

RELACIÓ ENTRE EL BALANCE ERROR SCORING SYSTEM I UNA UNITAT INERCIAL DE MESURA PER LA VALORACIÓ DE L'EQUILIBRI EN ESPORTISTES AMATEURS

Joel Miranda Escamez

joel.miranda@uvic.cat

Treball de Fi de Grau

Menció a l'àmbit d'Entrenament Esportiu

Tutoritzat per Dra. Xantal Borràs Boix

Quart curs del grau en Ciències de l'Activitat Física i l'Esport

Facultat d'Educació, Traducció i Ciències Humanes

Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya

Vic, 12 maig 2021

Índex de continguts

1	Introducció	8
2	Marc teòric	9
2.1	La tecnologia MEMS i les unitats inercials de mesura	9
2.1.1	Acceleròmetres, giroscopis i magnetòmetres	9
2.1.2	Aplicació a l'àmbit esportiu	11
2.2	Unitats inercials de mesura per la valoració de l'equilibri	12
2.3	Instrumentació del Balance Error Scoring System	16
3	Justificació de la investigació	21
4	Objectius i hipòtesis	22
5	Material i mètodes	23
5.1	Participants	23
5.2	Instruments	23
5.3	Disseny i procediment	24
5.4	Anàlisi de dades	28
6	Resultats	30
6.1	Resultats del global de les dades	31
6.2	Resultats per proves del test	32
7	Discussió	34
8	Conclusions	39
9	Limitacions i prospectiva d'investigació	40
10	Valoració i reflexió personal del procés d'elaboració del TFG	42

11 Bibliografia.....	43
12 Annexes.....	49
12.1 Document d'aspectes ètics.....	49
12.2 Imatges de l'anàlisi de dades dels subjectes a través del programa SPRO.....	51

Índex de figures

Figura 1. Acceleració provocada per una massa. Extret de Pérez-Soriano et al., (2018).	10
Figura 2. Esquema d'un acceleròmetre mecànic. Extret de Pérez-Soriano et al., (2018).	10
Figura 3. Esquema d'un giroscopi mecànic. Extret de Passaro et al., (2017).	11
Figura 4. Llocs de col·locació informats en protocols experimentals amb el percentatge corresponent als articles analitzats a la metanàlisi. Extret de Ghislieri et al., (2019) ...	16
Figura 5. Proves del BESS. A) bilateral; B) unilateral; C) tàndem; D) bilateral sobre foam; E) unilateral sobre foam; F) tàndem sobre foam. Extret de Bell et al., (2011)....	17
Figura 6. Imatge del dispositiu WIMU PRO.	23
Figura 7. Procés d'autoarrencada i sincronització dels dispositius WIMU PRO.	25
Figura 8. Esquema del lloc de col·locació i orientació del dispositiu WIMU PRO amb els respectius eixos (imatge esquerra). Imatge del dispositiu col·locat a la zona lumbar – sacre (imatge central). Vena de compressió elàstica amb cavitat pel dispositiu (imatge dreta).	26
Figura 9. Proves del BESS executades per un subjecte de la mostra. BLT, ULT, TDT, BLF, ULF, TDF seguint l'ordre d'esquerra a dreta.	27

Índex de taules

Taula 1. Paràmetres estadístics descriptius dels resultats obtinguts en les dues variables: l'acceleració total a través dels paràmetres de mitjana, coeficient de variació i entropia aproximada, i els errors comesos pels subjectes en el test. 30

Taula 2. Correlació entre els errors totals produïts pels subjectes de la mostra i els paràmetres de mitjana, coeficient de variació i l'entropia aproximada de l'acceleració total..... 31

Taula 3. Correlació entre els errors produïts pels subjectes de la mostra en cada prova i els paràmetres de mitjana, coeficient de variació i l'entropia aproximada de l'acceleració total. 32

Resum i Abstract

Resum. La finalitat general de l'estudi ha estat determinar la relació entre el Balance Error Scoring System (BESS) i diferents paràmetres de l'acceleració total captada per una unitat inercial de mesura. Nou estudiants voluntaris van ser enregistrats i avaluats durant l'execució del BESS mentre portaven un WIMU PRO col·locat entre la zona lumbar i el sacre per determinar el comportament del centre de masses a través de tres paràmetres derivats de l'Acceleració Total (AcelT) captada pel dispositiu: mitjana (\bar{x}), Coeficient de Variació (CV) i Entropia Aproximada (ApEn). El coeficient de correlació de Pearson (r) va ser utilitzat per establir correlació entre els resultats del test i els paràmetres l'acceleració citats. Els principals resultats obtinguts mostren nivells de correlació molt diversos entre les diferents proves del test i entre els diferents paràmetres investigats, per la qual cosa es pot concloure que no hi ha una relació clara i estable entre els resultats del test i els paràmetres de \bar{x} , el CV i l'ApEn de l'AcelT.

Paraules clau: acceleròmetre, sensors inercials portables, dispositius inercials de mesura, estabilitat, control postural.

Abstract. The purpose of this study was to determine the relationship between the Balance Error Scoring System (BESS) and several acceleration parameters got from an Inertial Measurement Unit (IMU). Nine voluntary students were filmed doing the BESS while wearing a WIMU PRO placed in the lumbar – sacrum zone to determine the center of mass performance by the following total acceleration parameters (AcelT): average (\bar{x}), Coefficient of Variation (CV), and Approximate Entropy (ApEn). Pearson's correlation coefficient (r) was used to establish the correlation between BESS results and data from acceleration parameters. The main results show variable correlation levels on test conditions and acceleration parameters, the fact that it concludes not a clear and stable relationship between test results and \bar{x} , CV and ApEn of AcelT parameters.

Keywords: accelerometer, wearable inertial sensors, inertial measurement devices, stability, postural control.

1 Introducció

En aquest document s'exposa la memòria del Treball de Fi de Grau en menció a l'àmbit d'Entrenament Esportiu dins el grau en Ciències de l'Activitat Física i l'Esport a la Universitat de Vic – Universitat Central de Catalunya.

Per entrar en context, la temàtica que envolta aquesta recerca està relacionada amb l'ús de les noves tecnologies en la valoració funcional del sistema muscular esquelètic per a la prevenció de lesions. Gràcies al grup de recerca "SPARG" de la Universitat de Vic, s'ha tingut la possibilitat de tenir a l'abast uns sistemes tecnològics anomenats *Micro Electro Mechanical Systems* (MEMS) que permeten avaluar paràmetres temporals, cinemàtics i dinàmics dels esportistes a través dels sensors que porten incorporats. Aquests sensors cada vegada estan més presents en el nostre dia a dia i els podem trobar a petita escala fins i tot en telèfons mòbils. Concretament en aquest treball es vincula l'ús d'aquests dispositius enfocat a la valoració de l'equilibri com a aspecte preventiu de lesions musculars.

Així doncs la motivació principal per aquesta recerca neix de la necessitat de conèixer i introduir aquesta tecnologia emergent en la valoració del sistema muscular per a la prevenció de lesions en esportistes. Per un costat, l'evidència ens aporta que les unitats inercials de mesura i els integrats sensors inercials de moviment, són dispositius molt útils per la quantitat d'informació que aporten de l'esportista. D'altra banda, s'ha evidenciat que la falta de control postural és un gran factor de risc de lesió. Relacionant aquests dos factors, hi ha interès a observar si la instrumentació d'un test d'equilibri tradicional utilitzant aquesta tecnologia aporta informació rellevant sobre el grau d'equilibri de l'esportista en aspectes correlatius en funció de diverses variables. La transferència d'aquests resultats podria permetre oferir un possible protocol amb els pertinents paràmetres mecànics a seguir per facilitar a entrenadors o preparadors físics tenir un major control dels esportistes de cara a la individualització de l'entrenament en el camp de l'equilibri i l'estabilitat, la qual cosa podria repercutir en la prevenció i readaptació de lesions esportives.

2 Marc teòric

2.1 La tecnologia MEMS i les unitats inercials de mesura

Una metanàlisi de referència en l'ús de la tecnologia MEMS per l'avaluació del rendiment esportiu explica que aquesta tecnologia, en anglès *Micro Electro Mechanical Systems*, són sistemes compresos per tres sensors de tipus triaxial que permeten la captació de dades en els tres eixos, els quals són acceleròmetres, giroscopis i magnetòmetres (Camomilla et al., 2018).

Quan acceleròmetres i giroscopis s'integren en un sol dispositiu, estem parlant d'unitats inercials de mesura, en anglès *Inertial Measurement Unit* (IMU). Mentre quan acceleròmetres i giroscopis s'integren juntament amb sensors magnètics o magnetòmetres en un sol dispositiu estem parlant d'unitats inercials i magnètiques de mesura, en anglès *Magnetic and Inertial Measurement Unit* (MIMU) (Camomilla et al., 2018).

Per acabar d'introduir i aclarir la terminologia bàsica entorn aquests sistemes, cal comentar que l'abreviatura MIMU no és gaire utilitzada. Normalment es parla d'unitats inercials de mesura (IMU) quan es refereix a acceleròmetres, giroscopis i magnetòmetres integrats en un sol dispositiu (Ghislieri et al., 2019), cosa que també es poden conèixer de forma genèrica com a sensors inercials portables, en anglès *Wearable Inertial Sensors* (Camomilla et al., 2018).

2.1.1 Acceleròmetres, giroscopis i magnetòmetres

A l'àmbit esportiu, l'accelerometria és una tècnica empleada al camp de la biomecànica esportiva que permet registrar acceleracions i desacceleracions d'un cos o esportista a partir d'acceleròmetres (Pérez-Soriano et al., 2018). Així doncs, aquests sensors permeten mesurar l'acceleració lineal en un marc tridimensional a partir de components derivats del moviment i la gravetat (Ghislieri et al., 2019).

De forma resumida, Pérez-Soriano et al., (2018) explica que la base teòrica del funcionament d'aquests sensors recau en dues lleis físiques. En primer lloc la Segona Llei de Newton, la qual postula que l'acceleració constant d'una massa implica una força. I en segon lloc la Llei de Hook, la qual defineix que la força resultant d'un cos és igual al desplaçament d'una massa en una molla amb una constant de rigidesa determinada. Així doncs seguint l'esquema de Pérez-Soriano et al. (2018), els

acceleròmetres detecten el canvi de velocitat que experimenta una massa a partir de la constant elàstica d'una molla (vegeu Figura 1).

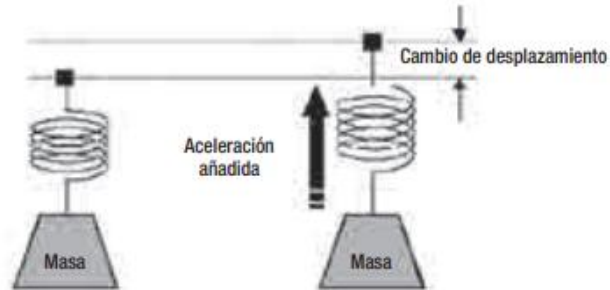


Figura 1. Acceleració provocada per una massa. Extret de Pérez-Soriano et al., (2018).

Aquesta acceleració es sol expressar en "g", magnitud equivalent l'acció de la gravetat simplificada en $9,8\text{m/s}^2$. Per tant, per entendre el funcionament d'aquests sensors es mostra la següent imatge (vegeu Figura 2) referent a un acceleròmetre tradicional mecànic, encara que avui dia s'utilitzin una gran varietat (Pérez-Soriano et al., 2018).



Figura 2. Esquema d'un acceleròmetre mecànic. Extret de Pérez-Soriano et al., (2018).

Després dels acceleròmetres, els giroscopis són el segon tipus de sensor portable més popular (Kunze et al., 2010). Són uns instruments que permeten mesurar la velocitat angular en un marc tridimensional i els components derivats de les rotacions en els tres eixos d'Euler (Ghislieri et al., 2019). Actualment hi ha molts tipus de giroscopis que són utilitzats en entorns molt diversos, en el nostre cas, els giroscopis òptics dins de les unitats inercials de mesura (Passaro et al., 2017).

Seguint la metanàlisi de Passaro et al., (2017), per entendre breument el funcionament dels giroscopis, ens remuntem a comentar els de tipus mecànic (vegeu Figura 3). Consisteixen bàsicament en una massa giratòria que gira al voltant d'un eix. Aquesta massa tendeix a mantenir la seva posició angular respecte a un marc de

referència inercial. Quan s'aplica una força externa a la massa, l'eix experimenta un moviment de precessió a una velocitat angular en direcció a la força aplicada.

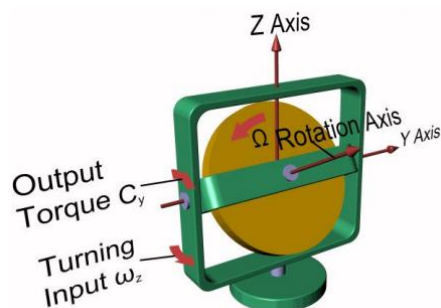


Figura 3. Esquema d'un giroscopi mecànic. Extret de Passaro et al., (2017).

Per acabar, el darrer sensor rellevant incorporat a les unitats inercials de mesura són els magnetòmetres. Respecte d'aquests sensors, tan sols comentar que permeten mesurar tant l'amplitud com la direcció del camp magnètic de la terra en un espai tridimensional (Ghislieri et al., 2019). Es podria dir que actuen com una brúixola (Kunze et al., 2010). Les dades que proporcionen permeten conèixer aspectes rellevants per un esportista com per exemple les direccions de desplaçament (Camomilla et al., 2018). El principal problema dels magnetòmetres o sensors magnètics són les interferències generades per objectes elèctrics o metàl·lics (Kunze et al., 2010).

Tal com s'ha comentat anteriorment, la unió d'aquests sensors en un sol dispositiu forma les unitats inercials de mesura (IMU) o unitats inercials i magnètiques de mesura (MIMU) (Camomilla et al., 2018).

2.1.2 Aplicació a l'àmbit esportiu

En els últims anys, s'ha presenciat un increment en l'ús de tecnologia inercial portable en el món de l'esport (Adesida et al., 2019). Cal tenir en compte que sensors com acceleròmetres, giroscopis, magnetòmetres o sistemes GPS ja es poden trobar en dispositius intel·ligents com telèfons mòbils o tauletes (Mellone et al., 2012). Els grans avanços en tecnologia han proposat l'ús de dispositius inercials per aportar major precisió en la mesura del moviment humà (Neville et al., 2015) en paràmetres temporals, cinemàtics i dinàmics (Wagner, 2018). És més, diversos estudis han validat aquests dispositius portàtils davant de referències "gold standard" (Adesida et al., 2019).

L'ús d'aquests dispositius en l'àmbit esportiu són una alternativa a les valoracions clàssiques (Camomilla et al., 2018). La seva combinació amb els mateixos tests de valoració permeten ajudar als membres dels cossos tècnics en les avaluacions proporcionant mesures més objectives i reproduïbles en gran varietat d'entorns relacionats amb el rendiment esportiu (Van Mechelen et al., 2013; Feigenbaum et al., 2019). Per aquest motiu cada vegada s'utilitzen més en el context esportiu (Gabbett, 2015) i al camp de la biomecànica esportiva per ser una eina fiable que pot beneficiar el rendiment dels esportistes (Camomilla et al., 2018).

Alguns exemples del gran potencial que tenen els podem trobar en diversos àmbits com poden ser la prevenció de lesions, la valoració del rendiment, el reconeixement i caracterització de moviments de cara a la millora d'execucions tècniques, així com per la quantificació i classificació de nivells d'habilitat i experiència (Adesida et al., 2019). Alguns autors reflecteixen el seu potencial amb la gran sensibilitat que tenen perquè permeten captar des de situacions sense moviment com estar parat, fins als moviments esportius més intensos com els salts (Bastida et al., 2018).

Algunes característiques importants d'aquests dispositius són que gràcies a les seves dimensions i portabilitat permeten monitoritzar els atletes fora d'un laboratori, és a dir, en l'entorn natural d'entrenament o competició (Adesida et al., 2019), així com permeten proporcionar de forma instantània un feedback a temps real pel subjecte (Sprager et al., 2015). D'altra banda, però, tres metanàlisis de rellevància en la matèria exposen que la tecnologia MEMS també té limitacions relacionades amb pèrdues de senyal o errors de deriva que poden afectar a la precisió i exactitud de les dades (Camomilla et al., 2018; Ghislieri et al., 2019; Adesida et al., 2019).

2.2 Unitats inercials de mesura per la valoració de l'equilibri

Centrant-nos en la vinculació de les unitats inercials de mesura en el camp de l'equilibri, és necessari contextualitzar prèviament què és exactament l'equilibri i els principals conceptes que l'envolten.

L'equilibri és un component necessari en activitats diàries i en l'esport (Bell et al., 2011). La seva valoració en atletes és essencial per l'entrenament, la prevenció i la rehabilitació de lesions esportives (Dabbs et al., 2017). Segons Rose (2014), l'equilibri és el procés en el qual controlem el centre de masses del cos respecte a la base de sustentació, sigui de manera estàtica o dinàmica. L'autor defineix que aquest centre de

masses representa el punt on es considera la major concentració de massa del cos en analitzar les forces que actuen sobre ell i en el moviment.

Dins de l'estat general d'equilibri podem diferenciar dues situacions específiques, l'equilibri en condicions estàtiques i l'equilibri en condicions dinàmiques. Una definició clàssica del concepte d'equilibri estàtic, manifestació que ens ocupa, s'exposa com l'habilitat per mantenir la base de sustentació amb el mínim moviment possible (Winter, 1990).

Tenint en compte que en certes ocasions es relaciona amb el concepte de control postural, cal definir tanmateix aquest concepte, el qual s'entén com l'alineació biomecànica de les parts del cos i orientació del mateix en l'espai (Rose, 2014).

Paral·lelament també cal entendre el concepte d'estabilitat, en aquest cas del tronc, el qual s'entén com la capacitat per mantenir la posició del tronc inclús sota influències externes o pertorbacions (Zazulak et al., 2006; Mendiguchia et al., 2011, citats per Bastida et al., 2018).

Tenint clars els darrers conceptes clau, cal esmentar tanmateix la relació existent entre l'equilibri i la fatiga per la seva valoració (Wilkins et al., 2004). L'equilibri es veu clarament afectat després de l'esforç físic (Susco et al., 2004). Wilkins et al., (2004) van comprovar a través del test de valoració BESS que l'equilibri augmentava quan es valorava després d'un període de descans. En aquest sentit, Susco et al., (2004) van determinar que s'ha de tenir en compte un període mínim de 20 minuts de descans si s'ha d'avaluar l'equilibri després d'un esforç físic per minimitzar els efectes de la fatiga i permetre que l'atleta es recuperi per tal que les mesures siguin vàlides.

La valoració de l'equilibri és una tasca complicada, per la qual cosa Horak l'any 1987 ja advertia de la complexitat en la seva mesura i proposava l'ús d'eines quantitatives, fiables, vàlides i pràctiques, com per exemple escales de valoració o càmeres d'enregistrament entre d'altres (Horak, 1987).

Encara que l'equilibri pot ser mesurat per diverses tècniques de valoració tan objectives com subjectives (Patterson et al., 2014), les noves tendències afirmen que és més sensible de ser mesurat a través de posturografia dinàmica, plataformes de força i sistemes de captura en tres dimensions que no fent ús de tests subjectius (Cavanaugh et al., 2005; Cavanaugh et al., 2006; Powers et al., 2014 citats per Alberts et al., 2015). En aquest sentit, la combinació de proves d'equilibri

instrumentades amb unitats inercials de mesura permeten quantificar el balanceig postural en lloc d'haver de confiar en observacions visuals (Doherty et al., 2017).

Les unitats inercials de mesura tot i no ser el "gold standard" per la valoració de l'equilibri avui dia, hi ha una gran quantitat d'evidència que dona suport a l'ús d'aquests dispositius per avaluar l'equilibri postural (Ghislieri et al., 2019). Alguns autors justifiquen aquest fet perquè és un mitjà precís, econòmic i portàtil que permet avaluar l'equilibri objectivament (Doherty et al., 2017). Altres autors concorden en el baix cost i fàcil portabilitat d'aquests dispositius, però demanen més investigació pel que fa a la seva fiabilitat (Neville et al., 2015).

Diversos autors estan d'acord en la utilització dels sistemes IMU per quantificar objectivament l'equilibri estàtic (Furman et al., 2013; King et al., 2014; Alberts et al., 2015 citats per Johnston et al., 2016). Alguns d'ells, però, només destaquen l'acceleròmetre que incorpora per avaluar l'equilibri (Bastida et al., 2018; Lee et al., 2018). Howell et al., (2015) ho justifica basant-se en el fet que el desplaçament del centre de masses està directament connectat amb l'acceleració que rep el mateix, per la qual cosa l'acceleròmetre pot ser una possibilitat rendible.

Tenint en compte que una reducció en les variacions de velocitat concorda amb un millor estat d'equilibri (Leirós et al., 2015), alguns estudis coincideixen a dir que l'eix mediolateral és el que es produeixen més moviments d'estabilització, per tant, el que es produeixen més variacions de velocitat (Leirós et al., 2015). Així doncs, King et al., (2017) considera l'eix mediolateral més útil que l'eix anteroposterior. Aquest fet es contradiu amb els resultats de l'estudi Del Castillo et al., (2008) en el que van avaluar l'equilibri estàtic amb plataforma de forces en una prova en bipedestació amb subjectes sans i van trobar que el major desplaçament del centre de masses es produïa en l'eix anteroposterior.

Bastida et al., (2018) van instrumentar quatre exercicis amb un acceleròmetre col·locat a la tercera vèrtebra lumbar en una mostra de futbolistes entrenats per quantificar el nivell d'estabilitat de cada un dels quatre exercicis a partir de dues variables: el coeficient de variació de l'acceleració i l'entropia aproximada. Gràcies a l'estudi els autors certifiquen que els dispositius inercials poden ser utilitzats per valorar l'estabilitat de manera senzilla, portable, vàlida i fiable.

Amick et al., (2015) van demostrar una excel·lent fiabilitat general del test SWAY en adults joves sans. Es tractava d'un test instrumentat basat en cinc proves d'equilibri en

les quals es va col·locar un Apple iPod Touch a l'estèrnium per extreure dades de l'acceleròmetre que incorpora en els tres eixos de moviment.

Neville et al., (2015) van investigar la validesa i sensibilitat dels sensors inercials per l'avaluació de l'equilibri. Van utilitzar una mostra de participants sans i van dividir l'estudi en dues parts. Primer van comparar diferents tests d'equilibri amb tres mètodes de valoració (sensors inercials, plataforma de forces i sistema de captura de moviment) i en segon lloc van comparar diferents tasques d'equilibri amb un sensor inercial de moviment. Van establir correlació entre el sensor inercial, la plataforma de forces i el sistema de captura de moviment i van determinar que l'ús dels sensors portàtils es mostra prometedora per proporcionar mesures vàlides i sensibles de l'oscil·lació postural. Lee et al., (2018) matisen que és més sensible utilitzar plataformes de forces si la prova d'equilibri està basada en el sistema visual.

Una de les principals limitacions d'instrumentar processos de valoració és entendre el significat de les dades quantitatives produïdes (Parrington et al., 2020). Els investigadors expressen que el processament i interpretació d'aquestes dades no és una tasca fàcil i observen la necessitat de desenvolupar mètodes destinats a proporcionar mètriques més fàcils d'interpretar, així com l'estandardització dels procediments de calibratge, ús i extracció de dades per maximitzar el potencial dels dispositius (Camomilla et al., 2018).

Dues característiques molt rellevants d'aquests dispositius per a la valoració de l'equilibri són la zona corporal de col·locació i el sensor a utilitzar, ja que la selecció de les variables prèvies és necessària perquè les mesures instrumentades de balanceig es tradueixin correctament (King et al., 2017). La major part d'estudis analitzats a la metanàlisi de Ghislieri et al., (2019), col·locaven el dispositiu a la part baixa de l'esquena, entre la tercera i la cinquena vèrtebra lumbar, seguit de la part anterior de la cama i el pit (vegeu figura 4). La zona més freqüent de col·locació segons la revisió sistemàtica de Johnston et al., (2019) és la lumbar – sacre, essent l'acceleròmetre triaxial el sensor més utilitzat seguint criteris de validesa i fiabilitat. La col·locació del dispositiu a la part baixa de l'esquena aporta informació sobre les oscil·lacions del centre de gravetat del subjecte, tal com matisa Gordt et al., (2018) en la seva metanàlisi.

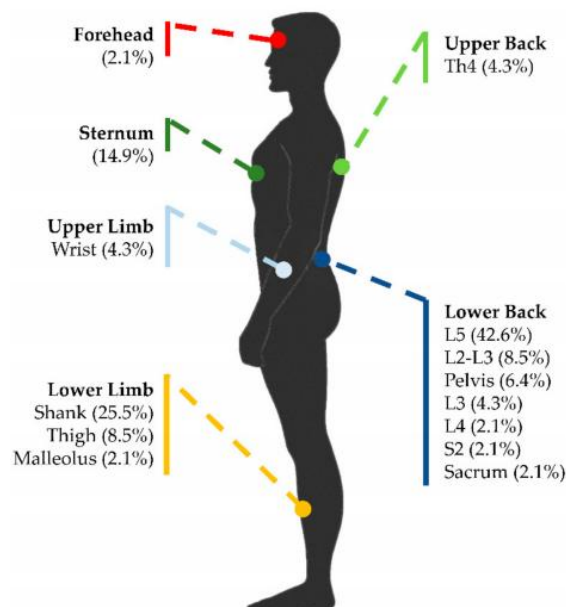


Figura 4. Llocs de col·locació informats en protocols experimentals amb el percentatge corresponent als articles analitzats a la metanàlisi. Extret de Ghislieri et al., (2019)

2.3 Instrumentació del Balance Error Scoring System

El Balance Error Scoring System (BESS) és un test validat (Bell et al., 2011), àmpliament utilitzat per professionals mèdics esportius per avaluar l'equilibri estàtic (Dabbs et al., 2017; Espinosa et al., 2017). Va ser desenvolupat per poder valorar fora del laboratori sense necessitat d'utilitzar equipament de cost elevat (Riemann et al., 1999). Tot i ser creat originalment per valorar els esportistes en quadres de commoció cerebral o lesió (Espinosa et al., 2017), també és utilitzat amb esportistes sans tal com ho corroboren els estudis de Bressel et al., (2007) o Chander et al., (2014). De fet, Riemann et al., (1999) afirma que també és vàlid per a subjectes sans.

El BESS es basa en l'execució de tres posicions o recolzaments estàtics: bilateral amb els peus junts, unilateral amb l'extremitat no dominant i tàndem amb el recolzament posterior de l'extremitat no dominant. Totes les posicions s'executen durant 20 segons amb les mans a la cintura sobre les crestes ilíaqües i amb els ulls tancats sobre dos tipus de superfícies, el terra com a superfície estable i un bloc de foam de 25x25x6,5cm com a superfície inestable (vegeu Figura 5). L'indicador d'equilibri és el nombre total d'errors que els subjectes cometien en els 20 segons de cada prova, tenint en compte que un error pot ser obrir els ulls, aixecar les mans de les crestes ilíaqües, fer una passa / entrebancar-se / caure, aixecar el peu o el taló, abducció o flexió de maluc per sobre de 30° o mantenir-se fora de la posició de la prova més de 5

segons. Errors múltiples comesos simultàniament es compten com un sol error (Bell et al., 2011).

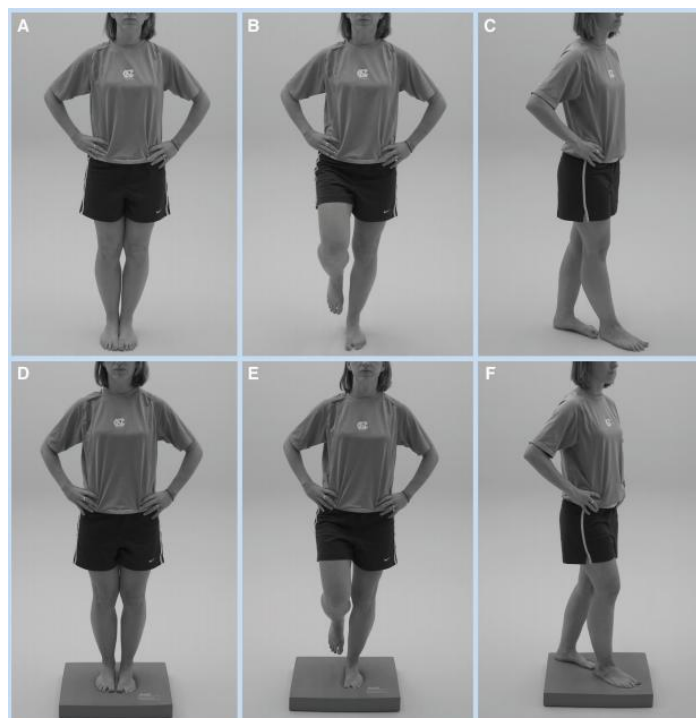


Figura 5. Proves del BESS. A) bilateral; B) unilateral; C) tàndem; D) bilateral sobre foam; E) unilateral sobre foam; F) tàndem sobre foam. Extret de Bell et al., (2011).

Entrant en detall amb el test BESS particularment, s'han reportat articles que exposen limitacions associades a la seva subjectivitat i posen en dubte la seva fiabilitat (King et al., 2014). Mentre que hi ha estudis que indiquen que és fiable, n'hi ha d'altres que expressen que està per sota dels nivells acceptables (Bell et al., 2011). Ja l'any 2009, Finnoff i col·laboradors van exposar que no totes les proves són adequades per l'avaluació de l'estabilitat postural (Finnoff et al., 2009). Aquests investigadors demostren un coeficient de correlació intraclasse notablement baix en la puntuació del BESS i en la majoria de les seves proves, exceptuant la posició unilateral sobre el terra. També demostren una diferència entre la puntuació del BESS amb dos avaluadors diferents. Algunes altres limitacions del test exposades per l'evidència són l'experiència de l'avaluador (Furman et al., 2013) i la falta d'una clara mesura pels reajustaments corporals durant les proves (Doherty et al., 2017).

En termes generals, s'ha evidenciat que els mètodes subjectius de valoració depenen en certa manera de l'habilitat i experiència del professional en la puntuació i interpretació (Rogers et al., 2003). Per aquest motiu els investigadors opten per

instrumentar certs tests de valoració d'equilibri amb noves tecnologies com les IMU, tal com es pot observar en estudis com els de Furman et al., (2013), King et al., (2014), Alberts et al., (2015) o Doherty et al., (2017) entre altres. De fet, un augment de la sensibilitat i objectivitat s'han observat com a avantatges en l'ús de mètodes instrumentats per la valoració de l'equilibri (Parrington et al., 2020). Diversos autors concorden en què la vinculació d'un test d'equilibri instrumentat amb un IMU s'ha verificat com una eina de valoració per l'equilibri estàtic (Mayagoitia et al., 2002; Moenilssen and Helbostad, 2002; Whitney et al., 2011; Mancini et al., 2012 citats per Kim et al., 2018). En aquest sentit, a continuació s'exposen diversos estudis que han instrumentat el test BESS amb unitats inercials de mesura amb finalitats diverses.

Furman et al., (2013) van comparar un mètode instrumentat amb un acceleròmetre biaxial "Balance Accelerometer Measure" i el test BESS per detectar diferències en l'equilibri postural entre esportistes sans i esportistes amb commoció cerebral. Els autors van determinar que l'acceleració anteroposterior de la pelvis captada per l'acceleròmetre en les diverses condicions d'equilibri separades del BESS no va ser capaç de discriminar entre subjectes sans i subjectes amb commoció. Mentre que el BESS en les proves de posició tàndem, va ser capaç de discriminar entre aquests subjectes. Això suggereix que és preferible puntuar els errors d'equilibri que mesurar el balanceig postural amb un acceleròmetre per mostrar l'efecte de les commocions cerebrals sobre l'equilibri.

Contràriament, King et al., (2014) van remarcar el potencial que tenen els IMU per mesurar l'equilibri en esportistes adolescents havent patit commoció cerebral. Els autors van trobar un augment de sensibilitat i especificitat en les dades provinents de l'acceleròmetre situat a la cinquena vèrtebra lumbar en l'execució del BESS i un BESS modificat amb menys proves. Expliquen que únicament l'acceleració anteroposterior no reflecteix les situacions de desequilibri i s'ha de tenir en consideració l'acceleració mediolateral que segons alguna evidència és la més sensible en detectar desequilibri. Els autors conclouen que les dades captades per l'IMU en la variable d'oscil·lació "Root Mean Square" composta per l'acceleració en els dos eixos citats, és més objectiva i sensible que el BESS estàndard a l'hora d'avaluar l'equilibri en població amb commoció.

Seguint aquesta tendència, Brown et al., (2014) van desenvolupar i validar un algoritme per quantificar objectivament el test BESS amb subjectes sans, amb la finalitat d'observar si el sistema podia preveure el nombre d'errors del test tradicional.

Van utilitzar diferents unitats inercials de mesura en diversos punts del cos (front, pit, cintura, canells i tíbies), dels quals només van extreure les dades d'acceleració lineal de l'IMU col·locat al front. Els autors van trobar una alta correlació entre les puntuacions d'error del BESS en les proves sobre la superfície de foam, però no en les proves sobre el terra. Finalment matisen que l'objectivació del BESS els va permetre reduir la variabilitat del test induïda per la subjectivitat de l'avaluador.

Alberts et al., (2015) van desenvolupar un mètode per quantificar el BESS amb subjectes sans mitjançant un IMU, el qual va ser un Apple iPad prèviament validat pel que fa a precisió en la mesura d'estabilitat postural. Van col·locar el dispositiu a la zona lumbar – sacre i van extreure les dades d'acceleració del centre de masses en els plans anteroposterior, mediolateral i vertical a través de l'acceleròmetre i el giroscopi que incorpora l'iPad per crear una mesura la qual van anomenar "volum iBESS". Tot i no ser objectiu de l'estudi, els autors van trobar correlació entre els errors del BESS i les dades de l'iBESS a les proves unilateral a terra, tàndem a terra i tàndem a foam, essent impossible establir correlació a la prova bilateral a terra per la falta d'errors. Una troballa rellevant de l'estudi és que van detectar dues tendències de comportament. Alguns participants reaccionaven a petites perturbacions fent petits salts o movent els peus per evitar perdre l'equilibri, la qual cosa contava com a errors. Altres participants intentaven mantenir l'equilibri sense intentar cometre errors del test, la qual cosa els produïa menys errors però més significatius. Aquests fets no considerats errors pel sistema de puntuació del BESS van poder ser captats per les dades de l'IMU, i els autors determinen que el desenvolupament d'una mesura objectiva del BESS únicament amb un IMU a la zona del sacre és suficient per quantificar l'equilibri estàtic comparant-ho amb els sistemes "gold standard". Per acabar, els autors afirmen que les dades obtingudes per l'IMU són de qualitat suficient per mesurar l'estabilitat postural en subjectes adults sans i que el desenvolupament d'un mètode objectiu proporciona una mesura més sensible i amb més valor i integritat que únicament utilitzant el sistema de puntuació d'errors del mateix BESS.

Doherty et al., (2017) van quantificar l'equilibri en un grup de persones sanes comparat amb un grup de persones que havien patit commoció cerebral. Els subjectes van realitzar el test BESS sobre una plataforma de forces i amb un IMU col·locat a la zona del sacre. Els autors revelen un alt grau de similitud entre el centre de pressions revelat per la plataforma de forces i el volum de balanceig del tronc captat per les dades d'acceleració proporcionades per l'IMU i concorden amb la literatura existent que dóna suport als IMU i als telèfons intel·ligents per desenvolupar mesures

objectives de baix cost per valorar l'equilibri. Les dades captades per l'IMU no només els va permetre diferenciar el grup de persones sanes del grup de persones amb commoció cerebral, sinó també identificar amb precisió els errors de cada prova que forma el BESS.

Dabbs et al., (2017) van investigar la relació que hi havia entre dos sistemes de mesura de l'equilibri comprovats al test BESS. Els autors volien validar una aplicació basada en els acceleròmetres triaxials incorporats en un telèfon mòbil (SMBA) davant d'un sistema validat basat en una plataforma de forces (BBS) en la realització de 5 proves del BESS amb una mostra d'esportistes sans de diferents modalitats. Els autors van obtenir una alta correlació entre els dos sistemes, indicant com a vàlida l'aplicació del telèfon mòbil. Tot i això, esmenten major correlació amb les proves bilaterals i unilaterals, mentre que no van trobar correlació amb la posició tàndem entre els dos sistemes. Finalment, havent validat l'aplicació mòbil esmenten la facilitat, simplicitat, rapidesa i accessibilitat en l'ús d'aquest tipus de tecnologia per avaluar l'equilibri en una societat on els aparells tecnològics són extensament utilitzats.

King et al., (2017) van investigar quina de les proves o condicions del BESS modificat discriminava millor atletes sans d'atletes amb commoció cerebral a través de les dades en els eixos mediolateral i anteroposterior d'un IMU col·locat a la zona lumbar. Els autors van certificar que la inclusió d'un IMU va ser més sensible que el BESS modificat a l'hora de diferenciar entre els dos grups mitjançant el balanceig mediolateral del centre de masses, en el que van concretar que la postura en bipedestació o també coneguda com a bilateral va ser la més discriminatòria. D'aquesta forma, els autors reafirmen que els resultats del seu estudi donen suport a l'evidència creixent entorn de la millora dels tests clínics tradicionals amb unitats inercials de mesura.

Paral·lelament als darrers estudis, Johnston et al., (2019) exposen en la seva revisió sistemàtica que l'ús d'aquesta tecnologia s'ha de basar en la instrumentació de valoracions tradicionals de control postural tenint en compte la col·locació dels dispositius així com el sensor a utilitzar i les seves variables. Tot i això, conclouen que tot i que els sensors inercials portàtils poden proporcionar una mesura vàlida i fiable del control postural, encara no es pot certificar sistemàticament aquestes característiques qualitatives per la falta d'homogeneïtat dels estudis pel que fa a protocols, tipus de sensors, procediments, variables o grandària de la mostra entre d'altres.

3 Justificació de la investigació

Com a resultat de les diferents evidències mostrades en el marc teòric, s'observa que no hi ha una resposta global i homogènia entorn de l'ús de les unitats inercials de mesura per la valoració de l'equilibri i específicament en el test BESS pel que fa a protocols d'instrumentació. Tanmateix, tampoc hi ha bibliografia extensa que utilitzi els WIMU com a unitats inercials de mesura en aquest camp. Per tant, aquests són motius pels quals se'n dedueix la necessitat d'elaborar aquest estudi.

Paral·lelament, hi ha una forta evidència que relaciona l'equilibri amb la reducció del risc de lesió (Hrysomallis, 2011) així com amb l'increment del rendiment esportiu (Puckree et al., 2014; Spratford et al., 2017., citats per Patti et al., 2018). Fort et al., (2013) descriuen els dèficits de control de l'estabilitat postural com un important factor de risc de lesió, tenint en compte que la falta d'estabilitat provoca l'augment de les forces que es transmeten a les estructures articulars. Parus et al., (2015) relacionen un increment en l'oscil·lació del cos en posició dempeus amb les lesions d'extremitats inferiors, les quals són les més freqüents en el món de l'esport (Patel et al., 2017). En aquest sentit, la valoració de l'equilibri en esportistes és essencial per l'entrenament d'aquests, així com per la prevenció i rehabilitació de lesions esportives (Dabbs et al., 2017).

Per altra banda, el BESS és probablement el test portable de baix cost més àmpliament utilitzat (Neville et al., 2015). Com que és de caràcter subjectiu (Dabbs, et al., 2017) i hi ha estudis que posen en dubte la seva fiabilitat (Finnoff et al., 2009), diversos investigadors han buscat la manera d'objectivar-lo mitjançant noves tecnologies. Les plataformes de força són el "gold standard" en la valoració de l'equilibri (Ghislieri et al., 2019) però tenen certes limitacions que la tecnologia portable pot resoldre, com el cost o la portabilitat (Adesida et al., 2019). L'ús de mètodes instrumentats en la valoració de l'equilibri s'ha relacionat amb avantatges com l'augment de la sensibilitat i objectivitat de les dades (Parrington et al., 2020).

Per aquests motius, seguint el fil d'investigacions fetes fins aleshores, en aquest estudi es pretén comprovar la relació que hi ha entre el sistema subjectiu de puntuació del test descrit a l'apartat anterior i les dades objectives d'acceleració total provinents d'un dispositiu inercial de mesura en funció de diferents paràmetres per determinar el grau de correlació i la transferència del protocol realitzat amb un WIMU PRO.

4 Objectius i hipòtesis

Objectiu general: determinar la relació entre els resultats del test de valoració BESS i l'acceleració total captada per una unitat inercial de mesura en una mostra d'esportistes amateurs.

Objectiu específic 1: determinar la relació entre el nombre d'errors totals del test i els paràmetres de mitjana, coeficient de variació i entropia aproximada de l'acceleració total captada pel dispositiu inercial WIMU PRO.

Objectiu específic 2: determinar la relació entre el nombre d'errors obtinguts en les diferents proves del test per separat i els paràmetres de mitjana, coeficient de variació i entropia aproximada de l'acceleració total captada pel dispositiu inercial WIMU PRO.

Hipòtesi general: existeix una correlació molt forta entre els resultats del test de valoració BESS i l'acceleració total captada per la unitat inercial de mesura en una mostra d'esportistes amateurs.

Hipòtesi específica 1: existeix una correlació molt forta entre el nombre d'errors totals del test i els paràmetres de mitjana, coeficient de variació i entropia aproximada de l'acceleració total captada pel dispositiu inercial WIMU PRO.

Hipòtesi específica 2: existeix una correlació molt forta entre el nombre d'errors obtinguts en les diferents proves del test per separat i els paràmetres de mitjana, coeficient de variació i entropia aproximada de l'acceleració total captada pel dispositiu inercial WIMU PRO.

5 Material i mètodes

5.1 Participants

Nou subjectes d'una població d'estudiants de quart curs de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport de la Universitat de Vic ($24,22 \pm 2,05$ anys; $1,76 \pm 0,09$ m, $70,44 \pm 11,08$ kg), són la mostra voluntària d'aquest estudi. El principal criteri d'inclusió és ser practicant actiu d'alguna modalitat esportiva. Els dos criteris d'exclusió són haver fet activitat física extenuant abans de realitzar la prova i haver patit qualsevol lesió en els darrers mesos que els impedeixi realitzar el Balance Error Scoring System o alteri els seus resultats. Es protegeix la confidencialitat de les dades dels participants d'acord amb les consideracions ètiques pautades per la UVIC – UCC (vegeu annex 12.1).

5.2 Instruments

L'instrument de mesura utilitzat és una unitat inercial de mesura, sistema validat davant "gold standards" com són les plataformes de forces (Ghislieri et al., 2019), però posats en dubte la seva fiabilitat encara avui dia per falta d'evidència homogènia (Johnston et al., 2019). L'IMU en qüestió és un WIMU PRO proporcionat per la Universitat de Vic (vegeu figura 6). El WIMU PRO és un dispositiu portable lleuger, de dimensions $81 \times 45 \times 16$ mm i 70 grams de pes. Disposa de Wi-Fi i Bluetooth per transferir dades a temps real. Conté una bateria de 1.300mAh amb connexió USB per a la seva càrrega i transferència d'arxius. Integra diferents tipus de sensors: dos acceleròmetres triaxials (1.000Hz , $400\text{G} + 1.000\text{Hz}$, 16G), un giroscopi triaxial (1000Hz , $8.000^\circ/\text{s} \pm 4.000$), un magnetòmetre triaxial (100Hz), així com un sistema híbrid GPS de 18Hz i un baròmetre de 120kPa (Real Track Systems, n.d.).



Figura 6. Imatge del dispositiu WIMU PRO.

5.3 Disseny i procediment

Es tracta d'un estudi descriptiu transversal de tipus correlacional emmarcat dins la metodologia d'enfocament quantitatiu. La justificació es basa en el fet que s'analitza un fenomen concret en un moment únic i determinat, en el qual es busca determinar la relació entre dues variables per determinar si existeix una associació entre diversos factors.

El fenomen en concret és l'equilibri en esportistes amateurs. La primera variable d'estudi és els resultats obtinguts a través el sistema de puntuació del test BESS descrit per Bell et al., (2011). La segona variable d'estudi és l'Acceleració Total (AcelT) o vector resultant de l'acceleració lineal triaxial, composta per l'acceleració global els tres eixos. L'acceleració és el senyal més utilitzat pels investigadors seguint els estudis citats anteriorment King et al., (2014), Dabbs et al., (2017) o Ghislieri et al., (2019) a la seva metanàlisi. Els valors d'acceleració en els diferents eixos ofereixen informació rellevant sobre l'estabilitat del centre de masses (Izzo et al., 2018).

La primera variable es mesura subjectivament per part de l'avaluador a través de l'observació dels errors estipulats que els subjectes cometien en les diferents proves del test. La segona variable es mesura amb una IMU, en aquest cas un WIMU PRO, instrument citat i explicat a l'apartat anterior. Fent referència als indicadors d'equilibri, per un costat són el nombre d'errors del sistema de puntuació del test, i per l'altre costat són tres paràmetres derivats de l'AcelT: la mitjana (\bar{x}), el coeficient de variació (CV) i l'entropia aproximada (ApEn).

Per dur a terme aquest disseny, s'ha establert un procediment determinat que s'explicarà en detall a continuació, el qual se li atribueix el nom de Balance Error Scoring System Instrumentat (BESS INS).

El procediment o protocol establert es realitza al laboratori del departament de Ciències de l'Activitat Física de la Universitat de Vic. Cada dijous durant les quatre setmanes del mes de març, es destinen 30 minuts fora de l'horari lectiu per fer les valoracions als companys voluntaris que compleixen els criteris d'inclusió i exclusió. Prèviament a l'inici de les valoracions s'avitual·la l'espai amb el material necessari (dispositius inercials, telèfon mòbil, tríode, superfícies de contacte i cronòmetre), així com es fa el procés d'autoarrencada i sincronització dels WIMU PRO i una petita prova per comprovar i verificar el correcte funcionament dels dispositius.

Per fer el procés d'autoarrencada i sincronització dels WIMU PRO es segueixen les especificacions descrites al manual d'usuari del dispositiu. Primer es pressiona el botó central fins que el led mostra una llum blava intermitent. Seguidament es col·loca el dispositiu horitzontalment en una zona plana, sense dispositius magnètics o elèctrics al voltant i es deixa immòbil durant 30 segons (Vegeu figura 8). Aquest procés permet eliminar quatre fonts d'error: error de desplaçament, error d'escalament, errors ortogonals i errors aleatoris (Bastida et al., 2018).



Figura 7. Procés d'autoarrencada i sincronització dels dispositius WIMU PRO.

Un cop en contacte amb els participants, es fa una breu explicació dels aspectes més rellevants de la recerca; informant-los de l'objectiu principal de l'estudi i del protocol a realitzar. Com que l'estudi implica la participació de persones i l'enregistrament de les valoracions, es demana prèviament el consentiment dels participants a través dels documents d'aspectes ètics adjuntats a l'annex, per certificar la declaració i autorització de les seves dades (vegeu annex 12.1).

Seguidament es procedeix a la col·locació del dispositiu. Aquest es col·loca a la part baixa de l'esquena, concretament entre les darreres vèrtebres lumbars i el sacre, un dels llocs més òptims per valorar l'equilibri segons l'evidència consultada (Mancini et al., 2012; King et al., 2017; Izzo et al., 2018; Lee et al., 2018; Ghislieri et al., 2019). Durant tota la recollida de dades es té en compte les principals pautes d'ús relacionades amb errors de deriva exposades per Camomilla et al., (2018) en la seva metanàlisi, les quals són evitar alteracions ferromagnètiques, respectar les pautes de calibratge del dispositiu, evitar moviments entre el dispositiu i el cos, evitar la col·locació en teixits tous. Per tant, es procura que l'IMU estigui allunyat de dispositius electrònics com ordinadors o telèfons mòbils i es procura que estigui el més a prop possible de la pell. Per portar-ho a terme, es subjecta el dispositiu amb un cinturó personalitzat a partir d'una vena de compressió elàstica per immobilitzar articulacions, la qual conté una petita butxaca cosida per fixar el dispositiu (vegeu figura 8).



Figura 8. Esquema del lloc de col·locació i orientació del dispositiu WIMU PRO amb els respectius eixos (imatge esquerra). Imatge del dispositiu col·locat a la zona lumbar – sacre (imatge central). Vena de compressió elàstica amb cavitat pel dispositiu (imatge dreta).

Feta aquesta part inicial del protocol, es procedeix a la recollida de dades. Les dades relatives a l'observació visual es recullen a través de l'enregistrament amb una càmera de vídeo per poder fer una anàlisi més objectiva dels errors a posteriori. Les dades relatives a l'acceleració es recullen amb el WIMU PRO a través de l'emmagatzematge que permet la seva memòria interna. Per a cada participant s'exemplifiquen les proves del test i es repeteixen les instruccions bàsiques de puntuació d'errors i durada.

Per marcar l'instant d'inici i finalització del test s'utilitza un cronòmetre i un segon dispositiu inercial de mesura. Tal com va explicar G. Palau, els WIMU PRO tenen la capacitat d'utilitzar-se simultàniament gràcies a la seva sincronització sinal·lagmàtica a través de franja horària (Comunicació personal, 29 de gener de 2021). Aprofitant aquesta funcionalitat, en el mateix instant d'iniciar el cronòmetre s'inicia aquest segon dispositiu únicament fent un clic al seu botó central.

Pel que fa a les diferents proves del test, es porten a terme totes elles descrites de la següent manera: bilateral (BL), unilateral (UL), i tàndem (TD), sobre els dos tipus de superfície; terra (T) i foam (F) (vegeu figura 9). S'utilitza un bloc de foam original i vàlid per a la realització del BESS, material del laboratori de CAF cedit per la Universitat de Vic. A continuació s'expliquen breument les tres proves que s'executen sobre les dues superfícies citades.

- Prova de recolzament bilateral: consisteix a mantenir-se dempeus amb les cames juntes. Mans recolzades sobre les crestes ilíiaques de la pelvis i ulls completament tancats.
- Prova de recolzament unilateral: també es coneix com a monòpode i consisteix a mantenir-se dempeus sobre l'extremitat inferior no nominant mentre que l'extremitat inferior dominant es manté amb una flexió de genoll de 45° aproximadament. Mans recolzades sobre les crestes ilíiaques de la pelvis i ulls completament tancats.
- Prova de recolzament en tàndem: consisteix a mantenir-se dempeus amb l'extremitat inferior no dominant darrere de l'extremitat inferior dominant de manera que la part distal dels dits dels peus estiguin en contacte amb la part posterior del taló. Mans recolzades sobre les crestes ilíiaques de la pelvis i ulls completament tancats.



Figura 9. Proves del BESS executades per un subjecte de la mostra. BLT, ULT, TDT, BLF, ULF, TDF seguint l'ordre d'esquerra a dreta.

5.4 Anàlisi de dades

Tal com s'ha esmentat en l'apartat anterior, les dades en cru dels dispositius WIMU PRO s'emmagatzemen automàticament a les seves memòries internes. A partir d'aquí, s'analitzen a través del seu programa específic "SPRO" versió 2.0.0.1, provinent de Real Track Systems. En el programa es sincronitzen les dades dels dos dispositius WIMU PRO a través de la franja horària.

Del primer dispositiu inercial s'extreuen les dades de la variable AcelT proporcionada per l'acceleròmetre a través dels paràmetres citats anteriorment: mitjana, coeficient de variació i entropia aproximada, mantenint la freqüència de mostreig més elevada (1000Hz) per no perdre informació rellevant (Adesida et al., 2019). Fent un breu incís a l'entropia aproximada, cal comentar que és un paràmetre relativament abstracte el qual quantifica la regularitat d'una sèrie temporal de dades, de forma que com més predictable sigui una sèrie de dades, menor és el valor de l'entropia i contràriament com menys regular i menys patrons repetitius tingui una sèrie de dades, major és el valor d'aquest paràmetre (Del Castillo et al., 2008). El valor d'aquest paràmetre és inversament proporcional a l'estabilitat (Bastida et al., 2018).

Del segon dispositiu inercial s'extreuen les dades relatives als clics, tanmateix anomenats com a "Counts", de tal forma que sincronitzades amb les dades del primer dispositiu es pot determinar l'inici i final de cada prova.

A partir de la informació explicada i través de les funcionalitats del programa SPRO es fragmenten els arxius dels nou subjectes amb les seccions de 20 segons pertinents a cada prova del test. Fent ús dels monitors de l'aplicatiu es vinculen els tres paràmetres citats per a cada secció (vegeu annex 12.2).

Pel que fa als resultats dels tests, tots s'enregistren amb una càmera Leica SuperSpectrum (f/1.8) de 40 MP d'un telèfon intel·ligent Huawei P30 per fer una anàlisi més acurada dels errors comesos per cada subjecte a través del reproductor de vídeo VLC. Com a breu recordatori, es considera error qualsevol dels següents successos: obrir els ulls, aixecar les mans de les crestes ilíaqües, fer una passa / entrebancar-se / caure, aixecar el peu o el taló, abduir la pelvis més de 30° o mantenir una posició incorrecta a la de la prova durant 5 o més segons.

D'acord amb el tipus d'estudi i amb l'objectiu principal de la recerca, s'utilitzen els paràmetres estadístics descriptius de mitjana, desviació típica, mínim i màxim per resumir i concretar els resultats obtinguts. D'altra banda, s'utilitza el coeficient de correlació de Pearson " r " per determinar la relació en termes correlatius entre les dues variables explicades (l'AcelT a través dels paràmetres \bar{x} , CV i ApEn, i els resultats del test a través de l'observació dels errors comesos pels subjectes).

Respecte de la interpretació del coeficient de correlació, com que el test BESS és d'origen clínic, es segueix el criteri establert per Akoglu (2018): 0 "none"; $\pm 0.1 - 0.2$ "poor"; $\pm 0.3 - 0.5$ "fair", $\pm 0.6 - 0.7$ "moderate", $\pm 0.8 - 0.9$ "very strong"; ± 1 "perfect". Per tant, traduït a l'idioma local s'entenen els intervals d'interpretació de la següent forma: inexistent, molt baix, baix, moderat, molt fort i perfecte.

En darrer lloc, comentar que la globalitat de totes les dades obtingudes s'emmagatzemen en una base de dades creada al programa Microsoft Excel versió 2007. Un cop analitzades les dades es traspassen al programa estadístic JASP versió 0.14.1 per verificar els resultats i per crear qualsevol eina de suport visual.

6 Resultats

Els resultats obtinguts es mostren de manera resumida i compacta dividits en dos blocs. Un primer bloc referent a la globalitat de les dades obtingudes, i un segon bloc on es mostren els resultats específics per a cada prova del test BESS.

Prèviament, per tal de resumir i descriure les dades generals, a continuació es mostren els paràmetres estadístics descriptius de les sis proves del test executades per la mostra de l'estudi (vegeu taula 1).

Taula 1. Paràmetres estadístics descriptius dels resultats obtinguts en les dues variables: l'acceleració total a través dels paràmetres de mitjana, coeficient de variació i entropia aproximada, i els errors comesos pels subjectes en el test.

Estadístics descriptius	\bar{x} AceIT	CV AceIT	ApEn AceIT	Errors BESS
Valid	54	54	54	54
Mean	1.000	3.445	0.553	2.389
Std. Deviation	0.002	3.262	0.109	3.339
Minimum	0.997	0.240	0.210	0.000
Maximum	1.008	15.980	0.783	12.000

Nota. El paràmetre "Valid" fa referència a la quantitat mostral general (sis proves per nou subjectes). El paràmetre "Mean" és la mitjana. El paràmetre "Std. Deviation" és la desviació estàndard. I els paràmetres "minimum" i "maximum" són el mínim i el màxim de les variables mostrades.

Cal fer incís en comentar que aquestes dades descriuen els aspectes més rellevants i generals de l'estudi pel que fa a les variables estudiades, però no descriuen els resultats pròpiament, per la qual cosa es mostren els dos següents apartats.

6.1 Resultats del global de les dades

Els resultats del global de les dades es mostren de forma concreta i resumida en la següent taula (vegeu taula 2).

Igual que a l'apartat anterior, la variable AcelT s'expressa a partir dels tres paràmetres mostrats (\bar{x} , CV i ApEn), mentre que els resultats subjectius a partir del sistema de puntuació del BESS s'expressen mitjançant els errors comesos en total de les proves.

Taula 2. Correlació entre els errors totals produïts pels subjectes de la mostra i els paràmetres de mitjana, coeficient de variació i l'entropia aproximada de l'acceleració total.

Variabls	n	r
Errors BESS – \bar{x} AcelT	54	0.592***
Errors BESS – CV AcelT	54	0.720***
Errors BESS – ApEn AcelT	54	- 0.453***

Nota. La lletra "n" fa referència a la quantitat mostral total (proves del test per subjectes de la mostra). La lletra "r" és el coeficient de correlació de Pearson. El símbol "***" fa referència al nivell de significació de les dades (* p < .05, ** p < .01, *** p < .001).

Fent referència a la interpretació dels coeficients de Pearson seguint el criteri citat a l'apartat d'anàlisi de dades, hi ha una correlació positiva baixa entre els errors i la mitjana d'acceleració total i una correlació negativa baixa amb l'entropia aproximada de l'acceleració total. També es troba una correlació positiva moderada entre els errors del test i el coeficient de variació de l'acceleració total. Un aspecte important a remarcar és que tal com indica *p*, la correlació és significativa.

6.2 Resultats per proves del test

Entrant en detall en cada una de les proves que formen el test BESS per separat, a la següent taula es mostren de forma resumida tots els resultats obtinguts respecte a dades correlatives entre les dues variables. Totes les dades mostrades sorgeixen de l'execució dels nou subjectes de mostra en cada una de les sis proves que formen el test (vegeu taula 3).

Taula 3. Correlació entre els errors produïts pels subjectes de la mostra en cada prova i els paràmetres de mitjana, coeficient de variació i l'entropia aproximada de l'acceleració total.

Proves	n	r errors BESS -Mitjana AceIT	r errors BESS -CV AceIT	r errors BESS -ApEn AceIT
BLT	9	_ ^a	_ ^a	_ ^a
ULT	9	0.613	0.854**	- 0.152
TDT	9	0.730*	0.560	- 0.367
BLF	9	0.326	0.558	- 0.212
ULT	9	0.724*	0.391	- 0.585
TDF	9	0.648	0.746*	- 0.368

Nota. La lletra "n" fa referència a la quantitat mostral total (prova del test per subjectes de la mostra). La lletra "r" és el coeficient de correlació de Pearson. El símbol "*" fa referència al nivell de significació de les dades (* p < .05, ** p < .01, *** p < .001). L'apòstrof ^a significa que la variància dels errors del test és igual a zero.

En primer lloc cal comentar que tal com indica l'apòstrof ^a, no es pot establir correlació entre les dues variables en cap dels tres paràmetres a la prova bilateral sobre terra a causa de la inexistència d'errors. Com que no hi va haver cap error en aquesta prova, la variança és igual a zero i la correlació és impossible de determinar.

Com a aspectes a ressaltar, s'ha trobat una correlació positiva molt forta a la prova unilateral sobre terra amb el coeficient de variació de l'acceleració total, a més de ser una correlació notablement significativa i ser la major correlació trobada en el conjunt

de les proves. D'altra banda s'ha trobat una correlació positiva moderada amb la mitjana de l'acceleració total a la prova tàndem sobre terra. Pel que fa a la prova bilateral sobre foam no s'observen valors remarcables quant a correlació entre paràmetres, el coeficient més elevat pertany a la relació amb el coeficient de variació de l'acceleració, però és de tipus baixa. De la prova unilateral sobre foam cal destacar la correlació positiva moderada amb la mitjana de l'acceleració total. I finalment a la prova de tàndem sobre foam es remarca una correlació positiva moderada amb el coeficient de variació de l'acceleració total.

Per acabar, tot i no ser objectiu de l'estudi, s'ha comprovat la relació entre les variables citades amb els mateixos paràmetres però per cada subjecte en lloc de fer-ho per les diferents proves del test. S'han trobat correlacions notablement elevades, però com que es tracten de dades aïllades i es desvinculen lleugerament de la finalitat de l'estudi, s'han omès en la presentació d'aquests resultats.

7 Discussió

L'objectiu general d'aquest estudi ha estat determinar la relació entre els resultats del test de valoració BESS i l'acceleració total captada per una unitat inercial de mesura en una mostra d'esportistes amateurs amb la finalitat de poder mostrar un possible protocol a seguir utilitzant el dispositiu inercial WIMU PRO.

El BESS és probablement el test portable de baix cost més àmpliament utilitzat en context d'estabilitat postural per les seves característiques (Neville et al., 2015). De forma resumida, es basa en l'execució de sis posicions estàtiques durant 20 segons cada una, en les quals l'avaluador comptabilitza el nombre d'errors que comet el subjecte per cada prova i el sumatori total (Bell et al., 2011). A causa de l'alta subjectivitat del seu sistema de puntuació (Dabbs et al., 2017) i la controvèrsia en la fiabilitat descrita per alguns autors (Finnoff et al., 2009), diversos investigadors han buscat la manera d'objectivar-lo mitjançant noves tecnologies. Tenint en compte que en els darrers anys hi ha hagut un increment en l'ús de la tecnologia inercial portable al món de l'esport (Adesida et al., 2019) i concretament en el context de la valoració de l'equilibri (Ghislieri et al., 2019; Doherty et al., 2017), diversos estudis citats per Kim et al., (2018) concorden en què la vinculació d'un test d'equilibri instrumentat amb un IMU és una eina vàlida per valorar l'equilibri estàtic, la qual incrementa la sensibilitat i objectivitat de les dades resultants (Parrington et al., 2020).

Per instrumentar el test de valoració, en aquest estudi s'ha utilitzat un WIMU PRO, un dispositiu inercial de mesura triaxial, considerats vàlids davant estàndards d'or com les plataformes de força pel que fa a la valoració de l'equilibri (Ghislieri et al., 2019). El dispositiu s'ha col·locat a la zona lumbar – sacre, regió més utilitzada pels investigadors (King et al., 2014, Alberts et al., 2015, Ghislieri et al., 2019) i s'han extret les dades provinents de l'acceleració, sensor més utilitzat per la bibliografia analitzada (Howell et al., 2015, Lee et al., 2018, Ghislieri et al., 2019).

Contràriament a les prediccions establertes, els resultats obtinguts s'allunyen de les hipòtesis plantejades i discrepen davant l'evidència que dona suport a l'ús de la tecnologia inercial per la valoració de l'equilibri. Brown et al., (2014) van validar un algoritme "oBESS" amb subjectes sans a partir de les dades d'acceleració lineal captades per un IMU col·locat al front, mitjançant el qual van trobar correlació amb les proves sobre la superfície de foam i van preveure objectivament la puntuació del BESS.

Es podria especular que la zona de col·locació del dispositiu inercial és la principal causant d'aquesta discussió, tot i anar en contra de la metanàlisi de Ghislieri et al., (2019) que assegura que la zona lumbar – sacre és la més òptima. Alberts et al., (2015) van desenvolupar un mètode d'instrumentació del test BESS anomenat "iBESS" mitjançant les dades triaxials de l'acceleròmetre i el giroscopi d'un dispositiu inercial de mesura situat a la zona lumbar – sacre, la qual cosa els va proporcionar major sensibilitat i objectivitat en la valoració del BESS que utilitzant únicament el sistema de puntuació tradicional del test. Aquest fet podria eliminar l'especulació entorn de la zona de col·locació del dispositiu.

Com a part de l'estudi d'Alberts et al., (2015), van trobar correlació entre els errors del BESS i les dades de l'iBESS a les proves unilateral a terra, tàndem a terra i tàndem a foam. Aquesta troballa coincideix parcialment amb aquest estudi el qual també s'ha trobat correlació a les tres proves citades a partir de paràmetres diversos. La principal diferència la trobem en el fet que el mètode "iBESS" d'Alberts et al., (2015) es basa en el càlcul del volum el·lipsoïdal a partir de les dades triaxials dels dos sensors citats anteriorment. Mentre que en aquest estudi no s'utilitzen les dades del giroscopi i únicament es fa ús del paràmetre AcelT que incorpora l'acceleració total de la unió dels tres eixos.

Es pot afirmar que la majoria d'evidències citades arriben a la conclusió que la instrumentació del test BESS amb una unitat inercial de mesura els ha permès incrementar l'objectivitat i sensibilitat dels resultats del test, per la qual cosa troben una millora del test quan se li vincula un IMU. Excepte, Furman et al, (2013) els quals no van obtenir informació addicional en el test BESS quan hi van afegir un dispositiu inercial de mesura. L'acceleració anteroposterior de l'IMU col·locat a la part anterior de la pelvis va resultar menys útil que el mateix sistema de puntuació del BESS.

Relacionant aquesta evidència amb el present estudi, es va descartar la zona anterior de la pelvis com a lloc de col·locació, i el cert és que el dispositiu inercial sí que va aportar informació addicional respecte el sistema de puntuació del test, però aquesta no mostra una linealitat clara per considerar-se segura. Cal esmentar que seguint la bibliografia analitzada, els objectius de la present recerca es desvinculen dels objectius dels estudis citats als anteriors paràgrafs, i per tant, aquest estudi sembla ser el primer que investiga la relació entre els resultats del test BESS i les variables de la mitjana, coeficient de variació i entropia aproximada del paràmetre AcelT derivat d'un WIMU

PRO, fet que dificulta establir una discussió directa amb un estudi amb finalitats similars.

El fet de no haver trobat bibliografia específica o haver-ne trobat de molt escassa en l'ús d'aquest dispositiu per la valoració de l'equilibri podria ser determinant en els resultats obtinguts i en la present discussió. Tan sols es va trobar un estudi que utilitzés un WIMU PRO en el context d'estabilitat postural, el qual va ser Bastida et al., (2018) on van quantificar el nivell d'estabilitat de quatre exercicis aïllats (pont lateral, planxa frontal, pont supí i recolzament monòpode) a través dels paràmetres d'entropia i coeficient de variació de l'acceleració. D'acord amb aquest estudi es van contemplar els dos paràmetres utilitzats, però els resultats no segueixen la mateixa tendència.

Per un costat, la correlació moderada trobada entre els resultats BESS i el coeficient de variació de l'acceleració total en el global de les dades fa pensar que hi pot haver un principi de relació entre variables. No és una correlació molt elevada, però sí que es podrien considerar futures investigacions en aquest camí per desenvolupar un possible mètode instrumentat per incrementar l'objectivitat de les dades i superar la subjectivitat del BESS. Però per altre costat, la falta de consistència entre els resultats correlatius en les diferents provés del test no ofereix una visió clara sobre quina és la variable òptima a utilitzar. Hi ha diverses suposicions que poden justificar els resultats obtinguts.

Un aspecte determinant és que els sensors inercials de moviment no poden captar l'error establert d'obrir els ulls per part del subjecte, per la qual cosa un subjecte pot haver comès aquest error en una prova i en una altra no. De la mateixa manera també s'hi va trobar Brown et al., (2014) en el seu estudi i ho remarca com una limitació del dispositiu en aquest camp. Aquest fet podria alterar la relació entre els errors anotats per l'avaluador i els paràmetres d'acceleració captats per l'IMU.

Un altre aspecte que pot haver estat significatiu és la subjectivitat del sistema de puntuació del BESS. Finnoff et al., (2009) reporten que alguns dels errors estipulats en el sistema de puntuació del test són altament subjectius i difícilment identificables per l'avaluador, per la qual cosa demanen la creació d'un BESS modificat que redueixi el nombre d'errors per incrementar la fiabilitat del sistema de puntuació. En el present estudi es pot certificar que errors com abducció de maluc major de 30° és difícil de captar.

Seguint amb el sistema de puntuació del BESS, la prova bilateral sobre la superfície de terra, abreviada en aquest estudi com a BLT, no va causar inestabilitat als subjectes. Aquesta falta d'errors en la prova, tanmateix observada per Alberts et al., (2015), provoca la impossibilitat d'establir correlació. Com que tots els subjectes van fer zero errors en aquesta prova, la variància és igual a zero i la correlació és impossible de determinar. D'acord amb Finnoff et al., (2009) que també es van trobar amb aquesta problemàtica, es proposa la realització d'estudis que investiguin el percentatge d'errors d'aquesta prova amb mostres més grans per certificar si la prova és òptima amb relació a la finalitat del test.

Un altre aspecte clau observat en aquest estudi i contrastat amb altres autors va relacionat amb les tendències de comportament a l'hora d'executar el test. Tenint en compte que el sistema de puntuació del BESS valora el grau d'equilibri en funció de sis errors estipulats, en aquest estudi s'ha observat dues tendències de comportament que concorden exactament amb una observació feta a l'estudi d'Alberts et al., (2015). Els investigadors van observar que participants reaccionaven a petites pertorbacions fent petits salts o movent els peus per evitar perdre l'equilibri, la qual cosa contava com a errors. Altres participants intentaven mantenir l'equilibri sense intentar cometre errors del test, la qual cosa els produïa menys errors però més significatius. En aquest estudi s'ha pogut observar els mateixos patrons de comportament. Alguns subjectes van cometre molts errors, però poc significatius per tocar amb la punta del peu a terra de forma repetida sense observar-se una situació d'excés de desequilibri. Mentre que d'altres subjectes van cometre pocs errors però molt més significatius com per exemple fent grans oscil·lacions del tronc. Alberts et al., (2015) va admetre que el seu mètode va permetre captar aquestes tendències de comportament, cosa que contràriament en aquest estudi va provocar l'alteració d'alguns paràmetres com per exemple l'entropia aproximada.

Incidint amb l'ApEn, cal recordar que aquest paràmetre quantifica la regularitat temporal d'una sèrie de dades (Del Castillo et al., 2008). Tenint en compte que el seu valor és inversament proporcional a l'estabilitat (Bastida et al., 2018), seguint aquest autor, en el present estudi es va creure que podria ser un bon indicador d'equilibri en les proves del BESS, a través d'una correlació inversa o negativa amb els errors del test. En relació amb les dues tendències de comportament citades, l'entropia es va veure afectada per aquells subjectes que cometien pocs errors d'equilibri però molt significatius, causant un pic d'acceleració al sistema. Tot i això, tal com s'ha comentat a l'apartat de resultats, es van trobar correlacions significatives entre aquest paràmetre

i alguns subjectes en concret. En sis dels nou subjectes de la mostra, es va observar que la prova amb el nombre màxim d'errors del test coincidia amb el valor mínim d'entropia en el conjunt de les sis proves que formen el test. Aquest resultat no es pot extrapolar com a resultat general de l'estudi al tractar-se de subjectes en concret, però sí que ens pot oferir un indicador positiu d'aquesta variable a tenir en compte en properes investigacions.

Per acabar, com a breu reflexió posant en comú la discussió elaborada, es podria dir que no s'ha observat una relació estable que permeti certificar una forta correlació entre variables a les diferents proves del test, i per tant, oferir un protocol viable. Aquesta breu conclusió entra en concordança amb evidències que, tot i la creixent tendència en l'ús d'aquests dispositius, segueixen donant suport a l'ús de les plataformes de forces per la major sensibilitat que ofereixen en aquest camp (Lee et al., 2018). O tanmateix, el corrent de Johnston et al., (2019) els quals reporten a la seva revisió sistemàtica que a avui dia encara no es pot certificar una clara validesa i fiabilitat sistemàtica per la falta d'heterogeneïtat dels estudis pel que fa a protocols, tipus de sensors utilitzats, procediments, variables o grandària de la mostra entre altres aspectes.

8 Conclusions

Amb relació a les hipòtesis plantejades a partir dels objectius d'aquest treball, es poden determinar tres conclusions; una general i dues específiques.

En relació amb la hipòtesi general, es pot concloure que no hi ha una correlació molt forta entre els resultats del test de valoració BESS i l'acceleració total captada per una unitat inercial de mesura en una mostra d'esportistes amateurs.

En relació amb la primera hipòtesi específica, es pot concloure que no existeix una correlació molt forta entre el nombre d'errors totals del test i els paràmetres de mitjana, coeficient de variació i entropia aproximada de l'acceleració total captada pel dispositiu inercial WIMU PRO. Concretament hi ha una correlació baixa amb la mitjana AcelT ($r = 0.592$), una correlació moderada amb el CV AcelT ($r = 0.720$) i una correlació negativa baixa amb l'ApEn AcelT ($r = 0.453$).

En relació amb la segona hipòtesi específica, es pot concloure que no existeix una correlació molt forta entre el nombre d'errors obtinguts en les diferents proves del test per separat i els paràmetres de mitjana, coeficient de variació i entropia aproximada de l'acceleració total captada pel dispositiu inercial WIMU PRO. Els valors més elevats els trobem a la prova ULT amb el CV AcelT ($r = 0.854$), essent la correlació més forta del conjunt, i correlacions moderades a la prova TDT ($r = 0.730$) amb la mitjana d'AcelT, a la prova ULF ($r = 0.724$) amb la mitjana d'AcelT i a la prova TDF ($r = 0.746$) amb el CV AcelT. No hi ha un paràmetre que tingui una relació clara amb els resultats del test. La resta de correlacions són de tipus baix i molt baix.

Per tant, podem determinar com a conclusió general de l'estudi que, tot i trobar una correlació moderada entre els errors comesos pels subjectes i el coeficient de variació de l'acceleració total captada pel dispositiu inercial de mesura en la globalitat de les dades, no hi ha una correlació clara i estable entre els diferents paràmetres i els errors avaluats que pugui verificar els resultats com a determinants en les diferents proves que formen el test BESS per separat. Tenint en compte l'evidència citada i la discussió elaborada a l'apartat anterior, aquestes conclusions deriven a exposar que el protocol establert o l'anàlisi de dades realitzat no són òptims per a la valoració de l'equilibri amb esportistes amateurs.

9 Limitacions i prospectiva d'investigació

L'estudi presenta un seguit de limitacions que són importants a esmentar i a tenir en consideració de cara a possibles futures investigacions seguint aquesta línia de recerca.

La primera limitació està associada a la grandària i concessió de la mostra. En aquest estudi s'ha utilitzat una mostra de nou estudiants voluntaris els quals se'ls requeria ser esportistes com a criteri d'inclusió. Tot i trobar una correlació moderada amb un paràmetre del total de subjectes de la mostra, és necessària una mostra més gran i més concreta per poder determinar amb certesa i consistència la relació que hi ha entre les variables investigades.

En relació amb la mostra, hi ha una segona limitació associada a la quantitat mostral total utilitzada per comprovar les relacions globals entre variables. És a dir, els nou subjectes de la mostra van realitzar les sis proves que formen el test de valoració utilitzat. Per tant, el banc de dades general elaborat per comprovar les correlacions globals és de cinquanta-quatre valors, la qual cosa correspondria a una mostra real de cinquanta-quatre ítems per aquesta part de resultats.

Una altra limitació de l'estudi és que els subjectes van familiaritzar-se amb el test de valoració el mateix dia de la recollida de dades. Aquest fet podria provocar que les dades extrems dels primers subjectes es trobessin esbiaixades respecte de les dades dels darrers subjectes que han tingut més temps per interioritzar i entendre el protocol d'actuació del test.

També s'associa com a limitació la pròpia inexperiència com a avaluador en el test BESS. Tot el meu coneixement sobre aquest test el vaig adquirir en la cerca bibliogràfica i en la visualització de diferents vídeos d'experts formats en l'avaluació de BESS. Altrament no tinc cap formació específica al respecte. Podria ser necessari en futures investigacions que l'avaluador tingui formació o un major període d'adaptació o experiència amb el test d'avaluació.

En darrer lloc, el poc coneixement específic entorn dels dispositius WIMU PRO per a la valoració de l'equilibri també pot ser un factor limitant en aquest estudi. Vaig familiaritzar-me tant amb el hardware com amb el software d'anàlisi durant els dos mesos previs a l'inici de la recerca i vaig rebre una petita "masterclas" per part d'un expert en la matèria. Tot i això, la falta de coneixement profund entorn dels dispositius i

al programa d'anàlisi va conduir a què el protocol dissenyat fos relativament senzill i amb les funcionalitats més bàsiques. De cara a futures investigacions es podria implementar el sistema de captació de dades a temps real que disposa el dispositiu per disminuir possibles errors d'anàlisi amb el software SPRO.

Paral·lelament a les limitacions de l'estudi i a les respectives propostes de millora per futures investigacions també és necessari comentar possibles perspectives d'investigació en aquesta línia de recerca.

En primer lloc, fent esment a la primera limitació comentada, seria interessant repetir el present estudi amb una mostra notablement més àmplia i concreta. Per exemple, amb la totalitat d'alumnes d'un curs, de dos cursos o fins i tot dels quatre els cursos del grau que practiquin un únic esport en concret. D'aquesta forma es podria comprovar amb consistència si el problema principal amb els resultats d'aquest estudi es troba amb la grandària i concessió de la mostra.

D'altra banda, com a segona perspectiva es podria investigar la relació entre el sistema de puntuació del test basat en errors i altres paràmetres mecànics, com per exemple l'acceleració fragmentada en els diferents eixos de tal manera que es pogués conèixer si hi ha algun eix específic que reporta més relació entre variables i més informació sobre el grau d'equilibri de l'esportista.

De manera similar, es podria seguir la investigació utilitzant altres sensors integrats en el dispositiu. Per exemple el giroscopi i els paràmetres mecànics que ofereix com la velocitat angular, podrien proporcionar informació sobre el comportament del centre de gravetat i han estat vinculats satisfactòriament en altres estudis. Doncs es podria investigar en aquest cas utilitzant específicament els dispositius WIMU PRO.

10 Valoració i reflexió personal del procés d'elaboració del TFG

El procés d'elaboració del Treball de Fi de Grau ha estat un període llarg i farcit d'aprenentatges. Aquest projecte de final de grau, primerament havia de ser en col·laboració amb el departament de CAF, tot i que definitivament va acabar sent un projecte vinculat amb una línia de recerca de la tutora del mateix projecte, la qual cosa em fa estar tanmateix agraït per l'oportunitat.

Personalment, l'elaboració del treball m'ha permès conèixer, aprofundir i experimentar el mètode científic en primera persona. M'ha permès impregnar-me d'autors que m'han ajudat a procurar seguir pas a pas el procediment de recerca per a resoldre la problemàtica plantejada. Tot i obtenir finalment uns resultats lleugerament inesperats, l'elaboració del treball m'ha permès aprendre al voltant de les unitats inercials de mesura, una nova tecnologia emergent en el món de l'esport, en aquest cas a través dels dispositius WIMU PRO. Paral·lelament, m'ha permès aprendre les funcions bàsiques de diversos programes d'anàlisi de dades, concretament del programa SPRO per les dades del dispositiu inercial i el programa JASP pels resultats estadístics.

A nivell professional, cal vincular-ho amb els aprenentatges adquirits en aquests quatre anys. Al llarg del grau hem tractat entre moltes altres coses, com optimitzar el rendiment d'un esportista professional o amateur així com les formes de millorar l'estat de salut d'una persona que practica esport per afició. Els coneixements adquirits en aquest treball entorn les unitats inercials de mesura i l'anàlisi de les seves dades em poden ser de molta utilitat en aquest futur immediat com a professional de l'esport graduat en CAFE. A més considerant que el camp de l'equilibri i l'estabilitat és important per la prevenció de lesions, l'elaboració d'aquesta recerca m'ha permès conèixer un test de valoració i possibles formes d'intentar incrementar la seva objectivitat.

11 Bibliografía

Adesida, Y., Papi, E., McGregor, A.H. (2019). Exploring the role of wearable technology in sport kinematics and kinetics: a systematic review. *Sensors*, 19(1597), 1-26. <https://doi.org/10.3390/s19071597>

Akoglu H. (2018). User's guide to correlation coefficients. *Turkish journal of emergency medicine*, 18(3), 91–93. <https://doi.org/10.1016/j.tjem.2018.08.001>

Alberts, J.L., Thota, A., Hirsch, J., Ozinga, S., Dey, T., Schindler, D., Miller, M., Burke, D., Linder, S.M. (2015). Quantification of the Balance Error Scoring System with Mobile Technology. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(10), 2233-2240. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000656>

Amick, R.Z., Chaparro, A., Patterson, J.A., Jorgensen, M.J. (2015). Test-retest reliability of the sway balance mobile application. *Journal of Mobile Technology in Medicine*, 4(2), 40-47. doi:10.7309/jmtm.4.2.6

Bastida, A., Gómez, C.D., Reche, P., Granero, P., Pino, J. (2018). Valoración de la estabilidad del tronco mediante un dispositivo inercial. *Retos*, 33, 199-203. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i33.55126>

Bell, D.R., Guskiewicz, K.M., Clark, M.A., Padua, D.A. (2011). Systematic review of the Balance Error Scoring System. *Journal of Sports Health*, 3(3), 287-295. <https://doi.org/10.1177/1941738111403122>

Bressel, E., Yonker, J.C., Kras, J., Heath, E.M. (2007). Comparison of static and dynamic balance in female collegiate soccer, basketball and gymnastics athletes. *Journal of Athletic Training*, 42(1), 42-46.

Brown, H.J., Siegmund, G.P., Guskiewicz, K.M., Van Den Doel, K., Cretu, E., & Blouin, J.S. (2014). Development and validation of an objective Balance Error Scoring System. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(8), 1610–1616. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000263>

Camomilla, V., Bergamini, E., Fantozzi, S., & Vannozzi, G. (2018). Trends Supporting the In-Field Use of Wearable Inertial Sensors for Sport Performance Evaluation: A Systematic Review. *Sensors*, 18(3), 873. <https://doi.org/10.3390/s18030873>

Chander, H., MacDonald, C.J., Dabbs, N.C., Allen, C.R., Lamont, H.S., Garner, J.C. (2014). Balance performance in female collegiate athletes. *Journal of Sports Science*, 2, 13-20. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ddae13>

Dabbs, N.C., Sauls, N.M., Zayer, A., Chander, H. (2017). Balance performance in collegiate athletes: A comparison of Balance Error Scoring System measures. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 2(26), 1-7. <https://doi.org/10.3390/jfmk2030026>

Del Castillo, J.A., De la Cruz Torres, B., Orellana, J.N., Prada, R.C., Jiménez, J.D.D.B. (2008). Análisis del equilibrio estático en sujetos sanos mediante el cálculo de la entropía muestral. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 1(3), 98-101.

Doherty, C., Zhao, L., Ryan, J., Komaba, Y., Inomata, A., Caulfield, B. (2017). Quantification of postural control deficits in patients with recent concussion: An inertial-sensor based approach. *Clinical Biomechanics*, 42, 79-84. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.01.007>

Espinosa, C.M., San-Martin, S.L., Buendia, E.R.P., Aguilar, R.I. (2017). Validation of BESS (Balance Error Scoring System) test in Physical Education. *Journal of Sports Science*, 5, 278-284. <http://dx.doi.org/10.17265/2332-7839/2017.05.007>

Feigenbaum, L.A., Kim, K.J., Gaunaurd, I.A., Kaplan, L.D., Scavo, V.A., Bennett, C., Gailey, R.S. (2019). Post-concussive changes in balance and postural stability measured with CaneSense and the Balance Error Scoring System (BESS) in division I collegiate football players: a case series. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(2), 296-307.

Finnoff, J.T., Peterson, V.J., Hollman, J.H., Smith, J. (2009). Intrarater and interrater reliability of the Balance Error Scoring System (BESS). *The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 1(1), 50–54. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2008.06.002>

Fort, A., Romero, D. (2013). Análisis de los factores de riesgo neuromusculares de las lesiones deportivas. *Apunts. Medicina de l'Esport*. 48(179), 109-120. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2013.05.003>

Furman, G.R., Lin, C.C., Bellanca, J.L., Marchetti, G.F., Collins, M.W., Whitney, S.L. (2013). Comparison of the balance accelerometer measure and Balance Error Scoring System in adolescent concussions in sports. *The American Journal of Sports Medicine*, *41*, 1401-1410. <https://doi.org/10.1177/0363546513484446>

Gabbett, T.J. (2015). Relationship between accelerometer load, collisions, and repeated high-intensity effort activity in rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(12), 3424-3431. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001017>

Ghislieri, M., Gastaldi, L., Pastorelli, S., Tadano, S., & Agostini, V. (2019). Wearable Inertial Sensors to Assess Standing Balance: A Systematic Review. *Sensors*, *19*(19), 4075. <https://doi.org/10.3390/s19194075>

Gordt, K., Gerhardy, T., Najafi, B., Schwenk, M. (2018). Effects of Wearable Sensor-Based balance and gait training on balance, gait and functional performance in healthy and patient populations: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Gerontology*, *64*, 74-89. <https://doi.org/10.1159/000481454>

Horak, F.B. (1987). Clinical Measurement of Postural Control in Adults. *Physical Therapy*, *67*(12), 1881-1885. <https://doi.org/10.1093/ptj/67.12.1881>

Howell, D., Osternig, L., Chou, L.S. (2015). Monitoring recovery of gait balance control following concussion using an accelerometer. *Journal of Biomechanics*, *48*, 3364-3368. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.06.014>

Hrysomallis, C. (2011). Balance ability and athletic performance. *Sports Medicine*, *41*(3), 221-232. <https://doi.org/10.2165/11538560-000000000-00000>

Izzo, R., Sebastianelli, M., Hosseini, V.C. (2018). Balance as quality of motory-sports performance in a target evaluation between advanced technology/IMU. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*, *5*(1), 7-11.

Johnston, W., Argent, R., O'Reilly, M., Caulfield, B. (2019). Reliability, validity and utility of inertial sensor systems for postural control assessment in sport science and medicine applications: A systematic review. *Sports Medicine*, *49*(5), 783-818. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01095-9>

Johnston, W., O'Reilly, M., Dolan, K., Reid, N., Coughlan, G., Caulfield, B. (2016). Objective classification of dynamic balance using a single wearable sensor. Dins de Correia, P.P., Cabri, J. (Eds.), *4th International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support: 7, 8 i 9 de novembre de 2016*. (pp.15-24). Porto: Scitepress, Science and Technology Publications. <http://dx.doi.org/10.5220/0006079400150024>

Kim, K.J., Agrawal, V., Bennett, C., Gaunard, I., Feigenbaum, L., Gailey, R. (2018). Measurement of lower limb segmental excursion using inertial sensors during single limb stance. *Journal of Biomechanics*, 71, 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.01.042>

King, L.A., Horak, F.B., Mancini, M., Pierce, D., Priest, K.C., Chesnutt, J., Sullivan, P., Chapman, J.C. (2014). Instrumenting the Balance Error Scoring System for use with patients reporting persistent balance problems after mild traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(2), 353–359. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.10.015>

King, L.A., Mancini, M., Fino, P.C., Chesnutt, J., Swanson, C.W., Markwardt, S., Chapman, J.C. (2017). Sensor-Based Balance Measures Outperform Modified Balance Error Scoring System in Identifying Acute Concussion. *Annals of biomedical engineering*, 45(9), 2135–2145. <https://doi.org/10.1007/s10439-017-1856-y>

Kunze, K., Bahle, G., Lukowicz, P., y Partridge, K. (2010). Can magnetic field sensors replace gyroscopes in wearable sensing applications? Dins *International Symposium on Wearable Computers: 10-13 d'octubre de 2010*. (pp. 1–4). Seoul: IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ISWC.2010.5665859>

Lee, C.H., Sun, T.L. (2018). Evaluation of postural stability based on a force plate and inertial sensor during static balance measurements. *Journal of physiological anthropology*, 37(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40101-018-0187-5>

Leirós, R., Arce, M.E., García, J.L. (2015). Estudio piloto para la valoración del equilibrio en mujeres adultas con un elemento cinemático. *Retos*, 28, 90-93. <http://dx.doi.org/10.47197/retos.v0i28.34899>

Mancini, M., Salarian, A., Carlson, P., Zampieri, C., King, L., Chiari, L., Horak, F.B. (2012). ISway: a sensitive, valid and reliable measure of postural control. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-59>

- Mellone, S., Tacconi, C., Schwickert, L., Klenk, J., Becker, C., Chiari, L. (2012). Smartphone-based solutions for fall detection and prevention: the FARSEEING approach. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 45(8), 722–727. <https://doi.org/10.1007/s00391-012-0404-5>
- Neville, C., Ludlow, C., Rieger, B. (2015). Measuring postural stability with an inertial sensor: validity and sensitivity. *Medical Devices: Evidence and Research*, 8, 447-455. <https://doi.org/10.2147/MDER.S91719>
- Parrington, L., Popa, B., Martini, D.N., Chesnutt, J.C., King, L.A. (2020). Instrumented balance assessment in mild traumatic brain injury: Normative values and descriptive data for acute, sub-acute and chronic populations. *Journal of Concussion*, 4, 1-11. <https://doi.org/10.1177/2059700220975605>
- Parus, K., Lisinski, P., Huber, J. (2015). Body balance control deficiencies following ACL reconstruction combined with medial meniscus suture. A preliminary report. *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and research*, 101, 807-810. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2015.07.015>
- Passaro, V.M.N., Cuccovillo, A., Vaiani, L., De Carlo, M., Campanella, C.E. (2017). Gyroscope technology and applications: a review in the industrial perspective. *Sensors*, 17, 1-22. <https://doi.org/10.3390/s17102284>
- Patel, D.R., Yamasaki, A., Brown, K. (2017). Epidemiology of sports-related musculoskeletal injuries in young athletes in United States. *Transnational Pediatrics*, 6(3), 160-166. <https://doi.org/10.21037/tp.2017.04.08>
- Patterson, J.A., Amick, R.Z., Thummar, T., Rogers, M.E. (2014). Validation of measures from the smartphone sway balance application: a pilot study. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(2), 135-139.
- Patti, A., Messina, G., Palma, R., Barcellona, M., Brusa, J., Iovane, A., Palma, A. (2018). Comparison of posturographic parameters between young taekwondo and tennis athletes. *Journal of Physical Therapy Science*, 30, 1052-1055. <https://doi.org/10.1589/jpts.30.1052>
- Pérez-Soriano, P. (Coord.). (2018). *Metodología y aplicación práctica de la biomecánica deportiva*. Universidad de Valencia: Paidotribo.

Real Track Systems. (n.d). Consultat 25 gener 2021, des de <http://www.realtracksystems.com/wp-content/uploads/2017/09/dossier.pdf>

Riemann B.L, Guskiewicz K.M, Shields E.W. (1999). Relationship between clinical and forceplate measures of postural stability. *Journal of Sport Rehabilitation*, 8, 71– 82. <http://dx.doi.org/10.1123/jsr.8.2.71>

Rogers, M.E., Rogers, N.L., Takeshima, N., Islam, M.M. (2003). Methods to assess and improve the physical parameters associated with fall risk in older adults. *Preventive Medicine*, 36(3), 255–264. [https://doi.org/10.1016/s0091-7435\(02\)00028-2](https://doi.org/10.1016/s0091-7435(02)00028-2)

Rose, D.J. (2014). *Equilibrio y movilidad con personas mayores* (2ª ed., Gonzalez, P., Román, C., Trad.). Badalona: Paidotribo. (Obra original publicada al 2010).

Sprager, S., Juric, M.B. (2015). Inertial sensor based gait recognition: a review. *Sensors*, 15, 22089-22127. <https://doi.org/10.3390/s150922089>

Susco, T.M., Valovich McLeod, T.C., Gansneder, B.M., Shultz, S.J. (2004). Balance Recovers Within 20 Minutes After Exertion as Measured by the Balance Error Scoring System. *Journal of athletic training*, 39(3), 241–246.

Van Mechelen, D.M., Van Mechelen, W., Verhagen, E.A.L.M. (2013). Sports injury prevention in your pocket?! Prevention apps assessed against the available scientific evidence: a review. *British Journal of Sports Medicine*, 0, 1-5. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-092136>

Wagner, J.F. (2018). About motion measurement in sports based on gyroscopes and accelerometers. An engineering point of view. *Gyroscopy and Navigation*, 9, 1-18. <http://dx.doi.org/10.1134/S2075108718010091>

Wilkins, J.C., Valovich McLeod, T.C., Perrin, D.H., Gansneder, B.M. (2004). Performance on the Balance Error Scoring System Decreases After Fatigue. *Journal of athletic training*, 39(2), 156–161.

Winter D.A, Patla A.E, Frank J.S. (1990). Assessment of balance control in humans. *Medical Progress Through Technology*, 16, 31–51.

Seguint les orientacions metodològiques pautades, les referències d'aquesta bibliografia han estat extretes de les bases de dades PubMed, Scopus i Google Scholar, així com fent ús del portal virtual Cercatot UVic.

12 Annexes

12.1 Document d'aspectes ètics

Document de consentiment informat

Dades

Títol del projecte:

Centre:

Dades del responsable de l'empresa/institució (nom i cognoms i número de document d'identitat o CIF de l'empresa/institució):

Persona que proporciona la informació i full de consentiment (nom i cognoms):

Declaració

1. Declaro que he llegit el Full d'informació a l'empresa/institució sobre l'estudi esmentat.
2. Se m'ha fet el lliurament d'una còpia del Full d'informació al participant i una còpia d'aquest Consentiment informat, datat i signat. Se m'han explicat les característiques i l'objectiu d'aquest estudi, així com els possibles beneficis i riscos.
3. He tingut el temps i l'oportunitat de realitzar preguntes i aclarir dubtes. Totes les preguntes han estat respostes satisfactòriament.
4. Se m'ha assegurat que es mantindrà la confidencialitat de les dades personals que generi l'estudi d'acord amb la Llei orgànica 3/2018, de 5 de desembre, de Protecció de dades personals i garantí dels drets digitals i el Reglament general (UE) 2016/679, de 27 d'abril de 2016, de protecció de dades (RGPD).
5. L'empresa/institució atorga el consentiment de manera voluntària i sap que es pot retirar en qualsevol moment d'una part o de la totalitat de l'estudi, sense expressió de causa o motiu, i sense que això comporti cap conseqüència.

Signatura per duplicat (una còpia per a la empresa/institució i una còpia per a l'estudiant)

Data: Signatura del participant (EN REPRESENTACIÓ DE)

Data: Signatura de l'estudiant (investigador/a)

Autorització relativa a l'alumnat: ús d'imatge i veu per majors de 16 anys

Dades de l'estudiant

Nom i cognoms de l'estudiant que realitza el projecte:

Atès que el dret a la pròpia imatge és reconegut a l'article 18.1 de la Constitució espanyola i està regulat per la Llei orgànica 1/1982, de 5 de maig, sobre el dret a l'honor, a la intimitat personal i familiar i a la pròpia imatge, l'investigador/a demana el consentiment del participant per poder publicar fotografies i vídeos, relacionats amb el projecte i, únicament, per a la difusió del mateix, on aparegui i hi sigui clara-ment identificable, o bé per fer enregistraments sonors.

Dades del participant

Nom i cognoms del participant:

DNI/NIE/PASSAPORT:

- Autoritzo la captació, la reproducció i la difusió de la seva imatge i veu per mitjà de fotografies, vídeo-os i enregistraments sonors, per tal que pugui ser utilitzada amb les finalitats de recerca establertes en el Treball Final de Grau / Treball Final de Màster de l'estudiant.
- Autoritzo la captació, la reproducció i la difusió de la seva imatge i veu per mitjà de fotografies, vídeo-os i enregistraments sonors, per tal que pugui ser utilitzada amb finalitats docents i de divulgació acadèmica.

Lloc i data

Signatura del participant

Les imatges i altres dades de caràcter personal seran tractades com a dades personals. Seran emmagatzemades en carpetes de OneDrive del compte d'usuari de l'estudiant i, respecte a aquestes dades, es podrà exercir el dret d'accés, rectificació i cancel·lació, d'acord amb la Llei 3/2018, de 5 de desembre de 2018, de protecció de dades personals i garantia dels drets digitals, adreçant-se a la UVic-UCC (indicar @ de contacte).

12.2 Imatges de l'anàlisi de dades dels subjectes a través del programa SPRO

