>
- Chiu, L. Z. F., & Barnes, J. L. (2003). The Fitness-Fatigue Model Revisited: Implications for Planning Short- and Long-Term Training. *Strength and Conditioning Journal*, 25(6), 42–51. <https://doi.org/10.1519/00126548-200312000-00007>

- Chmura, P., Liu, H., Andrzejewski, M., Chmura, J., Kowalczyk, E., Rokita, A., & Konefał, M. (2021). Is there meaningful influence from situational and environmental factors on the physical and technical activity of elite football players? Evidence from the data of 5 consecutive seasons of the German Bundesliga. *PLoS ONE*, *16*(3 March), 1–16.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247771>
- Clemente-Suárez, V. J., & Ramos-Campo, D. J. (2019). Effectiveness of reverse vs. Traditional linear training periodization in triathlon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(15), 1–13.
<https://doi.org/10.3390/ijerph16152807>
- Clemente, F. M., Aquino, R., Praça, G. M., Rico-González, M., Oliveira, R., Silva, A. F., ... Afonso, J. (2022). Variability of internal and external loads and technical/tactical outcomes during small-sided soccer games: A systematic review. *Biology of Sport*, *39*(3), 647–672. <https://doi.org/10.5114/BIOLSPORT.2022.107016>
- Clemente, F. M., Owen, A., Serra-Olivares, J., Nikolaidis, P. T., Van Der Linden, C. M. I., & Mendes, B. (2019). Characterization of the Weekly External Load Profile of Professional Soccer Teams from Portugal and the Netherlands. *Journal of Human Kinetics*, *66*, 155–164. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0054>
- Clemente, F. M., Rabbani, A., Conte, D., Castillo, D., Afonso, J., Clark, C. C. T., ... Knechtle, B. (2019). Training/match external load ratios in professional soccer players: A full-season study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph16173057>
- Clemente, F. M., Silva, R., Castillo, D., Arcos, A. L., Mendes, B., & Afonso, J. (2020). Weekly load variations of distance-based variables in professional soccer players: A full-season study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*,

17(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph17093300>

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed; N. Hillsdale, Ed.). <https://doi.org/10.4324/9780203771587>

Combe, A. (1836). *The principles of physiology applied to the preservation of health, and the improvement of physical and mental education*. New York: Harper.

Comer, M., Leshner, T., Puls, G., & Serrano, B. (2022). Microdosing: A Practical Approach to Programming in Professional Basketball. *Advances in Orthopedics and Sports Medicine*, 2022(1), 1–5. <https://doi.org/10.37722/AOASM.2022101>

Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 22(1), 45–51. <https://doi.org/10.1055/s-2001-11331>

Coppalle, S., Ravé, G., Moran, J., Salhi, I., Ben Abderrahman, A., Zouita, S., ... Zouhal, H. (2021). Internal and External Training Load in Under-19 versus Professional Soccer Players during the In-Season Period. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph18020558>

Cotte, T., & Chatard, J. C. (2011). Isokinetic strength and sprint times in English Premier League football players. *Biology of Sport*, 28(2), 89–94. <https://doi.org/10.5604/942736>

Counsilman, B., & Counsilman, J. (1991). The residual effects of training. *The Journal of Swimming Research*, 7, 5–12.

Coutinho, D., Gonçalves, B., Figueira, B., Abade, E., Marcelino, R., & Sampaio, J. (2015). Typical weekly workload of under 15, under 17, and under 19 elite Portuguese football players. *Journal of Sports Sciences*, 33(12), 1229–1237.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1022575>

- Coyle, E. F., Martin, W. H., Sinacore, D. R., Joyner, M. J., Hagberg, J. M., & Holloszy, J. O. (1984). Time course of loss of adaptations after stopping prolonged intense endurance training. *Journal of Applied Physiology Respiratory Environmental and Exercise Physiology*, 57(6), 1857–1864. <https://doi.org/10.1152/jappl.1984.57.6.1857>
- Cross, M. J., Williams, S., Trewartha, G., Kemp, S. P. T., & Stokes, K. A. (2016). The influence of in-season training loads on injury risk in professional rugby union. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0187>
- Cross, R., Siegler, J., Marshall, P., & Lovell, R. (2019). Scheduling of training and recovery during the in-season weekly micro-cycle: Insights from team sport practitioners. *European Journal of Sport Science*. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1595740>
- Cuadrado-Peñañiel, V., Castaño-Zambudio, A., Martínez-Aranda, L. M., González-Hernández, J. M., Martín-Acero, R., & Jiménez-Reyes, P. (2023). Microdosing Sprint Distribution as an Alternative to Achieve Better Sprint Performance in Field Hockey Players. *Sensors*, 23(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/s23020650>
- Cunanan, A. J., DeWeese, B. H., Wagle, J. P., Carroll, K. M., Sausaman, R., Hornsby, W. G., ... Stone, M. H. (2018). The General Adaptation Syndrome: A Foundation for the Concept of Periodization. *Sports Medicine*, 48(4), 787–797. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0855-3>
- Cuthbert, M., Haff, G. G., Arent, S. M., Ripley, N., McMahon, J. J., Evans, M., & Comfort, P. (2021). Effects of Variations in Resistance Training Frequency on Strength Development in Well-Trained Populations and Implications for In-Season Athlete Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 51(9), 1967–1982.

<https://doi.org/10.1007/s40279-021-01460-7>

Dalen, T., Sandmæl, S., Stevens, T. G. ., Hjelde, G. H., Kjøsnes, T. N., & Wisløff, U. (2021). Differences in Acceleration and High-Intensity Activities Between Small-Sided Games and Peak Periods of Official Matches in Elite Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(7), 2018–2024.

<https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003081>

Darani, M. S. M., Abedi, B., & Fatolahi, H. (2018). The effect of active and passive recovery on creatine kinase and C-reactive protein after an exercise session in football players. *International Archives of Health Sciences*, 5(1), 1.

https://doi.org/10.4103/iahs.iahs_31_17

Delecroix, B., Mccall, A., Dawson, B., Berthoin, S., & Dupont, G. (2019). Workload monotony, strain and non-contact injury incidence in professional football players. *Science and Medicine in Football*, 3(2), 105–108.

<https://doi.org/10.1080/24733938.2018.1508881>

Dellal, A., Varliette, C., Owen, A. L., Chirico, E. N., & Pialoux, V. (2012). Small-Sided Games Versus Interval Training in Amateur Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2712–2720.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824294c4>

Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222–227. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924294>

Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., & Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in premier league soccer. *International Journal of Sports Medicine*.

<https://doi.org/10.1055/s-0028-1105950>

- Díaz-Seradilla, E., Rodríguez-Fernández, A., Rodríguez-Marroyo, J. A., Castillo, D., Raya-González, J., & Vicente, J. G. V. (2022). Inter- and intra-microcycle external load analysis in female professional soccer players: A playing position approach. *PLoS ONE*, *17*(3 March), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264908>
- Douchet, T., Humbertclaude, A., Cometti, C., Paizis, C., & Babault, N. (2021). Quantifying Accelerations and Decelerations in Elite Women Soccer Players during Regular In-Season Training as an Index of Training Load. *Sports*, *9*(8), 109. <https://doi.org/10.3390/sports9080109>
- Douchet, T., Paizis, C., & Babault, N. (2022). Physical Impact Of A Typical Training Session With Different Volumes On The Day Preceding A Soccer Match. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(September).
- Douchet, T., Paizis, C., & Babault, N. (2023). Typical weekly physical periodization in French academy soccer teams: a survey. *Biology of Sport*, *40*(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.5114/biolport.2023.119988>
- Douchet, T., Paizis, C., Roche, H., & Babault, N. (2022). Positional differences in absolute vs. relative training loads in elite academy soccer players. *European Congress of Sport Science*.
- Drew, M. K., & Finch, C. F. (2016). The Relationship Between Training Load and Injury, Illness and Soreness: A Systematic and Literature Review. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0459-8>
- Dubois, R., Lyons, M., Paillard, T., Maurelli, O., & Prioux, J. (2020). Influence of weekly workload on physical, biochemical and psychological characteristics in professional rugby union players over a competitive season. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002741>

- Duhig, S., Shield, A. J., Opar, D., Gabbett, T. J., Ferguson, C., & Williams, M. (2016). Effect of high-speed running on hamstring strain injury risk. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095679>
- Dunlop, G., Ardern, C. L., Andersen, T. E., Lewin, C., Dupont, G., Ashworth, B., ... McCall, A. (2020). Return-to-Play Practices Following Hamstring Injury: A Worldwide Survey of 131 Premier League Football Teams. *Sports Medicine*, *50*(4), 829–840. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01199-2>
- Dupont, G., Akakpo, K., & Berthoin, S. (2004). The effect of in season high intensity interval training in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, *18*(3), 584–589.
- Durell, D., Puyol, T., & Barnes, J. (2003). A survey of the scientific data and training methods utilized by collegiate strength and conditioning coaches. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *17*(2), 368–373.
- Ebben, W. P., & Blackard, D. O. (2001). Strength and Conditioning Practices of National Football League Strength and Conditioning Coaches. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *15*(1), 48–58. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2001\)015<0048:SACPON>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2001)015<0048:SACPON>2.0.CO;2)
- Ebben, W. P., Carroll, R. M., & Simenz, C. J. (2004). Strength and conditioning practices of National Hockey League strength and conditioning coaches. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *18*(4), 889–897.
- Ebben, W. P., Hintz, M. J., & Simenz, C. J. (2005). Strength and conditioning practices of Major League Baseball strength and conditioning coaches. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *19*(3), 538–546.
- Ellis, M., Penny, R., Wright, B., Noon, M., Myers, T., & Akubat, I. (2021). The dose–

response relationship between training-load measures and aerobic fitness in elite
academy soccer players. *Science and Medicine in Football*, 5(2), 128–136.

<https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1817536>

Fessi, M. S., Zarrouk, N., Filetti, C., Rebai, H., Elloumi, M., & Moalla, W. (2016). Physical
and anthropometric changes during pre-and in-season in professional soccer players.
Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 56(10), 1163–1170.

Field, A., Corr, L. D., Thompson, C. J., Lucena, J. C. G., Sarmiento, H., Naughton, R. J., ...
Harper, L. D. (2022). Recovery following the extra-time period of soccer: Practitioner
perspectives and applied practices. *Biology of Sport*, 39(1), 171–179.

<https://doi.org/10.5114/BIOLSPORT.2022.104066>

Field, A., Harper, L. D., Christmas, B. C. R., Fowler, P. M., McCall, A., Paul, D. J., ...
Taylor, L. (2021). The Use of Recovery Strategies in Professional Soccer: A Worldwide
Survey. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(12), 1804–
1815. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0799>

Finer, J. T., Simmons, R. M., & Spudich, J. A. (1994). Single myosin molecule mechanics:
Piconewton forces and nanometre steps. *Nature*, 368(6467), 113–119.

<https://doi.org/10.1038/368113a0>

Fitz-Clarke, J. R., Morton, R. H., & Banister, E. W. (1991). Optimizing athletic performance
by influence curves. *Journal of Applied Physiology*.

<https://doi.org/10.1152/jappl.1991.71.3.1151>

Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome.

Medicine and Science in Sports and Exercise. [https://doi.org/10.1097/00005768-
199807000-00023](https://doi.org/10.1097/00005768-199807000-00023)

Foster, C., Daines, E., Hector, L., Snyder, A. C., & Welsh, R. (1996). Athletic performance in

relation to training load. *Wisconsin Medical Journal*.

Franco-Márquez, F., Rodríguez-Rosell, D., González-Suárez, J. M., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yañez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2015). Effects of Combined Resistance Training and Plyometrics on Physical Performance in Young Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(11), 906–914.

<https://doi.org/10.1055/s-0035-1548890>

Friedmann-Bette, B., Bauer, T., Kinscherf, R., Vorwald, S., Klute, K., Bischoff, D., ... Billeter, R. (2010). Effects of strength training with eccentric overload on muscle adaptation in male athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 108(4), 821–836.

<https://doi.org/10.1007/s00421-009-1292-2>

Fry, A. C., & Kraemer, W. J. (1997). Resistance exercise overtraining and overreaching: Neuroendocrine responses. *Sports Medicine*, 23(2), 106–129.

<https://doi.org/10.2165/00007256-199723020-00004>

Fry, A. C., Kraemer, W. J., Lynch, J. M., Triplett, N. T., & Koziris, L. P. (1994). Does short-term near-maximal intensity machine resistance exercise induce over-training? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8, 188–191.

Fry, A. C., Webber, J. M., Weiss, L. W., Fry, M. D., & Li, Y. (2000). Impaired Performances with Excessive High-Intensity Free-Weight Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(1), 54–61. <https://doi.org/10.1519/00124278-200002000-00010>

Gabbett, T. J., & Mulvey, M. J. (2013). Time-motion analysis of small-sided training games and competition in elite women soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(2), 543–552.

Gabbett, T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: Should athletes be training

smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>

Gabbett, T. J. (2020). Debunking the myths about training load, injury and performance: empirical evidence, hot topics and recommendations for practitioners. *British Journal of Sports Medicine*, 54(1), 58 LP – 66. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099784>

Gabbett, T. J., & Mulvey, M. J. (2008). Time-motion analysis of small-sided training games and competition in elite women soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181635597>

Gabbett, T. J., & Ullah, S. (2012). Relationship between running loads and soft-tissue injury in elite team sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182302023>

Gallo, T., Cormack, S., Gabbett, T., Williams, M., & Lorenzen, C. (2015). Characteristics impacting on session rating of perceived exertion training load in Australian footballers. *Journal of Sports Sciences*, 33(5), 467–475. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.947311>

Gamble, P. (2013). Strength and conditioning for team sports: Sport-specific physical preparation for high performance, second edition. In *Strength and Conditioning for Team Sports: Sport-specific physical preparation for high performance, second edition*. <https://doi.org/10.4324/9780203084250>

Gaudino, P., Alberti, G., & Iaia, F. M. (2014). Estimated metabolic and mechanical demands during different small-sided games in elite soccer players. *Human Movement Science*. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.05.006>

Gibala, M. J., Little, J. P., van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., ... Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance

- training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *Journal of Physiology*, 575(3), 901–911. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.112094>
- Grantyn, K. (1939). *Methodology of physical education*. Moscow.
- Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. H., Braith, R. W., Carpenter, D. M., & Bishop, L. E. (1988). Effect of reduced training frequency on muscular strength. *International Journal of Sports Medicine*, 9(5), 316–319. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1025031>
- Grgic, J., Mikulic, P., Podnar, H., & Pedisic, Z. (2017). Effects of linear and daily undulating periodized resistance training programs on measures of muscle hypertrophy: A systematic review and meta-analysis. *PeerJ*, 2017(8). <https://doi.org/10.7717/peerj.3695>
- Guerrero-Calderón, B., Fradua, L., Morcillo, J. A., & Castillo-Rodríguez, A. (2022). Analysis of the Competitive Weekly Microcycle in Elite Soccer: Comparison of Workload Behavior in Absolute and Relative Terms. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000004219>
- Gulch, R. W. (1994). Force-velocity relations in human skeletal muscle. *International Journal of Sports Medicine*, 15(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021103>
- Haff, G. (2004). Roundtable Periodization,2004 . *Strength and Conditioning Association*, 26(1), 50–69.
- Hakkinen, K. (1993). Changes in physical fitness profile in female volleyball players during the competitive season. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 33, 223–232.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., ... Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 89(1), 42–52. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0751-9>

- Hakkinen, K., & Komi, P. V. (1982). Specificity of training induced changes in strength performance considering the integrative functions of the neuromuscular system. *World Weightlifting*, 3, 44–46.
- Hakkinen, K., & Komi, P. V. (1981). Effect of different combined concentric and eccentric muscle work regimens on maximal strength development. *Journal of Human Movement Studies*, 7, 33–44.
- Hakkinen, K., & Komi, P. V. (1986). Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine*, 7(SUPPL. 1), 10–15. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025796>
- Hakkinen, K., & Myllyla, E. (1990). Acute effects of muscle fatigue and recovery on force production and relaxation in endurance, power and strength athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 30(1), 5–12.
- Häkkinen, K., & Pakarinen, A. (1991). Serum hormones in male strength athletes during intensive short term strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63(3–4), 194–199. <https://doi.org/10.1007/BF00233847>
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alén, M., Kauhanen, H., & Komi, P. V. (1988). Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57(2), 133–139. <https://doi.org/10.1007/BF00640652>
- Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 44(2), 139–147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- Harries, S. K., Lubans, D. R., & Callister, R. (2015). Systematic review and meta-analysis of linear and undulating periodized resistance training programs on muscular strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 1113–1125.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000712>

- Haugen, T. A., Tønnessen, E., Hisdal, J., & Seiler, S. (2013). The Role and Development of Sprinting Speed in Soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 432–441.
- Haugen, T. A., Tønnessen, E., & Seiler, S. (2013). Anaerobic Performance Testing of Professional Soccer Players 1995–2010. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 8, 148–156.
- Hellard, P., Avalos, M., Lacoste, L., Barale, F., Chatard, J. C., & Millet, G. P. (2006). Assessing the limitations of the Banister model in monitoring training. *Journal of Sports Sciences*, 24(5), 509–520. <https://doi.org/10.1080/02640410500244697>
- Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J. Neurophysiol*, 28, 560–580.
- Hickson, R. C. (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 45(2–3), 255–263. <https://doi.org/10.1007/BF00421333>
- Hickson, R. C., Foster, C., Pollock, M. L., Galassi, T. M., & Rich, S. (1985). Reduced training intensities and loss of aerobic power, endurance, and cardiac growth. *Journal of Applied Physiology*, 58(2), 492–499. <https://doi.org/10.1152/jappl.1985.58.2.492>
- Hill-Haas, S. V., Dawson, B., Impellizzeri, F. M., & Coutts, A. J. (2011). Physiology of small-sided games training in football: A systematic review. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.2165/11539740-000000000-00000>
- Hill Haas, S., Coutts, A. J., Dawson, B., & Rowsell, G. (2009). Time-motion characteristics and physiological responses of small-sided games in elite youth players: the influence of

player number and rule changes. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 16(4), 1042–1049.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181af5265>

Hodgson, C., Akenhead, R., & Thomas, K. (2014). Time-motion analysis of acceleration demands of 4v4 small-sided soccer games played on different pitch sizes. *Human Movement Science*. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.12.002>

Hoffman, J. R., & Kang, J. (2003). Strength changes during an in-season resistance-training program for football. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 109–114. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0109:SCDAIS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0109:SCDAIS>2.0.CO;2)

Hooper, S. L., & Mackinnon, L. T. (1995). Monitoring Overtraining in Athletes: Recommendations. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.2165/00007256-199520050-00003>

Houmard, J. A. (1991). Impact of Reduced Training on Performance in Endurance Athletes. *Sports Medicine*, d(6), 380–393.

Houston, M. E., Bentzen, H., & Larsen, H. (1979). Interrelationships between skeletal muscle adaptations and performance as studied by detraining and retraining. *Acta Physiologica Scandinavica*, 105(2), 163–170. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1979.tb06328.x>

Houtmeyers, K. C., Jaspers, A., Brink, M. S., Vanrenterghem, J., Varley, M. C., & Helsen, W. F. (2020). External load differences between elite youth and professional football players: ready for take-off? *Science and Medicine in Football*, 0(0), 1–5.

<https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1789201>

Howatson, G., & Adi, M. (2009). Exercise-induced Muscle Damage Following A Bout Of Sport Specific Repeated Sprints. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(8), 2419–2424. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bac52e>

- Hulin, B. T., Gabbett, T. J., Blanch, P., Chapman, P., Bailey, D., & Orchard, J. W. (2014). Spikes in acute workload are associated with increased injury risk in elite cricket fast bowlers. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092524>
- Hulin, B. T., Gabbett, T. J., Lawson, D. W., Caputi, P., & Sampson, J. A. (2016). The acute: Chronic workload ratio predicts injury: High chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(4), 231–236. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094817>
- Iaia, M. F., Rampinini, E., & Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *4*(3), 291–306. <https://doi.org/10.1123/ijsp.4.3.291>
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and external training load: 15 years on. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(2), 270–273. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A., & Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000128199.23901.2F>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., & Marcora, S. M. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Sciences*. <https://doi.org/10.1080/02640410400021278>
- Ispirlidis, I., Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., Michailidis, I., Douroudos, I., ... Taxildaris, K. (2008). Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clinical Journal of Sport Medicine*, *18*(5), 423–431. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3181818e0b>

- Issurin. (2008). *Principles and basics of advanced training of athletes*. Ultimate Athlete Concepts.
- Issurin, V. B. (2008). Block Periodization Vs Training Theory: a Review. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(1), 65–75.
- Issurin, V. B. (2009). Generalized training effects induced by athletic preparation. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49(4), 333–345.
- Issurin, V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.2165/11319770-000000000-00000>
- Issurin, V. B. (2019). Biological Background of Block Periodized Endurance Training: A Review. *Sports Medicine*, 49(1), 31–39. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-1019-9>
- Ivy, J. L. (2007). Exercise physiology: A brief history and recommendations regarding content requirements for the kinesiology major. *Quest*, 59(1), 34–41. <https://doi.org/10.1080/00336297.2007.10483534>
- Iwasaki, K. I., Zhang, R., Zuckerman, J. H., & Levine, B. D. (2003). Dose-response relationship of the cardiovascular adaptation to endurance training in healthy adults: How much training for what benefit? *Journal of Applied Physiology*, 95(4), 1575–1583. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00482.2003>
- Kaplan, T. (2010). Examination of repeated sprinting ability and fatigue index of soccer players according to their positions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 2115–2121.
- Kataoka, R., Vasenina, E., Loenneke, J., & Buckner, S. L. (2021). Periodization: Variation in the Definition and Discrepancies in Study Design. *Sports Medicine*, 51(4), 625–651. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01414-5>

- Kelly, D. M., Strudwick, A. J., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2020). Quantification of training and match-load distribution across a season in elite English Premier League soccer players. *Science and Medicine in Football*, 4(1), 59–67. <https://doi.org/10.1080/24733938.2019.1651934>
- Kempton, T., Sirotic, A. C., & Coutts, A. J. (2015). An integrated analysis of match-related fatigue in professional rugby league. *Journal of Sports Sciences*, 33(1), 39–47. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.921832>
- Kenneally, M., Casado, A., & Santos-Concejero, J. (2018). The effect of periodization and training intensity distribution on middle-and long-distance running performance: A systematic review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(9), 1114–1121. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0327>
- Kiely, J. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization: Block periodization: New horizon or a false dawn? *Sports Medicine*, 40(9), 803–805. <https://doi.org/10.2165/11535130-000000000-00000>
- Killen, N. M., Gabbett, T. J., & Jenkins, D. G. (2010). Training loads and incidence of injury during the preseason in professional rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ddafff>
- Kinugasa, T., & Kilding, A. E. (2009). A comparison of post-match recovery strategies in youth soccer players. *Journal of Stren*, 23(5), 1402–1407.
- Knapik, J. J., Mawdsley, R. H., & Ramos, M. U. (1983). Angular specificity and test mode specificity of isometric and isokinetic strength training. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 5(2), 58–65. <https://doi.org/10.2519/jospt.1983.5.2.58>
- Knicker, A., Renshaw, I., & Oldham, A. (2012). Interactive Processes Link the Multiple Symptoms of Fatigue in Sport Competition. *Yearbook of Sports Medicine*, 2012, 79–80.

<https://doi.org/10.1016/j.yspm.2012.03.011>

Kok, L. Y., Hamer, P. W., & Bishop, D. J. (2009). Enhancing muscular qualities in untrained women: Linear versus undulating periodization. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(9), 1797–1807. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a154f3>

Kotov, B. (1916). *Guidelines for track and field*. Sankt Petersburg.

Kraemer, W. J., Fleck, S. J., Dziados, J. E., Harman, E. A., Marchitelli, L. J., Gordon, S. E., ... Triplett, N. T. (1993). Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *Journal of Applied Physiology*, *75*(2), 594–604. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.2.594>

Kraemer, W. J., French, D. N., Paxton, N. J., Häkkinen, K., Volek, J. S., Sebastianelli, W. J., ... Knuttgen, H. G. (2004). Changes in exercise performance and hormonal concentrations over a big ten soccer season in starters and nonstarters. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/00124278-200402000-00018>

Kraemer, W. J., Gordon, S. E., Fleck, S. J., Marchitelli, L. J., Melloo, R., Dziados, J. E., ... Fry, A. C. (1991). Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *International Journal of Sports Medicine*, *12*(2), 228–235. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024673>

Kraemer, W. J., Marchitelli, L., Gordon, S. E., Harman, E., Dziados, J. E., Mello, R., ... Fleck, S. J. (1990). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *Journal of Applied Physiology*, *69*(4), 1442–1450. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.69.4.1442>

Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K., ... Dziados, J. E. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training

- on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology*, 78(3), 976–989. <https://doi.org/10.1152/jappl.1995.78.3.976>
- Kraemer, W. J., Ratamess, N. A., & Nindl, B. C. (2017). Recovery responses of testosterone, growth hormone, and IGF-1 after resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 122(3), 549–558. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00599.2016>
- Kramer, J., Stone, M., O'Bryant, H., Conley, M., Johnson, R., Nieman, D., ... Hoke, T. (1997). Effects of single versus multiple sets of weight training: impact of volume, intensity and variation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11(3), 143–147.
- Krustrup, P., Ortenblad, N., Nielsen, J., Nybo, L., Gunnarsson, T. P., Marcello Iaia, F., ... Bangsbo, J. (2011). Maximal voluntary contraction force, SR function and glycogen resynthesis during the first 72 h after a high-level competitive soccer game. *European Journal of Applied Physiology*, 111(12), 2987–2995. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1919-y>
- Kuipers, H., & Keizer, H. A. (1988). Overtraining in Elite Athletes: Review and Directions for the Future. *Sports Medicine: An International Journal of Applied Medicine and Science in Sport and Exercise*. <https://doi.org/10.2165/00007256-198806020-00003>
- Kulesza, A., & Poliquin, C. (1985). Periodization and strength. *Canadian Olympic Association Elite Coaches Seminar*. Montreal.
- Lago-Peñas, C., Lorenzo-Martinez, M., Lopez-Del Campo, R., Resta, R., & Rey, E. (2022). Evolution of physical and technical parameters in the Spanish LaLiga 2012-2019. *Science and Medicine in Football*.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data Published by : International Biometric Society Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2529310>. *Biometrics*, 33(1), 159–174.

- Linnanio, V., Häkkinen, K., & Komi, P. V. (1998). Neuromuscular fatigue and recovery in maximal compared to explosive strength loading. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77(1–2), 176–181.
<https://doi.org/10.1007/s004210050317>
- Little, T. (2009). Optimizing the use of soccer drills for physiological development. *Strength and Conditioning Journal*. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181a5910d>
- Los Arcos, A., Mendez-Villanueva, A., & Martínez-Santos, R. (2017). In-season training periodization of professional soccer players. *Biology of Sport*, 34(2), 149–155.
<https://doi.org/10.5114/biolSport.2017.64588>
- Lyakh, V., Mikołajec, K., Bujas, P., & Litkowycz, R. (2015). Review of Platonov's "sports Training Periodization. General Theory and its Practical Application" - Kiev: Olympic Literature, 2013 (part two). *Journal of Human Kinetics*, 46(1), 273–278.
<https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0055>
- Lyakh, V., Mikołajec, K., Bujas, P., Witkowski, Z., Zajac, T., Litkowycz, R., & Banyś, D. (2016). Periodization in team sport games - A review of current knowledge and modern trends in competitive sports. *Journal of Human Kinetics*, 54(1), 173–180.
<https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0053>
- Malone, J. J., Di Michele, R., Morgans, R., Burgess, D., Morton, J. P., & Drust, B. (2015). Seasonal training-load quantification in elite English Premier League soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 489–497.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0352>
- Malone, J. J., Murtagh, C. F., Morgans, R., Burgess, D. J., Morton, J. P., & Drust, B. (2015). Countermovement jump performance is not affected during an in-season training microcycle in elite youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning*

Research, 29(3), 752–757. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000701>

Malone, S., Owen, A., Mendes, B., Hughes, B., Collins, K., & Gabbett, T. J. (2018). High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk? *Journal of Science and Medicine in Sport*.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.05.016>

Malone, S., Owen, A., Newton, M., Mendes, B., Collins, K. D., & Gabbett, T. J. (2017). The acute:chronic workload ratio in relation to injury risk in professional soccer. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(6), 561–565.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.10.014>

Malone, S., Roe, M., Doran, D. A., Gabbett, T. J., & Collins, K. (2017). High chronic training loads and exposure to bouts of maximal velocity running reduce injury risk in elite Gaelic football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(3), 250–254.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.005>

Manchando, C., Cortell-Tormo, J. M., & Tortosa-Martinez, J. (2018). Effects of two different training periodization models on physical and physiological aspects of elite female team handball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(1), 280–287.

Mann, J., Thyfault, J., Ivey, P., & Sayers, S. (2010). The effect of autoregulatory progressive resistance exercise vs. Linear periodization on strength improvement in college athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(7), 1718–1723.

Manzi, V., D'ottavio, S., Impellizzeri, F. M., Chaouachi, A., Chamari, K., & Castagna, C. (2010). Profile of weekly training load in elite male professional basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d7552a>

Mara, J. K., Thompson, K. G., Pumpa, K. L., & Ball, N. B. (2015). Periodization and

- physical performance in elite female soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(5), 664–669. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0345>
- Maresh, C., Armstrong, L., Beregeron, M., Gabaree, C., Hoffman, J., & Hannon, D. (1994). Plasma Cortisol and Testosterone Responses During A Collegiate Swim Season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8(1), 1–4.
- Martín-García, A., Gómez Díaz, A., Bradley, P. S., Morera, F., & Casamichana, D. (2018). Quantification of a professional football team's external load using a microcycle structure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3511–3518. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002816>
- Matveiev, L. (1981). *Fundamentals of sports training*. Moscow: Progress Publisher.
- Meerson, F. (1965). Intensity of function of structures of the differentiated cell as a determinant of activity of its genetic apparatus. *Nature*, 206(4983), 483–484.
- Meeuwisse, W. H. (1994). Assessing causation in sport injury: A multifactorial model. *Clinical Journal of Sport Medicine*. <https://doi.org/10.1097/00042752-199407000-00004>
- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., & Bourdon, P. C. (2013). Match play intensity distribution in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 34(2), 101–110. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1306323>
- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., Peltola, E., & Bourdon, P. (2011). Does On-Field Sprinting Performance in Young Soccer Players Depend on How Fast They Can Run or How Fast They Do Run? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2634–2638. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318201c281>
- Mendez, C. (1553). *Book of bodily exercise*.

- Mero, A., & Komi, P. V. (1986). Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*.
<https://doi.org/10.1007/BF00421652>
- Methenitis, S. (2018). A brief review on concurrent training: From laboratory to the field. *Sports*, 6(4), 1–17. <https://doi.org/10.3390/sports6040127>
- Modric, T., Jelcic, M., & Sekulic, D. (2021). Relative training load and match outcome: Are professional soccer players actually undertrained during the in-season? *Sports*, 9(10).
<https://doi.org/10.3390/sports9100139>
- Mohr, M., Krustup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*.
<https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
- Monteiro, A., Aoki, M., Evangelista, A., & Alveno, D. (2009). Nonlinear periodization maximizes strength gains. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(4), 1321–1326.
- Moreira, A., Bilsborough, J. C., Sullivan, C. J., Cianciosi, M., Saldanha Aoki, M., & Coutts, A. J. (2015). Training periodization of professional Australian football players during an entire Australian football league season. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10, 566–571. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0326>
- Mujika, I. (2010). Intense training: The key to optimal performance before and during the taper. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01189.x>
- Mujika, I., Halson, S., Burke, L. M., Balagué, G., & Farrow, D. (2018). An integrated, multifactorial approach to periodization for optimal performance in individual and team

sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.

<https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0093>

Mujika, I., & Padilla, S. (2000). Detraining: Loss of Training-Induced Physiological and Performance Adaptations. Part I. *Sports Medicine*, 30(3), 145–154.

Murphy, W. (1914). *Athletic training*. New York.

Murray, N. B., Gabbett, T. J., Townshend, A. D., Hulin, B. T., & McLellan, C. P. (2017). Individual and combined effects of acute and chronic running loads on injury risk in elite Australian footballers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(9), 990–998. <https://doi.org/10.1111/sms.12719>

Nassis, G. P., Massey, A., Jacobsen, P., Brito, J., Randers, M. B., Castagna, C., ... Krustup, P. (2020). Elite football of 2030 will not be the same as that of 2020: Preparing players, coaches, and support staff for the evolution. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30(6), 962–964. <https://doi.org/10.1111/sms.13681>

Neary, J. P., Bhambhani, Y. N., & McKenzie, D. C. (2003). Effects of different stepwise reduction taper protocols on cycling performance. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28(4), 576–587. <https://doi.org/10.1139/h03-044>

Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2012). Recovery in Soccer. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/bf03262308>

Neufer P. Darrell. (1989). The Effect of Detraining and Reduced Training on the Physiological Adaptations to Aerobic Exercise Training. *Sports Medicine*, 8(5), 302–320.

Noon, M. R., James, R. S., Clarke, N. D., Taylor, R. J., & Thake, C. D. (2018). Next day subjective and objective recovery indices following acute low and high training loads in

academy rugby union players. *Sports*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/sports6020056>

Nummela, A., Vuorimaa, T., & Rusko, H. (2015). *Changes in force production , blood lactate and EMG activity in the 400 - m sprint.* 37–41.

<https://doi.org/10.1080/02640419208729920>

O'Brien, J., Young, W., & Finch, C. F. (2017). The use and modification of injury prevention exercises by professional youth soccer teams. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. <https://doi.org/10.1111/sms.12756>

Oliva-Lozano, J. M., Gómez-Carmona, C. D., Fortes, V., & Pino-Ortega, J. (2022). Effect of training day, match, and length of the microcycle on workload periodization in professional soccer players: A full-season study. *Biology of Sport*, 39(2), 397–406.

<https://doi.org/10.5114/biolsport.2022.106148>

Oliva-Lozano, J. M., Gómez-Carmona, C. D., Rojas-Valverde, D., Fortes, V., & Pino-Ortega, J. (2022). Effect of training day, match, and length of the microcycle on the worst-case scenarios in professional soccer players. *Research in Sports Medicine*, 30(4), 425–438.

<https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1895786>

Oliveira, R., Brito, J. P., Loureiro, N., Padinha, V., Ferreira, B., & Mendes, B. (2020). Does the distribution of the weekly training load account for the match results of elite professional soccer players? *Physiology and Behavior*, 225(May), 113118.

<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113118>

Osgnach, C., Poser, S., Bernardini, R., Rinaldo, R., & Di Prampero, P. E. (2010). Energy cost and metabolic power in elite soccer: A new match analysis approach. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ae5cfd>

Owen, A. L., Forsyth, J. J., Wong, D. P., Dellal, A., Connelly, S. P., & Chamari, K. (2015). Heart rate-based training intensity and its impact on injury incidence among elite-level

professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6), 1705–1712. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000810>

Owen, A. L., Lago-Peñís, C., Gómez, M. Á., Mendes, B., & Dellal, A. (2017). Analysis of a training mesocycle and positional quantification in elite European soccer players. *International Journal of Sports Science and Coaching*. <https://doi.org/10.1177/1747954117727851>

Papanikolaou, K., Tsimeas, P., Anagnostou, A., Varypatis, A., Mourikis, C., Tzatzakis, T., ... Fatouros, I. G. (2021). Recovery Kinetics following Small-Sided Games in Competitive Soccer Players: Does Player Density Size Matter? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(9), 1270–1280. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2020-0380>

Park, R. (1992). *Athletes and their training in Britain and America, 1800-1914*. Urbana: J.W. Berryman, & R.J. Park.

Parmar, A., Jones, T. W., & Hayes, P. R. (2021). The dose-response relationship between interval-training and VO₂max in well-trained endurance runners: A systematic review. *Journal of Sports Sciences*, 39(12), 1410–1427. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1876313>

Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2004). Maximizing Strength Development in Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 377–382. <https://doi.org/10.1519/00124278-200405000-00031>

Philostrate. (47AD). *Gymnasticus*.

Pihkala, L. (1913). *Specialization in track sports, what it is, and what it is not*.

Platonov, V. (1988). *Sports training, theory and methodology*.

- Platonov, V. (2013). *Sports training periodization. General Theory and its Practical Application*. Kiev.
- Pliauga, V., Lukonaitiene, I., Kamandulis, S., Skurvydas, A., Sakalauskas, R., Scanlan, A. T., ... Conte, D. (2018). The effect of block and traditional periodization training models on jump and sprint performance in collegiate basketball players. *Biology of Sport*, 35(4), 373–382. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2018.78058>
- Plisk, S.S. (2000). Speed, Agility, and Speed-Endurance Development in. In *Essentials of Strength Training and Conditioning* (pp. 427–470). Human Kinetics Publishers Inc.
- Plisk, Steven S, & Stone, M. H. (2003). Periodization Strategies. *Strength and Conditioning Journal*, 25(6), 19–37.
- Poliquin, C. (1988). Five steps to increasing the effectiveness of your strength training program. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 10(3), 34–39.
- Prestes, J., De Lima, C., Frollini, A. B., Donatto, F. F., & Conte, M. (2009). Comparison of linear and reverse linear periodization effects on maximal strength and body composition. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), 266–274.
- Putman, C. T., Xu, X., Gillies, E., MacLean, I. M., & Bell, G. J. (2004). Effects of strength, endurance and combined training on myosin heavy chain content and fibre-type distribution in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4–5), 376–384. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1104-7>
- Quarrie, K. L., Hopkins, W. G., Anthony, M. J., & Gill, N. D. (2013). Positional demands of international rugby union: Evaluation of player actions and movements. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(4), 353–359. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.08.005>

- Raastad, T., Owe, S. G., Paulsen, Gø., Enns, D., Overgaard, K., Crameri, R., ... Hallén, J. (2010). Changes in calpain activity, muscle structure, and function after eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(1), 86–95.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ac7afa>
- Rahnama, N., Reilly, T., & Lees, A. (2002). Injury risk associated with playing actions during competitive soccer. *British Journal of Sports Medicine*.
<https://doi.org/10.1136/bjism.36.5.354>
- Rampinini, E., Bosio, A., Ferraresi, I., Petruolo, A., Morelli, A., & Sassi, A. (2011). Match-related fatigue in soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821e9c5c>
- Ratamess, N., Alvar, B. A., & Kraemer, W. J. (2009). Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687–708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Raya-González, J., Mendez-Villanueva, A., & Los Arcos, A. (2020). Training Load Periodization In Soccer With One Official Match A Week : A Systematic Review. In *An Essential Guide to Sports Performance* (pp. 123–166).
- Rebelo, A., Brito, J., Seabra, A., Oliveira, J., Drust, B., & Krstrup, P. (2012). A new tool to measure training load in soccer training and match play. *International Journal of Sports Medicine*, 33(04), 297–304. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1297952>
- Rebelo, António, Brito, J., Seabra, A., Oliveira, J., & Krstrup, P. (2014). Physical match performance of youth football players in relation to physical capacity. *European Journal of Sport Science*, 14 Suppl(1), S148-56. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.664171>
- Reilly, T. (2005). An ergonomics model of the soccer training process. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 561–572. <https://doi.org/10.1080/02640410400021245>

- Rey, E., Corredoira, F. J., Costa, P. B., Pérez-Ferreirós, A., & Fernández-Villarino, M. A. (2020). Acute effects of training load on contractile properties during a competitive microcycle in elite soccer players. *Biology of Sport*.
<https://doi.org/10.5114/BIOLSPORT.2020.93041>
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., & Ball, S. D. (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(3), 456–464. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000053727.63505.D4>
- Rhea, M. R., Phillips, W. T., Burkett, L. N., Stone, W. J., Ball, S. D., Alvar, B. A., & Thomas, A. B. (2003). A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for local muscular endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 82–87. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0082:ACOLAD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0082:ACOLAD>2.0.CO;2)
- Rhodri S. Lloyd, J. L. O. (2014). *Strength and Conditioning for Young Athletes: Science and application*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781351115346>
- Riboli, A., Coratella, G., Rampichini, S., Ce, E., & Esposito, F. (2020). Area per player in small-sided games to replicate the external load and estimated physiological match demands in elite soccer players. *PLoS ONE*, 15(9 September 2020), 1–15.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229194>
- Riboli, A., Olthof, S. B. H., Esposito, F., & Coratella, G. (2022). Training elite youth soccer players: Area per player in small-sided games to replicate the match demands. *Biology of Sport*, 39(3), 579–598. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2022.106388>
- Robineau, J., Jouaux, T., Lacroix, M., & Babault, N. (2012). Neuromuscular fatigue induced by a 90-minute soccer game modeling. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2), 555–562. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318220dda0>

- Rogalski, B., Dawson, B., Heasman, J., & Gabbett, T. J. (2013). Training and game loads and injury risk in elite Australian footballers. *Journal of Science and Medicine in Sport*.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.004>
- Romero-caballero, A., & Olalla, D. V. (2020). Sports training : planning methods ,
methodological practices and load management in basketball , soccer , futsal and tennis .
Sport Performance and Science Reports, (July), 0–3.
- Romero-Caballero, A., Varela-Olalla, D., Collado-Lázaro, I., & Álvarez-Salvador, D. (2022).
Technical staff structure, planning methods, methodological practices and load
management in soccer. *Retos*, 43(September), 788–796.
<https://doi.org/10.47197/RETOS.V43I0.89044>
- Rønnestad, B. R., Nymark, B. S., & Raastad, T. (2011). Effects of inseason strength
maintenance training frequency in professional soccer players. *Journal of Strength and
Conditioning Research*, 25(10), 2653–2660.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822dcd96>
- Rønnestad, B. R., Øfsteng, S. J., & Ellefsen, S. (2019). Block periodization of strength and
endurance training is superior to traditional periodization in ice hockey players.
Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 29(2), 180–188.
<https://doi.org/10.1111/sms.13326>
- Ryan, C., Uthoff, A., McKenzie, C., & Cronin, J. (2022). Traditional and Modified 5-0-5
Change of Direction Test: Normative and Reliability Analysis. *Strength and
Conditioning Journal*, 44(4), 22–37. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000691>
- Sakamoto, A., & Sinclair, P. J. (2006). Effect of movement velocity on the relationship
between training load and the number of repetitions of bench press. *Journal of Strength
and Conditioning Research*, 20(3), 523–527. <https://doi.org/10.1519/16794.1>

- Sangnier, S., Cotte, T., Brachet, O., Coquart, J., & Tourny, C. (2019). Planning Training Workload in Football Using Small-Sided Games' Density. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(10), 2801–2811.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002598>
- Sarmiento, H., Clemente, F. M., Harper, L. D., Costa, I. T. da, Owen, A., & Figueiredo, A. J. (2018). Small sided games in soccer—a systematic review. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(5), 693–749.
<https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1517288>
- Schiotz, M. K., Potteiger, J. A., Huntsinger, P., & Denmark, D. (1998). The short-term effects of periodized and constant-intensity training on body composition, strength, and performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 12(3), 173–178.
- Schmidtbleicher, D., & Poliquin, C. (1987). Planification of strength training. *National Coaches Seminar*. Mont Ste-Marie.
- Schneider, V., Arnold, B., Martin, K., & Crocker, P. (1998). Detraining effects in college football players during the competitive season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 12(1), 42–45.
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2016). Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 46(11), 1689–1697. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0543-8>
- Schwellnus, M., Soligard, T., Alonso, J. M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., ... Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *British Journal of Sports Medicine*, 50(17), 1043–1052. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096572>

- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276–291. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.3.276>
- Selye, H. (1937). Studies on adaptation. *Endocrinology*, 21(2), 169–188.
- Selye, H. (1938). Experimental evidence supporting the conception of adaptation energy. *American Journal of Physiology*, 123(3), 758–765.
- Selye, H. (1951). The general adaptation syndrome. *Annual Review of Medicine*, 2(1), 327–347.
- Selye, H. (1956). *The Stress of Life* (McGraw-Hill, Ed.). New York.
- Selye, H. (1976). Forty years of stress research: principal remaining problems and misconceptions. *Canadian Medical Association Journal*, 115(1), 53–56.
- Siff, M. C., & Verkhoshansky, Y. V. (1962). Supertraining: Strength Training for Sporting Excellence. In *Supertraining Internationa*.
- Silva, H., Nakamura, Y., Castellano, J., & Marcelino, R. (2023). Training Load Within a Soccer Microcycle Week — A Systematic Review. *Strength and Conditioning Journal*, 1–10.
- Silva, J. R., Nassis, G. P., & Rebelo, A. (2015). Strength training in soccer with a specific focus on highly trained players. *Sports Medicine - Open*, 1(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0006-z>
- Simenz, C. J., Dugan, C. A., & Ebben, W. P. (2005). *Strength and conditioning practices of National Basketball Association strength and conditioning coaches*. 19(3), 495–504.
- Soligard, T., Schweltnus, M., Alonso, J. M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., ... Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 1) International Olympic

Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096581>

Sparkes, W., Turner, A., Weston, M., Russell, M., Johnston, M., & Kilduff, L. (2018). Neuromuscular, biochemical, endocrine, and mood responses to small-sided games' training in professional soccer. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002424>

Spiering, B. A., Mujika, I., Sharp, M. A., & Foulis, S. A. (2021). Maintaining Physical Performance: The Minimal Dose of Exercise Needed to Preserve Endurance and Strength Over Time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(5), 1449–1458. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003964>

Staron, R. S., Hikida, R. S., Murray, T. F., Hagerman, F. C., & Hagerman, M. T. (1989). Lipid depletion and repletion in skeletal muscle following a marathon. *Journal of the Neurological Sciences*, 94(1–3), 29–40. [https://doi.org/10.1016/0022-510X\(89\)90215-3](https://doi.org/10.1016/0022-510X(89)90215-3)

Stevens, T. G. A., de Ruiter, C. J., Twisk, J. W. R., Savelsbergh, G. J. P., & Beek, P. J. (2017). Quantification of in-season training load relative to match load in professional Dutch Eredivisie football players. *Science and Medicine in Football*, 1(2), 117–125. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1282163>

Stone, M. H., Collins, D., & Plisk, S. (2002). Strength and conditioning: Training principles: Evaluation of modes and methods of resistance training -a coaching perspective. *Sports Biomechanics*, 1(1), 79–103. <https://doi.org/10.1080/14763140208522788>

Stone, M. H., Hornsby, W. G., Haff, G. G., Fry, A. C., Suarez, D. G., Liu, J., ... Pierce, K. C. (2021). Periodization and block periodization in sports: Emphasis on strength-power training—a provocative and challenging narrative. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(8), 2351–2371. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004050>

- Stone, M. H., Keith, R. E., Kearney, J. T., Fleck, S. J., Wilson, G. D., & Triplett, N. T. (1991). Overtraining: a review of the signs, symptoms and possible causes. *Journal of Applied Sport Science Research*, 5(1), 35–50.
- Stone, M. H., O'Brayant, H., & Garhammer, J. (1981). A hypothetical model of strength training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 21(4), 342–351.
- Stone, M. H., O'Bryant, H., Garhammer, J., McMillan, J., & Rozenek, R. (1982). A Theoretical Model of Strength Training. *National Strength and Conditioning Association Journal*.
- Stoszkowski, J., & Collins, D. (2016). Sources, topics and use of knowledge by coaches. *Journal of Sports Sciences*, 34(9), 794–802.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1072279>
- Suarez, D. G., Mizuguchi, S., Hornsby, W. G., Cunanan, A. J., Marsh, D. J., & Stone, M. H. (2019). *Phase-Specific Changes in Rate of Force Development and Muscle Morphology Throughout a Block Periodized Training Cycle in Weightlifters*.
- Taha, T., & Thomas, S. G. (2003). Systems Modelling of the Relationship between Training and Performance. *Sports Medicine*, 33(14), 1061–1073.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200333140-00003>
- Tee, J. C., Ashford, M., & Piggott, D. (2018). A Tactical Periodization Approach for Rugby Union. *Strength and Conditioning Journal*, 40(5), 1–13.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000390>
- Thelen, D. G., Chumanov, E. S., Best, T. M., Swanson, S. C., & Heiderscheit, B. C. (2005). Simulation of biceps femoris musculotendon mechanics during the swing phase of sprinting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), 1931–1938.
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000176674.42929.de>

- Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2015). Monitoring fatigue during the in-season competitive phase in elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(8), 958–964. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0004>
- Tønnessen, E., Hem, E., Leirstein, S., Haugen, T., & Seiler, S. (2013). Maximal aerobic power characteristics of male professional soccer players, 1989-2012. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(3), 323–329. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.3.323>
- Trecroci, A., Porcelli, S., Perri, E., Pedrali, M., Rasica, L., Alberti, G., ... Iaia, F. M. (2020). Effects of Different Training Interventions on the Recovery of Physical and Neuromuscular Performance After a Soccer Match. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(8), 2189–2196. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003269>
- Twist, C., & Eston, R. (2005). The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1357-9>
- Uusitalo, A. L. T. (2001). Overtraining: Making a difficult diagnosis and implementing targeted treatment. *Physician and Sportsmedicine*, 29(5), 35–50. <https://doi.org/10.3810/psm.2001.05.774>
- Verkhoshansky, Y. V. (1988). *Bases of special physical preparation of athletes*. Moscow: FiS Publisher.
- Verkhoshansky, Y. (1999). Training Theory. *New Studies in Athletics*, 14(4), 45–54.
- Vermeire, K., Ghijs, M., Bourgois, J. G., & Boone, J. (2022). The Fitness – Fatigue Model: What’s in the Numbers ? Selection of the Modeling Technique The model de fi ciencias

as explained above are noticeable since. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 00(00), 1–4.

- Vermeire, K., Van de Castele, F., Gosseries, M., Bourgois, J. G., Ghijs, M., & Boone, J. (2021). The Influence of Different Training Load Quantification Methods on the Fitness-Fatigue Model. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 16(9), 1261–1269.
- Vigh-Larsen, J., Dalgas, U., & Andersen, T. (2018). Position-specific acceleration and deceleration profiles in elite youth and senior soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1114–1122.
- Viru, A. (1984). The mechanism of training effects: a hypothesis. *International Journal of Sports Medicine*, 5(5), 219–2127.
- Wallace, L. K., Slattery, K. M., & Coutts, A. J. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: Relationships between modelled and actual training responses. *European Journal of Applied Physiology*, 114(1), 11–20.
<https://doi.org/10.1007/s00421-013-2745-1>
- Wallace, Lee K, Slattery, K. M., & Coutts, A. J. (2009). The ecological validity and application of the session-RPE method for quantifying training loads in swimming. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 33–38.
- Williams, T. D., Toluoso, D. V., Fedewa, M. V., & Esco, M. R. (2017). Comparison of Periodized and Non-Periodized Resistance Training on Maximal Strength: A Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 47(10), 2083–2100. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0734-y>
- Willmott, A. G. B., James, C. A., Bliss, A., Leftwich, R. A., & Maxwell, N. S. (2019). A comparison of two global positioning system devices for team-sport running protocols.

Journal of Biomechanics, 83, 324–328. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.11.044>

Windt, J., Gabbett, T. J., Ferris, D., & Khan, K. M. (2017). Training load-Injury paradox: Is greater preseason participation associated with lower in-season injury risk in elite rugby league players? *British Journal of Sports Medicine*, 51(8), 645–650.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-095973>

Wrigley, R., Drust, B., Stratton, G., Scott, M., & Gregson, W. (2012). Quantification of the typical weekly in-season training load in elite junior soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1573–1580. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.709265>

Young, W. B., Hepner, J., & Robbins, D. W. (2012). Movement demands in Australian Rules football as indicators of muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318225a1c4>

Yusoff, M. B. S. (2019). ABC of Content Validation and Content Validity Index Calculation. *Education in Medicine Journal*, 11(2), 49–54. <https://doi.org/10.21315/eimj2019.11.2.6>

Zaryski, C., & Smith, D. J. (2005). Training principles and issues for ultra-endurance athletes. *Current Sports Medicine Reports*, 4(3), 165–170.
<https://doi.org/10.1097/01.CSMR.0000306201.49315.73>

Zatsiorsky, V. M. (2006). *Science and Practice of Strength Training*. Human Kinetics Publishers Inc.

Zurutuza, U., Castellano, J., Echeazarra, I., & Casamichana, D. (2017). Absolute and relative training load and its relation to fatigue in football. *Frontiers in Psychology*, 8(JUN), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00878>

Titre : La planification du microcycle compétitif en football dans les centres de formation : vers une reconsidération des principes fondamentaux de l'entraînement.

Mots clés : Charge de travail – Développement physique – Performance – Microcycle – Récupération

Résumé : L'objectif des centres de formation en football est de combler l'écart de niveau technique, tactique, et physique entre les jeunes et les professionnels. De ce fait, le développement physique des joueurs de football en formation doit représenter une partie significative de l'entraînement, au contraire des équipes professionnelles qui se concentrent sur les résultats compétitifs. Pour autant, la littérature semble rapporter des planifications du microcycle (hebdomadaire) semblables entre ces deux populations malgré leurs objectifs distincts. Le but de ce travail de thèse était donc de tester différentes organisations de la planification du microcycle permettant d'optimiser le développement physique. Notre première étude a consisté à objectiver les pratiques de planification physique du microcycle dans tous les centres de formation français à travers un questionnaire. Notre deuxième étude a testé l'impact d'une planification alternative des séances dédiées au développement par rapport à la planification typique, sur les charges externes réalisées lors de ces séances, et l'état de forme le jour du match. Notre troisième étude a alors utilisé les

résultats de la deuxième, afin de tester l'ordre des séances visant chacune le développement de qualités physiques distinctes sur les charges externes réalisées et l'état de forme le jour du match. La quatrième étude était quant à elle dédiée à l'exploration de l'impact des durées d'entraînements lors de la séance typique de veille de match, supposée satisfaire l'objectif d'affûtage, sur l'état de forme le jour du match. Enfin, notre cinquième étude a testé l'impact de la quantification des charges d'entraînement en utilisant des valeurs individuelles relatives aux performances en matchs, plutôt que des valeurs absolues, afin de proposer des planifications individualisées. À travers cette thèse, nos résultats mettent alors en avant la nécessité de reconsidérer les principes de l'entraînement (individualisation, spécificité, progressivité, récupération, variation, périodicité), qui doivent dicter la planification du microcycle dans les centres de formation. Les conclusions scientifiques issues de cette thèse doivent être appréhendées comme des orientations qui guident les staffs dans la construction de leurs planifications.

Title: Competitive microcycle periodization in academy soccer players: towards a reconsideration of the fundamental principles of training.

Keywords: Workload – Physical development – Performance – Microcycle – Recovery

Abstract: The aim of soccer academies is to bridge the gap in technical, tactical, and physical levels between youth and professional players. Therefore, physical development must represent a significant part of the training process in academies, unlike professional teams that focus on competitive results. However, the literature seems to report similar microcycle (weekly) periodization between these two populations despite their distinct objectives. The purpose of this thesis was to test different microcycle periodization that would optimize physical development. Our first study consisted in objectifying the physical microcycle periodization practices in all French academies through a survey. Our second study tested the impact of an alternative periodization of the sessions dedicated to development compared to the typical periodization, on the external loads performed during these sessions, and matchday's readiness level. Our third study then used the results of the second study to

test the order of the sessions, each aiming to develop distinct physical qualities, on the external loads performed during these sessions and matchday's readiness level. The fourth study was dedicated to exploring the impact of the training duration during the typical session of the day before the match, supposed to satisfy the tapering objective, on matchday's readiness level. Finally, our fifth study tested the impact of quantifying training loads using individual values relative to match performance, rather than absolute values, to propose individualized periodization. Through this thesis, our results highlight the need to reconsider the fundamental principles of training (individualization, specificity, progressive overload, recovery, variation, periodicity), which should dictate the periodization of the microcycle in academies. The scientific conclusions of this thesis should be understood as guidelines for staffs to build their periodization.