

Debreceni Egyetem
Informatikai kar
Információ Technológia Tanszék

**Az elektromiográfiai mérések testfelszíni integrációjának
hatékonysága a rehabilitációs eljárások és
teljesítményértékelések terén**



Témavezetők:

Dr. Gilányi Attila László
Dr. Godó Zoltán Attila

Készítette:

Csengeri Bence Zsombor
Szűcs Ferenc
Jankelic Iván

Debrecen
2024

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
A testfelszíni EMG alkalmazásának gyakorlati jelentősége sportolók körében	4
Az inaktív életmód mozgásrendszerre gyakorolt hatása.....	6
Célkitűzés.....	7
Hipotézis	7
1. Anyag és módszerek.....	8
1.1. Tervezés	8
1.2. Szoftver.....	9
1.3. Jelfeldolgozás.....	11
2. A vizsgált célcsoport és a vizsgálat körülményeinek bemutatása	14
2.1. A vizsgálati célcsoport bemutatása	14
2.2. Hátizmok mérése statikus pozíciókban.....	15
2.3. Plank helyzet.....	15
2.4. Alsó végtagok mérése	16
2.4. Metodika használata a célcsoportnál	17
3. Eredmények.....	21
3.1. Első mérés.....	21
3.2. Második mérés	25
3.3. A 6 hetes edzésprogram alatti fejlődés	28
Összefoglalás	33
Irodalomjegyzék	34
Saját munka leírása.....	37
Köszönetnyilvánítás	38
Ábrajegyzék.....	39

Bevezetés

Az elektromiográfia (EMG) vizsgálat egy alapvető és széles körben alkalmazott eljárás az orvostudományban, amelynek célja az izomműködés részletes és pontos feltérképezése. A hagyományos módszer alkalmazása során egy vékony tűelektródát helyeznek el az izmokban annak érdekében, hogy elektromos jeleket rögzítsenek, és ezáltal információt szerezzenek az izom munkájáról. A tűszűrásos EMG vizsgálat hatékonyan alkalmazható különböző izom- és idegrendszeri problémák diagnosztizálására, viszont invazív jellege miatt gyakran kellemetlen lehet a betegek számára, és kifejezetten csak megfelelő végzettségű szakorvos végezheti el. Azonban a technológia fejlődésének köszönhetően megjelent egy másik alternatíva, amellyel tűszűrás nélkül mérhető az izommunka. A testfelszíni elektromiográfia EKG tapaszok és EMG szenzorok segítségével működik, nincs szükség a vizsgálat során tűelektróda beszúrására. Az izommunkát a szenzorok mérik, melyeket a könnyen palpálható izmokra helyeznek fel. A szenzorok az izomösszehúzódás következtében létrejövő elektromos impulzusokat érzékelik. Ez a technológia nagyobb kényelmet és könnyebben hozzáférhető diagnosztikai lehetőségeket kínál a betegek számára, miközben hasonlóan pontos és informatív eredményeket nyújt az orvosoknak az izomfunkciók értékeléséhez. Ennek köszönhetően a testfelszíni EMG egyre népszerűbb a klinikai gyakorlatban, valamint az egészségügyi szolgáltatásokban is. A fejlett diagnosztikai és terápiás lehetőségek biztosítása érdekében elengedhetetlenül fontos, hogy alaposan megértsük ezt a módszert és annak alkalmazását, valamint kiaknázzuk annak teljes potenciálját a betegellátás és a rehabilitáció területén. Véleményünk szerint a technológia kutatása megalapozott.



1. ábra: EKG tapasz és BTS Bioengineering sEMG Szenzorok

A testfelszíni EMG alkalmazásának gyakorlati jelentősége sportolók körében

A vizsgálatnak ugyanakkor nem csak a muscularis betegségek diagnosztizálásában van nagy jelentősége, hanem a sportolók körében végzett aszimmetrikus izomaktivitás objektivizálásában is. Sok sportág gyakorlása közben az egyik oldal jóval nagyobb terhelésben részesül, ezáltal szignifikáns különbség mérhető a két oldal izommunkája között. Ha ez hosszútávon fennáll, akkor kialakul egy domináns oldal, ami később kompenzatórikus tartáshoz és túlterheléshez, a nem domináns oldal izmainak elgyengüléséhez vezethet [15]. Emiatt idővel a sportoló veszíthet a teljesítményéből és még akár egészségügyi gondok is jelentkezhetnek. Azon labdarúgóknak számára, akik esetében az alsó végtagok izomerejében nagy számban figyelhető meg különbség, az izomzati szimmetria elérése különleges kihívást jelent. Ez a különbség leginkább a domináns láb fokozott igénybevétele miatt, a rengeteg rúgás és gyors iramváltások miatt jön létre, és az aszimmetria korrigálása céljából ez rávilágít a célzott terápiás beavatkozások szükségességére. (Lásd: [21].)

A sportolók teljesítménye számos különböző motorikus képességtől függ. Az egyik legfontosabb maga az edzés. Ha egy játékos nem a sportágnak és saját adaptációs és regenerációs szintjének megfelelően eddz, az a teljesítménye romlásához vagy akár sérüléshez is vezethet. Sérülések minden sportágban előfordulnak, és nagy kihatással lehetnek a játékosok karrierjére [16]. A kimaradt edzések hátrányt jelentenek, valamint a sportoló rehabilitációjától függően maradandó teljesítménycsökkenést is eredményezhetnek. Nagyon nagy jelentőséggel bír az, hogy egy sportoló a rehabilitációt követően mikor integrálható vissza a sportba.

A sportba való visszaintegrálást számos teszt előzi meg, amelyeken a sportoló által nyújtott teljesítmény nem számszerű adattal szolgál, ezért a teljesítmény értékelésében nagyobb szerepet játszik az adott szakember véleménye. A rossz fizikai állapot megítélése később még több sérüléshez vezethet, ugyanis a sérülések láncreakciót válthatnak ki a test többi pontján. Erre a legjobb példa a térd keresztszalag szakadása, ami az egyik leggyakoribb sportsérülés. Ha nem megfelelő a rehabilitáció, akkor az számos más izom és ízületi sérülést is okozhat [1][28]. Ezért nagy segítség lehetne mind a szakemberek, mind az edzők és a sportolóknak számára is, ha a játékosok felmérése során a testfelszíni EMG is helyet kapna. Ez lehetővé tenné a

megfelelő edzésterv összeállítását és a sérülések utáni rehabilitáció felgyorsítását. Redukálható lenne az edzések alatt történő sérülések, de akár még az izomláz mértéke is. A visszamérések is kritikusak lehetnek, amelyek segítségével nyomon követhetjük egy játékos fizikai állapotát, fejlődését. Havi mérésekkel felállítható lenne egy lineáris regresszió, amellyel meg tudnánk becsülni, hogy bizonyos játékosok milyen formában lesznek a következő szezonra.

Az inaktív életmód mozgásrendszerre gyakorolt hatása

A sportolókon kívül az átlagemberek számára is hasznos lehet egy ilyen mutató. A mai világban nagyon sok időt töltünk íróasztalnál és számítógépnél ülve, munka, tanulás vagy szórakozás céljából. Ez hosszú távon egészségügyi gondokat és a tartóizmok elgyengülését okozza [14]. Populációnkban körülbelül a felnőttek 80%-a tapasztalt már életében derékfájást. Ezen páciensek közül a 80-90% meggyógyul valamilyen kezelést követően, viszont 60%-nál a fájdalom visszatér és krónikussá válik [2]. Ebben is nagy segítség lehet egy olyan eljárás, ahol olyan objektív adatokat kaphatnak a gyógytornászok, amelyek effektívebbé teszik a rehabilitációt a pácienseknél. Ezen adatok segítséget nyújthatnak a megfelelő mozgásterápia kiválasztásához, illetve meghatározzák a mozgásprogram progresszióját. A nap nagyrészt ülő helyzetben töltött idő a derékfájás mellett más egészségügyi problémákhoz is vezethet.

Az emberek átlagosan 5-6 órát ülnek egy nap, de ebben nagy eltérések lehetnek a munkahely, életkor, lakóhely, sőt még az iskolai végzettség szerint is. Egy fizikai munkás az átlagnál kevesebb időt tölt ülő helyzetben, viszont egy diplomás férfi akár 10–12 órát is. Az általános iskolások és a gimnazisták is ki vannak téve az inaktív életmód egészségkárosító hatásainak. Mivel a szülők és tanárok sokszor nem is észlelik, hogy a gyermekek helytelen testtartással ülnek több órán keresztül, így könnyedén kialakulhat gerincferdülés. A gerincferdülés a gerincoszlop oldalirányba történő elferdülését jelenti, ami több ok miatt is kialakulhat, de a legfőbb kiváltó ok a helytelen testtartás, ami még gyerekkorban automatizálódik. Ezt meg lehetne előzni, ha az iskolákban a gyerekeket időközönként felmérnék és a megfelelő prevenciós mozgásprogramot még a gerincferdülés kialakulása előtt biztosítanánk számukra.

A nem invazív módszernek köszönhetően teljesen fájdalommentesen kimutathatnánk a gerincferdülésre való hajlamot, emellett a scoliosis rehabilitációja közben fontos betekintést adhat a páciensek jelenlegi állapotáról. Ezzel szemben a nehéz fizikai munkát végzők nem az inaktív életmódnak negatív hatásának vannak kitéve, hanem – ahogyan a sportolók esetében –, az ő tartóizmaik is egyenlőtlen terhelésben részesülnek. Ez ugyanúgy tartásproblémákhoz vezethet, amelynek megelőzésére esetükben is szükséges lehet időnként egy olyan felmérés, amely preventálná a visszafordíthatatlan tartásproblémák kialakulását, és szükség esetén időben figyelmeztetné az embereket a mozgásterápia megkezdésére.

Mivel egyértelműen látható, hogy a társadalom nagy részét érintett a fent említett tartásbeli és egészségügyi problémák terén, amelyek megelőzésében jelentős segítséget nyújthat a testfelületi EMG alkalmazása, ezért döntöttünk amellett, hogy a kutatásunkat ezen téma köré szervezzük. Meggyőződésünk, hogy az EMG a sportorvoslásba, az iskolákba és kórházakba történő megfelelő integrálása szignifikáns segítség lehet a szakemberek számára a döntéshozatalban, továbbá a mozgásterápiák megtervezésében. A sportolók plusz terhelésnek való kitettségét és a gyakori sportspecifikus sérüléseket figyelembe véve döntöttünk a téma kutatása mellett, hogy megkönnyítsük a szakemberek dolgát. Az izommunka vizsgálatához egy olyan szoftvert is fejlesztettünk, amivel végrehajthatjuk az EMG jelek feldolgozását, vagyis egy objektív felmérést szolgálhatunk a sportolók fizikai állapotáról.

Célkitűzés

A rendszer fejlesztése előtt a következő célokat tűztük ki:

- Egy olyan rendszer kifejlesztése, amellyel egyszerűen és könnyen lehet az adatokat kezelni
- A sEMG technológia hatékonyságának bizonyítása a sportorvoslásban és a sportrehabilitációban

Hipotézis

Kutatásunk elején ezen hipotéziseket állítottuk fel:

- A felületi elektromiográfiának (Surface-EMG) kiemelt szerepe van a sportdiagnosztikában és sportorvoslásban
- Az sEMG alkalmazása javítja a visszajelzések pontosságát, ezáltal segíti a szakemberek hatékonyabb döntéshozatalát a sportolók rehabilitációját és visszatérését illetően

1. Anyag és módszerek

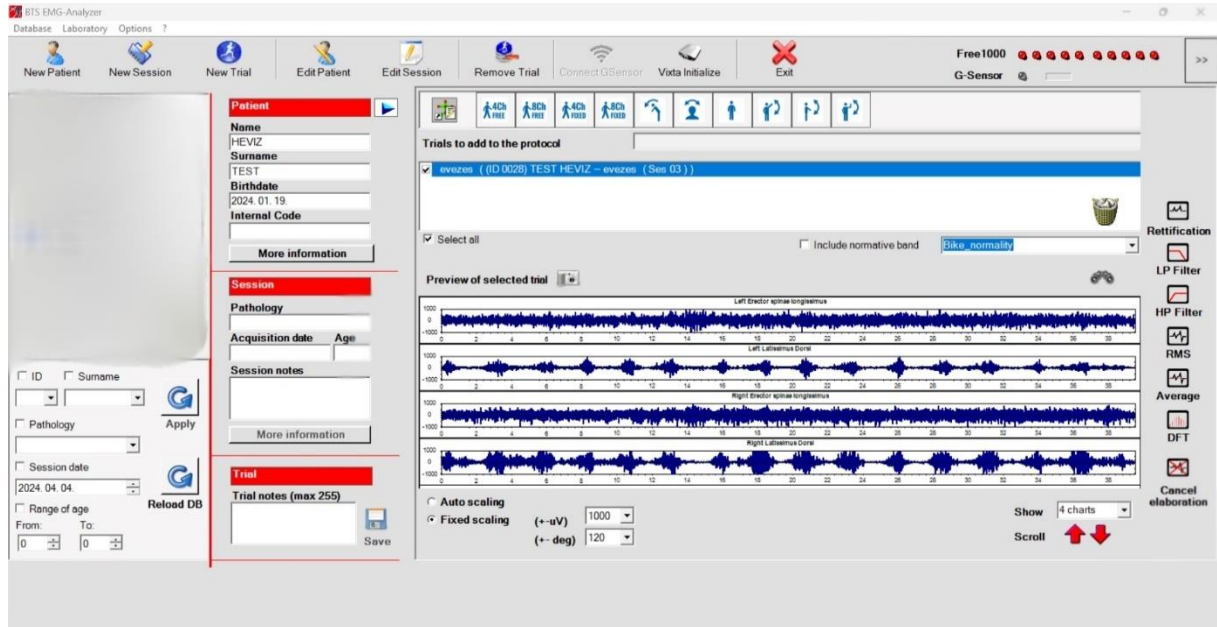
1.1. Tervezés

Elsődleges feladatunk a felmérések előtt a kutatás pontos és részletes megtervezése volt. A szoftver tervezése mellett a fő kérdésünk az volt, hogy mely sportolóknál milyen izmokat mérjünk. Ehhez két tényezőt vettünk figyelembe. Az első, hogy az adott sportban milyen gyakran és milyen intenzitással van használatba véve az izom, a másik pedig az adott sportra jellemző muscularis sérülések. Ezen sportspecifikus sérülések nehezebben elkerülhetők az adott sportágban, azonban erre is vannak különböző felmérések, amelyek megmutatják a rossz tartást vagy helytelen izomhasználatot. Ilyen sportspecifikus sérülés például a keresztszalag szakadás a kosárlabdázóknál, amely a leggyakoribb sérülés ebben a sportban. A dropjump helyes kivitelezése viszont megfelelő izomhasználatról és tartásról árulkodik, ezért nagyban csökkenti azon alanyoknál a keresztszalag szakadást, akik helyesen kivitelezik.

Az alanyokkal való munka során figyelembe kellett vennünk az Európai Unió általános adatvédelmi rendeletét (GDPR). Az adatkezelésünk megfelel a GDPR előírásainak, továbbá az alanyok hozzájárultak a felméréshez és az adatok felhasználásához. Mind a felmérés, mind az adatfeldolgozás teljesen anonim módon történt. A sportolóknál különösen fontos az anonimitás megőrzése, hiszen ez nagyban befolyásolhatja a karrierjüket.

1.2. Szoftver

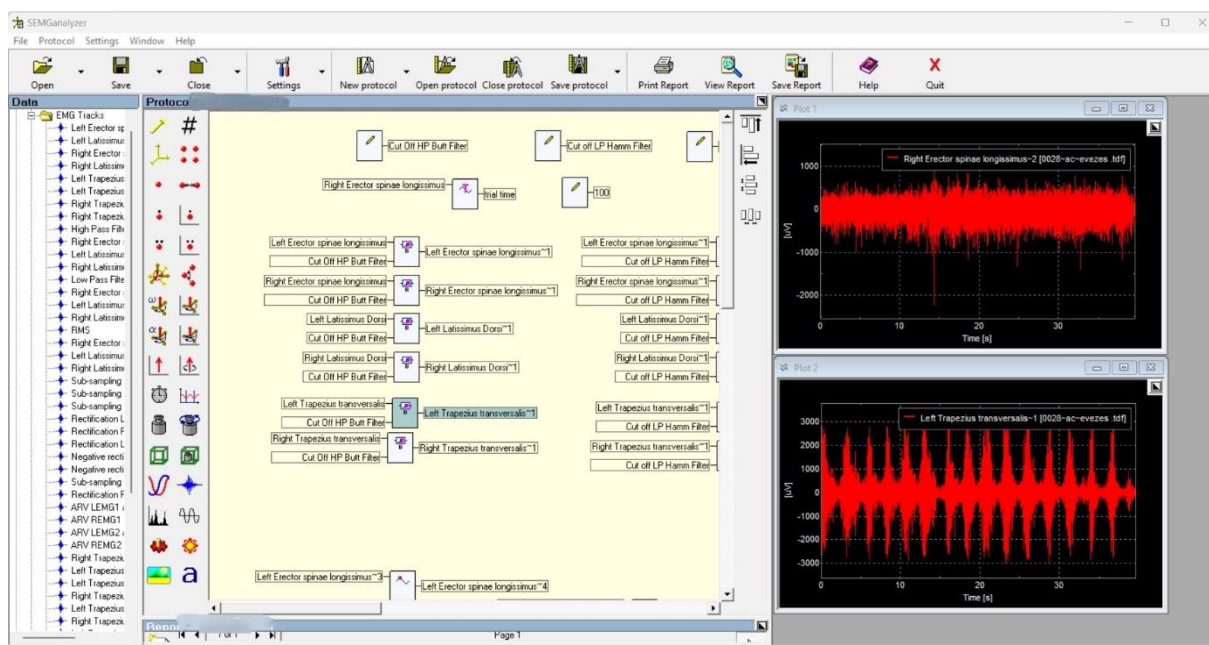
1.2.1. BTS Bioengineering



2. ábra: BTS EMG-Analyzer felület

A BTS Bioengineering által fejlesztett szoftver az sEMG jelekkel való műveletek elvégzésére lett tervezve. A szoftver megbízható, pontos és minden alapvető művelet megtalálható benne. Lehetőséget ad jeltisztításra felüláteresztő és aluláteresztő szűrő segítségével, kereshetünk vele maximumot és minimumot, valamint számolhatunk vele négyzetes közepet és további jeleken végrehajtható műveleteket [23][27]. Segítségével összehasonlítható a két oldal izomaktivitása, így egyszerűen eldönthető, melyik a domináns oldal. Mindazonáltal nem lehet figyelmen kívül hagyni a program hibáit, amelyek arra vezettek minket, hogy egy saját szoftvert fejlesszünk a jeleken végrehajtandó műveletekhez.

A BTS Bioengineering szoftver valóban pontos, de lassú, és nagy adathalmaz feldolgozására szinte használhatatlan. Az általunk fejlesztett szoftver ellenben gyors és jól skálázható. Általa sokkal több lehetőségünk van személyre szabni a jeltisztítási módokat. A kutatásunk során végzett felmérések alkalmával megkapott adatok tisztításához és feldolgozásához szükség volt egy saját szoftverre, amit a részletes megtervezést követően után el is kezdtünk lefejleszteni.



3. ábra: sEMGanalyzer programozási felület

1.2.2. Python

A szoftverünk Python-ban lett leimplementálva. Ennek oka, hogy a Python rendkívül sokoldalú és rugalmas nyelv, amely számos előnnyel jár. A Python gyors, könnyen skálázható, egyszerű vele az adatok kezelése, és a könyvtárai megfelelő lehetőséget biztosítottak az általunk tervezett program elkészítéséhez. A programunk leimplementálásához a következő könyvtárakat használtuk: numpy (Lásd: <https://numpy.org/doc/>), pandas (Lásd: <https://pandas.pydata.org/docs>), scipy és matplotlib. Az adatok hatékony kezelésére a numpy könyvtárat választottuk, mivel a numpy adatszerkezet egyszerű és kevés memóriát igényel. Ezáltal lehetővé teszi a nagy mennyiségű adatok hatékony kezelését és azok gyors feldolgozását. [13]

A program először a megadott elérési útvonalon keresztül beolvassa az adatokat tároló, .emt kiterjesztésű fájlt, amit egy üres numpy objektumba ment el. Ezután egy üres DataFrame-et hoz létre, amelyben eltároljuk az adatokat. A pandas DataFrame adatszerkezet a numpy csomagra épül, amely az egyik legmegfelelőbb könyvtár az adatelemzéshez és adatmanipulációhoz. A scipy könyvtárra azért volt szükségünk, mert eszköztárának köszönhetően kényelmes és egyszerű a jelfeldolgozás. Ez a könyvtár szintén a numpy-ra épül. A vizuális megjelenítéshez a matplotlib könyvtárat használtuk, amely szintén a numpy-ra épül. Mivel szemléltetni szeretnénk volna az izomaktivitást, a program a lefutás végén egy sűrű-

oszlopdiaagramban rajzolja ki az izomaktivitást. Az x tengelyen az időt vettük fel, az y tengelyen pedig az izomaktivitás mértékét.

A programban definiált szűrők külön függvényekben vannak implementálva, hogy könnyen alkalmazhatók legyenek a DataFrame-ben tárolt adatokra. Ezen függvényeknek paraméterként meg kell adni a DataFrame-ben eltárolt adatot, amelyen a szűrést végre szeretnénk hajtani. Ezen kívül még három paramétert kell megadni, amelyek a mintavételi ráta, a sarokfrekvencia és a szűrőrend. Hogy egyértelműen megállapítható legyen a domináns oldal, a programban megvalósítottuk a két oldal izomaktivitásának összehasonlítását. Ez százalékos formában adja vissza a jobb és bal oldali izomaktivitást. A jövőben szeretnénk a programot továbbfejleszteni és automatizálni, valamint a meglévő funkciókat optimalizálni és finomítani.

1.3. Jelfeldolgozás

Az EMG jelek jellegzetessége, hogy az amplitúdójuk 0 és 10 mV (csúcstól-csúcsig) vagy 0 és 1.5 (RMS) között mozog. A használható frekvenciájuk 0 és 500 Hz között található, domináns komponenseik pedig 50 és 150 Hz között. Ebből láthatóan a jelek viszonylag gyengék és emellett különböző nem kívánt zajokkal járhatnak. Ha pontos és megbízható eredményeket szeretnénk kapni az izomaktivitás mérésében, a jeleket fel kell erősíteni, valamint a zajokat, az interferenciákat és az egyéb nem kívánt jelenségeket el kell eltávolítani vagy csökkenteni kell az eredeti jelekben.

A zajok 4 kategóriáját különböztetjük meg egymástól. Az első a jelet érzékelő és a felvevő eszköz elektronikus részei által keltett eredendő zaj. Az elektronikus részek által keltett zajok 0 Hz-től akár pár ezer Hz-ig terjedhetnek. Ezeket nem lehet kiküszöbölni, csak csökkenteni a megfelelő minőségű felszerelés használatával és intelligens áramkörök bevezetésével. A másik, amire figyelünk kell, a környezeti zajok. Ezek a zajok a környezetben észlelhető elektromágneses sugárzásból adódnak, amilyen a rádió, a televízió, de bármilyen más elektromos eszköz is bocsáthat ki elektromágneses zajokat a térben. A harmadik kategória a motion artifact (mozgási műtermék), amely vagy a bőrfelület és az elektróda közötti határ miatt jön létre, vagy az elektródához kapcsolt kábel miatt. Utóbbi a kutatásunk során nem merült fel, hiszen a szenzorok, amiket használtunk, teljesen vezeték nélküli technológia alapján

működnek. Ugyanakkor fontos megemlíteni, hiszen vezetékes technológia esetén ez is okozhat nem kívánt zajokat [29].

A bőrfelület és az elektróda közötti határ által keltett zajok minimalizálásához szükséges a bőrfelület megfelelő előkészítése, szükség esetén borotválással és megfelelő tisztítással. Ezt valamilyen alkoholos oldattal ajánlott elvégezni, hiszen a bőrön elhalt hámsejtek lehetnek, valamint izzadás következtében só maradhat a bőr felszínén. Végül pedig a jelek eredendő jellegzetessége, hogy amplitúdójuk természetüknél fogva véletlenszerű. A jelek 0-20 Hz közé eső komponenseit instabil jellegük miatt nem tanácsos használni, ezért ezek zajként kezelendők [3]. A zajok mellett a másik probléma, ami felmerülhet egy kiválasztott izom megfigyelése közben, hogy más közelben lévő izmokat is érzékelhet a szenzor, amit áthallásnak nevezzük. Ezt egyrészt a szenzorok pontos felhelyezésével, másrészt a jelek tisztításával kiküszöbölhető.

A szenzorok megfelelő és pontos felhelyezésében gyógytornászok voltak a segítségünkre, a jeltisztítást pedig a szoftverünkben vittük véghez. A jeltisztításhoz két szűrőt használtunk, az egyik a felüláteresztő szűrő, a másik pedig az aluláteresztő szűrő. Ez azért indokolt, mert a sarokfrekvenciák beállításával mi határozhatjuk meg mely frekvenciák fölött vagy alatt szeretnénk szűrni, valamint a szakirodalomokban is ezeket a szűrőket használják az EMG jelek tisztítására [4]. A szűrők beállításában kulcsfontosságú a sarokfrekvencia. A szoftverben a felüláteresztő szűrőnél a sarokfrekvencia 20Hz, a szűrő csak az e feletti frekvenciákat engedi át. Az aluláteresztő szűrőnél a sarokfrekvencia 450Hz, viszont figyelembe kell venni, hogy az izommunka növekedésével a szűrő sarokfrekvenciáját is módosítani kell. Az elmúlt években különböző kutatások sokféle sarokfrekvenciát használtak a szűrők esetén például felüláteresztő szűrő esetén 5Hz, 10Hz, 15Hz, 20Hz, de általában véve a 20Hz a legmegfelelőbb, a szakirodalomban is ez a leggyakoribb és a legtöbb zaj és interferencia is 0-20 Hz között található [8]. A sarokfrekvencián kívül a szűrőknek még egy fontos paraméterrel rendelkeznie kell, ami a szűrőrend. A szűrőrend egy olyan fontos paraméter, amely meghatározza a szűrő karakterisztikáját és teljesítményét. A szűrőrend a szűrő átviteli függvényének azon a tulajdonsága, hogy hány egységnyi időbeli vagy térbeli változásra képes a szűrőválasz egy egységnyi amplitúdó-változással reagálni. Minél magasabb a rend, annál jobban csökken a szűrés hatékonysága a kívánt frekvenciák fölött.

Az erősítők a felszíni elektromiográfiai (sEMG) rendszerek kritikus összetevői, amelyek kulcsszerepet játszanak az izom elektromos jelei minőségének és hűségének

javításában [17]. Ezek az eszközök felelősek az izomösszehúzódások által keltett gyenge elektromos jelek erősségének növeléséért, valamint a külső forrásokból származó zaj és interferencia csökkentéséért [5]. A bioelektromos erősítők, amelyeket általánosan használatosak az EMG-felvételeknél, jellemzően differenciálerősítők, amelyek felerősítik a két elektróda közötti feszültségkülönbséget. A közös módú jelek, mint például a tápvonali interferencia, megzavarhatják az EMG-rögzítést, de az erősítők célja az ilyen jelek elnyomása. A közös módú elutasítási arány (Common-mode rejection ratio, röviden CMRR) az erősítő azon képességét határozza meg, hogy utasítsa el a nem kívánt jeleket, a 100 dB-nél nagyobb CMRR-érték mellett. Az erősítés mértéke nem haladhatja meg a tápfeszültséget, amellyel elkerülhető a jel levágása. A valódi erősítőkben rejlő offset feszültség felüláteresztő szűréssel eltávolítható. Az optimális EMG-rögzítéshez elengedhetetlen bemeneti impedanciának magasnak kell lennie a jeltorzítás és interferencia minimalizálása érdekében, ideális esetben 300 M Ω feletti 50 Hz-es sEMG-rendszereknél. Az erősítő kiválasztásakor a bemeneti impedanciát kell előnyben részesíteni a bemeneti ellenállással szemben [6]. Az erősítők az sEMG rendszerek nélkülözhetetlen alkotóelemei, amelyek a kutatók és a klinikusok számára lehetővé teszik az izom elektromos aktivitásának pontos és megbízható rögzítését és elemzését.

2. A vizsgált célcsoport és a vizsgálat körülményeinek bemutatása

2.1. A vizsgálati célcsoport bemutatása

Kutatásunk során számos felmérést végeztünk, melyek között volt a hátizmok mérése statikus pozíciókban: Upright standing, Matthias arm raising [19] és loading, az alsó végtagok mérése, melyet lábtolással mértünk, valamint a plank a tartóizmok mérésére, és annak további négy variációja: Forward plank, inverz plank és side plank mindkét oldalra. Ezen variációknak köszönhetően mind a hasi, mind a háti tartóizmok izomaktivitását meg tudtuk mérni, az esetleges aszimmetrikus izomaktivitás pedig jól kivehető volt. Az agilitást is fel szeretnénk volna mérni, amelyet a SpeedCourt SC650 (Részletesebben: <https://speedcourt.com/en/>) pályán vittünk véghez. A felméréseket gyógytornászok közreműködésével végeztük. Ők segítettek abban, hogy a szenzorok a megfelelő anatómiai pontokra kerüljenek fel. Annak érdekében, hogy látható legyen, hogy a sportolók a felkészülési idő alatt mennyit fejlődtek, felmértük őket a felkészülési idő előtt és után is. Az első felmérés 2023 novemberében és decemberében történt, a második pedig a felkészülési időt követően, 2024 februárjában. Összesen 26 embernél tudtunk egy olyan mutatóval szolgálni, ami a sportolók számára fontos információkat közöl a fizikai állapotukról. Ennél a 26 embernél az összes mérést elvégeztük, és ők kardiológiai vizsgálaton is átestek. Mind a 26 sportoló jó állapotban volt, a 26 alanyból 0-nál volt kimutatható kardiológiai eltérés. Szintén 0 alanyból volt tüdőkapacitás eltérés. A 26 alanyból 3 alanyban volt valamilyen sportsérülése és ebből 3 játékost sikeresen visszaintegráltak a sportba. A lakossági alanyok 24-en voltak, náluk részletes kórtörténeti vizsgálatot nem végeztünk. Az alanyok elmondásuk szerint napi 8-10 órát töltenek ülő helyzetben és 85%-uk panaszkodott visszatérő hátfájdalomra. Ezen felmérések során olyan adatokat kaptunk, amelyekkel releváns konklúziók vonhatók le, és amelyekkel segíteni tudtuk a szakemberek munkáját és a sportolók rehabilitációjának folyamatát.

2.2. Hátizmok mérése statikus pozíciókban

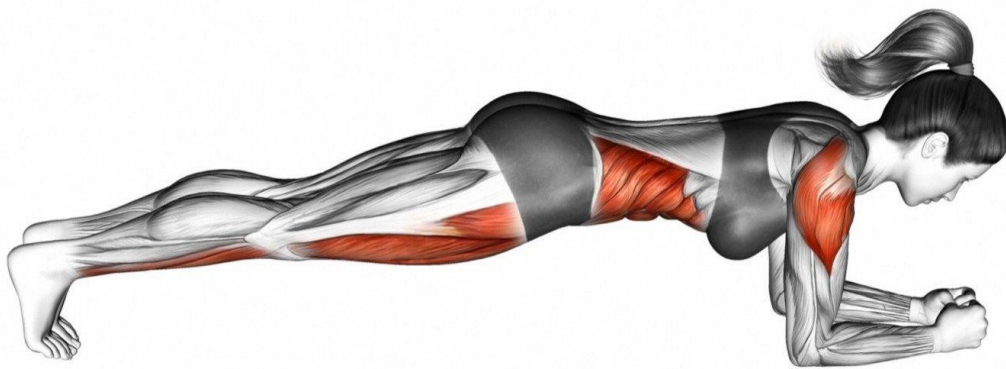
A felmérés előtt felvettük az alanyok adatait, lemértük a testsúlyukat, majd elmagyaráztuk nekik a feladatokat, amelyeket el kell majd végezniük a mérés során. A pontos adatok céljából nagyon fontos első lépésben megtisztítani az alanyok bőrét alkohollal, még a szenzorok felhelyezése előtt. Ez azért szükséges, hogy megfelelő érintkezés legyen az alany bőre és az érzékelő elektróda között, amellyel minimalizáljuk a zajokat a jelek rögzítése során. Ezután a szenzorokat összepattintottuk az EKG tapasszal, majd felhelyeztük az izomra, amelyet mérni szándékoztunk. Ez a hátizom mérésénél 4 izmot jelentett mindkét oldalon, amelyek a következők: m. erector spinae, m. latissimus dorsi, m. trapezius transversalis és m. trapezius descendens. Egy izomhoz kettő darab szenzort használtunk, hogy egyértelműek legyenek az adatok a feldolgozás során, továbbá a szakirodalom is ezt ajánlja [7]. Ezután az alanyok végrehajtották a 3 gyakorlatot, amelyek a hátizmok munkájának megfigyeléséhez szükségesek. Minden gyakorlatot 30 másodpercig mértünk. Elvégeztünk egy tesztmérést is, amellyel a szenzorok hibátlan működését vizsgáltuk, valamint azt, hogy megfelelően érzékelik-e az izomösszehúzódasokat.

A pácienseket először sima álló helyzetben mértük. Itt nagyon minimális izomaktivitás volt megfigyelhető. A következő feladat az úgynevezett Matthias-teszt. Az alany két kezét mellső középtartásban maga elé nyújtja és tenyereit befelé fordítja. Itt már nagyobb izomaktivitás volt megfigyelhető. Az utolsó feladat a terhelt Matthias-teszt, melynek során az alany a testsúlyának 5%-át a két kezében tartva, ugyanúgy nyújtott karral áll. Így próbáltunk meg minél nagyobb munkát kicsalni az izmokból, ami sikerült is hiszen a képernyőt figyelve láttuk, hogy jóval nagyobb izomaktivitás észlelhető, mint az előző két esetben. Ezután az adatok feldolgozása következett.

2.3. Plank helyzet

Első lépésünk az alanyok adatainak felvétele, valamint a végrehajtandó feladatok ismertetése volt. Itt nem volt szükségünk az alanyok testsúlyának lemérésére. Kizáró tényező volt bármilyen tartószervi komolyabb sérülés, megbetegedés vagy súlyos gerincferdülés. Az alanyok bőrét alkohollal tisztítottuk meg a szenzorok megfelelő érintkezése érdekében. A szenzorokat a következő izmokra helyeztük fel: m. rectus abdominis, m. transversus abdominis,

m. erector spinae, m. latissimus dorsi. Elvégeztünk egy tesztmérést, hogy megbizonyosodjunk a szenzorok megfelelő működéséről, majd utána következhetett az első gyakorlat, az elülső (anterior) plank. Minden feladatot, ugyanúgy, mint a Matthias-tesztnél, 30 másodpercig mértünk. Az elülső (anterior) plank után az oldalsó (side) planket mértük, mindkét oldalra. Az utolsó két feladat a fordított (posterior) plank volt, ahol az alany egyszer a tenyerén, majd a könyökén támaszkodott, és csak a sarka volt a földön, így tartotta magát. Végig figyeltük a szenzorok megfelelő működését, és a végén kiértékeljük az adatokat. A feladat elvégzése közben a helytelen tartást korrigáltuk [25].



4. ábra: Érintett izomcsoportok helyesen elvégzett plank gyakorlat során

2.4. Alsó végtagok mérése

A labdarúgás dinamikus természete megköveteli a játékosoktól, hogy ne csak erővel, hanem agilitással, robbanékonysággal és kitartással is rendelkezzenek, ezért elengedhetetlen, hogy elmélyüljenek az izomaktiválási minták és az erőelosztás bonyolultságaiban.

A teljesítményszint emelése és a sérülések kockázatának csökkentése érdekében a kutatók egyre gyakrabban fordulnak olyan innovatív technológiákhoz, mint a felszíni elektromiográfia (sEMG), hogy mélyebb betekintést nyerjenek a futballisták izomdinamikájába. Az sEMG lehetővé teszi az izomaktivitás noninvazív mérését az izomrostok által generált elektromos jelek észlelésével az összehúzódás során. A labdarúgás specifikus mozdulataiban résztvevő kulcsfontosságú izomcsoportok, például a négyfejű combizom aktiválási szintjének elemzésével a kutatók felderíthetik a pályán általánosan alkalmazott technikák és manőverek biomechanikai alapjait. Ezen kívül az izomtevékenység és az erő kifejtés közötti kapcsolat vizsgálata, például a lábtoló gyakorlatok során értékes adatok nyerhetők az izomegyensúlytalanságok, az aszimmetriák és a lehetséges sérülési kockázatok megértéséhez a

labdarúgók körében. Az sEMG technológia beépítése a kutatási törekvésekbe ígéretes lehetőséget kínál a labdarúgók fiziológiai követelményeinek jobb megértésére és az edzési protokollok optimalizálására. Ennek révén maximalizálhatjuk a játékosok teljesítményét és minimalizálhatjuk a sérülések kialakulását, továbbá gyorsíthatjuk és minőségben javíthatjuk a rehabilitációs folyamatokat.

2.4. Metodika használata a célcsoportnál

2.4.1. Anyag és módszer

A DEAC (Debreceni Egyetem Atlétikai Club) labdarúgó-játékosainak izomaktivitás-kutatásának több célja is volt. Az első az volt, hogy teszteljük, hogy a dinamikus gyakorlatok során a nem domináns láb izmai nagyobb izomaktivitást mutatnak-e, mint a domináns láb izmai. A következő célunk az izmok aktivitása és az erő kifejtése közötti összefüggések feltárása volt. Harmadik célként annak kiderítését tűztük ki, hogy egy 6 hetes edzésprogram után a játékosok izomzata mennyit fejlődik, és az izmok közötti aszimmetria mennyire javul [20]. Ebben az edzésprogramban a játékosok nem csak labdarúgó edzéseken vettek részt, hanem heti két alkalommal a debreceni „Sportdiagnosztikai, Életmód- és Terápiás Központ” -ban (röviden SET) a gyógytornászok által vezényelt erősítésekben és nyújtásokban is részesültek.

Az első felmérést 2023 novemberében végeztük el a SET-ben közös együttműködéssel, ahol a játékosokat először lábtoló gép használata közben mértük. Erre a felmérésre az őszi szezon lezárása után került sor. Ugyanezt a felmérést 2024 februárjában ismét elvégeztük, az előbb említett 6 hetes edzésprogram után, a tavaszi szezon kezdete előtt.

Az sEMG technológia segítségével értékeltük az izomaktivitást a különböző izomterületeken, beleértve a vastus medialis, vastus lateralis, rectus femoris és biceps femoris caput longum izomtevékenységét. A lábtoló gép minden kinyomásnál bal, illetve jobb láb nyomási értéket adott vissza. [22]

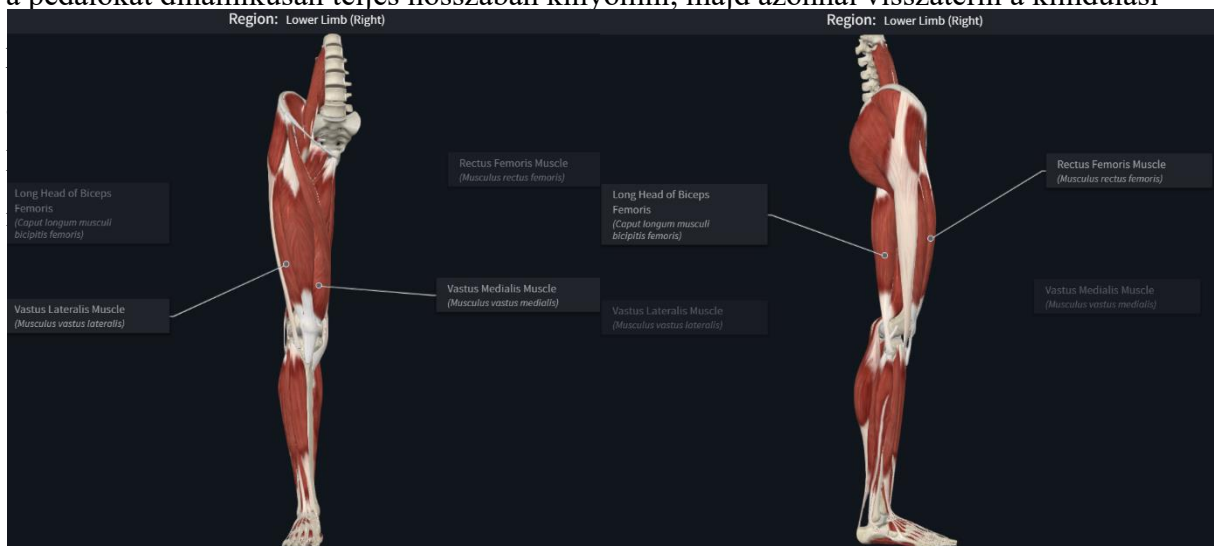
2.4.2. Résztvevők kiválasztása és toborzása

A tanulmány résztvevői a DEAC labdarúgó csapat tagjaiból kerültek kiválasztásra, akik különböző korosztályokat, testalkatokat és játékosposztokat képviseltek. A belefoglalási kritériumok széles körben kerültek meghatározásra annak érdekében, hogy az egész csapatot lefedjék, és reprezentatív mintát biztosítsanak, amely tükrözi a klubon belüli játékosok

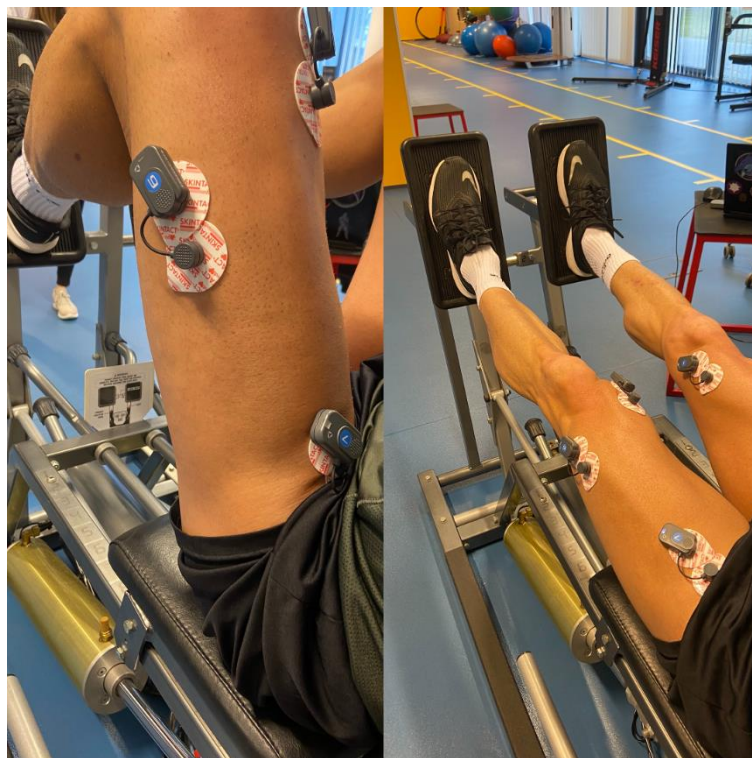
heterogenitását. Mivel a kutatásban olyan játékosok vettek részt, akik különböző demográfiai jellemzőkkel és szerepekkel rendelkeznek a csapatban, a tanulmány célja az volt, hogy tesztelje a hipotézist az izomaktivitás aszimmetriájáról anélkül, hogy a játékosokat konkrét kategóriákba sorolnák.

2.4.3. A mérési eljárás

Első lépésként felvettük az alanyok adatait, lemértük a testsúlyukat, magasságukat és ismertettük velük a végrehajtandó feladatokat. Megtisztítottuk a bőrfelületet az elektródák felhelyezése előtt, hogy megfelelő érintkezés legyen a bőr és az elektróda között. Kizáró tényező volt az alanynak bármilyen alsó végtagi komolyabb sérülése. Az alanyok a sérülés elkerülése érdekében szobabiciklin alsó végtagi bemelegítést végeztek. A bemelegítést 5-10 percig végezték alacsony intenzitással, majd az intenzitást növelve közepes erősségig. Ezután felraktuk a szenzorokat és figyeltük, hogy megfelelően működnek-e. Egy tesztmérést is elvégeztünk, hogy megbizonyosodjunk, minden elektróda megfelelően érintkezik. Az előkészületek végeztével az alanyok lábtolást végeztek, a testsúlyuk másfélszeresét nyomták ki. Hogy pontos eredményt kapjunk az alanyok a maximum ismétlésszámmal végezték a feladatot. Az izommunka mellett a tolás erősségét is mértük, és ezen adatokat szintén eltároltuk. A gyakorlat menete a következő volt: a gépen ülve, térdet behajlítva, a súlyt tartva, a pedálokat dinamikus teljes hosszában kinyomni, majd azonnal visszatérni a kiindulási



5. ábra: A vizsgálatban résztvevő anatómiai pontok (bal láb, férfi modell)



6. ábra: Az alanyra felhelyezett szenzorok gyakorlatvégzés közben

2.4.4. Leg Press

A lábtoló gyakorlatokat a Keiser A300 Leg press gépen végezték a labdarúgók. A Keiser A300 Leg Press gép jelentős előrelépést jelent a lábtréning technológia terén. A gép olyan funkciókat tartalmaz, amelyeket kifejezetten a teljesítmény optimalizálására terveztek, miközben minimalizálják a sérülések kockázatát.

Néhány fontos tervezési elem a gépen:

- Magasabb láblemez: Ez a konfiguráció elősegíti a fokozott csípőhajlítást és csökkenti a térdhajlítást az edzés során. Ennek stratégiai célja a glute aktiválásának maximalizálása, különösen a mozgás kezdeti szakaszában. A gép pneumatikus ellenállást ad a klasszikus lábtoló gépekkel szemben, amelyek lapsúlyokat használnak. Ennek köszönhetően csökkenti a térdre ható erőket, így megóvjaa a térd egészségét.
- Független lábedzés: A gép lehetővé teszi az egyes lábak független edzését, tükrözve a természetes mozgásmintákat. Ez elősegíti a kiegyensúlyozott erőfejlesztést, ami gyakran figyelmen kívül hagyott szempont a hagyományos lábnyomó gépeknél.

A hagyományos gépekkel ellentétben a Keiser A300 Leg Press számos egyedi funkciót kínál, amelyek javítják az általános edzési élményt. Ezek közé tartozik a nagyméretű digitális

kijelző, amely valós idejű visszajelzést ad az ellenállásról, a sorozatokról, az ismétlésekről és a csúcsteljesítményről, lehetővé téve a felhasználók számára, hogy nyomon kövessék előrehaladásukat, és ennek megfelelően állítsák be edzéseiket. Különösen figyelemreméltó tulajdonság a hüvelykujj gombok beépítése az ellenállás beállításához a testhelyzet megváltoztatása nélkül, amely lehetővé teszi a zökkenőmentes módosításokat az edzés végrehajtása során. Ezen túlmenően a gép azon képessége, hogy az ellenállást akár egy tized kilogrammmal is kisebb lépésekben állítsa be, precíz terheléskezelést tesz lehetővé, kielégítve a felhasználók különféle igényeit és képességeit. [26]



7. ábra: Keiser A300 Leg press gép

A Keiser Chip System egy kifinomult technológiai innovációt képvisel, amely a Keiser fitness gépeibe integrálva van. A Chip rendszer úgy működik, hogy egyéni edzés adatokat tárol, beleértve az ellenállási szinteket, ismétlésszámokat, és beállítási pozíciókat, a felhasználó elektromos edzőkártyáján. Ezek a tárolt információk ezután könnyen elérhetők és megjeleníthetők a gép digitális interfészén, lehetővé téve a felhasználóknak, hogy nyomon kövessék a fejlődésüket, és megalapozott döntéseket hozzanak az edzésprogramjukkal kapcsolatban. Ezenkívül a Chip System zökkenőmentesen integrálódik a Keiser tágabb fitness technológiai ökoszisztémájába, lehetővé téve a felhasználók számára, hogy edzési adataikat különféle eszközökre, például okostelefonokra, tabletekre vagy számítógépekre töltsék le további elemzés és megosztás céljából. [18]

3. Eredmények

A következő fejezetekben bemutatjuk az empirikus eredményeket, amelyeket a DEAC labdarúgói elvégzett mérések során gyűjtöttünk. A felméréshez felhasználtuk az sEMG technológiát lábtoló gép használata közben, és gyűjtöttünk adatokat az izmok aktivitásáról és az erő kifejtéséről. Elemzésünk értékes betekintést nyújt az előbb említett két kulcsfontosságú adatról, és részletesen kifejti a bonyolult kapcsolatot ezek között. A vastus medialis, vastus lateralis, rectus femoris és biceps femoris caput longus izomcsoportokból származó adathalmazok elemzésével finomított mintázatokat fedeztünk fel az izomaktiváció és erőeloszlása terén, amelyek rávilágítanak a sportteljesítmény mögött meghúzódó fiziológiai dinamikára ebben a kontextusban.

3.1. Első mérés

Ebben a részben az őszi szezon végét követő első mérésünk eredményeit mutatjuk be, abban az időszakban, amikor a játékosok leálltak az aktív edzésprogramokról. Ezek az értékelések különleges képet nyújtanak a DEAC labdarúgói izomtevékenységéről a pihenő stádiumban. Az első mérésen 19 labdarúgó vett részt.

3.1.1. sEMG adatok elemzése

A mérések alatt 4 izomcsoport aktivitását mértük: vastus medialis, vastus lateralis, rectus femoris és biceps femoris caput longus. Az izmok aszimmetriáját először minden izomcsoportra külön elemezzük, majd összesítésben is értékeljük. Az aszimmetriát a domináns (rúgó) és a nem domináns (támaszkodó) lábakra elemeztük, és nem csupán jobb, illetve bal lábra. Ehhez az elemzéshez a fent említett (lásd 8. oldal) Python programot használtunk. (Vö.: [10].)

Vastus medialis

A nem domináns láb nagyobb izomaktivitást mutat, 50,72%-kal, a domináns láb 49,28%-ával szemben. Ezenkívül a nem domináns láb (228,64) átlagos négyzetes átlaga (ARV) meghaladja a domináns láb (222,16) értékét. Ez arra utal, hogy a nem domináns láb nagyobb arányban viseli az izomaktivációs terhelést.

Vastus lateralis

A vastus medialishez hasonlóan a nem domináns láb nagyobb izomaktivitást mutat, ami 53,17%-ot tesz ki, szemben a domináns láb 46,83%-ával. A nem domináns láb átlagos ARV-je (259,54) meghaladja a domináns lábét (228,61), ami az izomaktivációs szintek kifejezett eltérésére utal.

Rectus femoris

A korábbi megfigyelésekkel összhangban a nem domináns láb nagyobb izomaktivitást mutat, ami 50,85%-ot tesz ki, szemben a domináns láb 49,15%-ával. Ráadásul a nem domináns láb átlagos ARV-je (196,20) meghaladja a domináns lábét (189,67), ami tovább hangsúlyozza az izomaktiváció aszimmetrikus eloszlását.

Biceps femoris caput longus

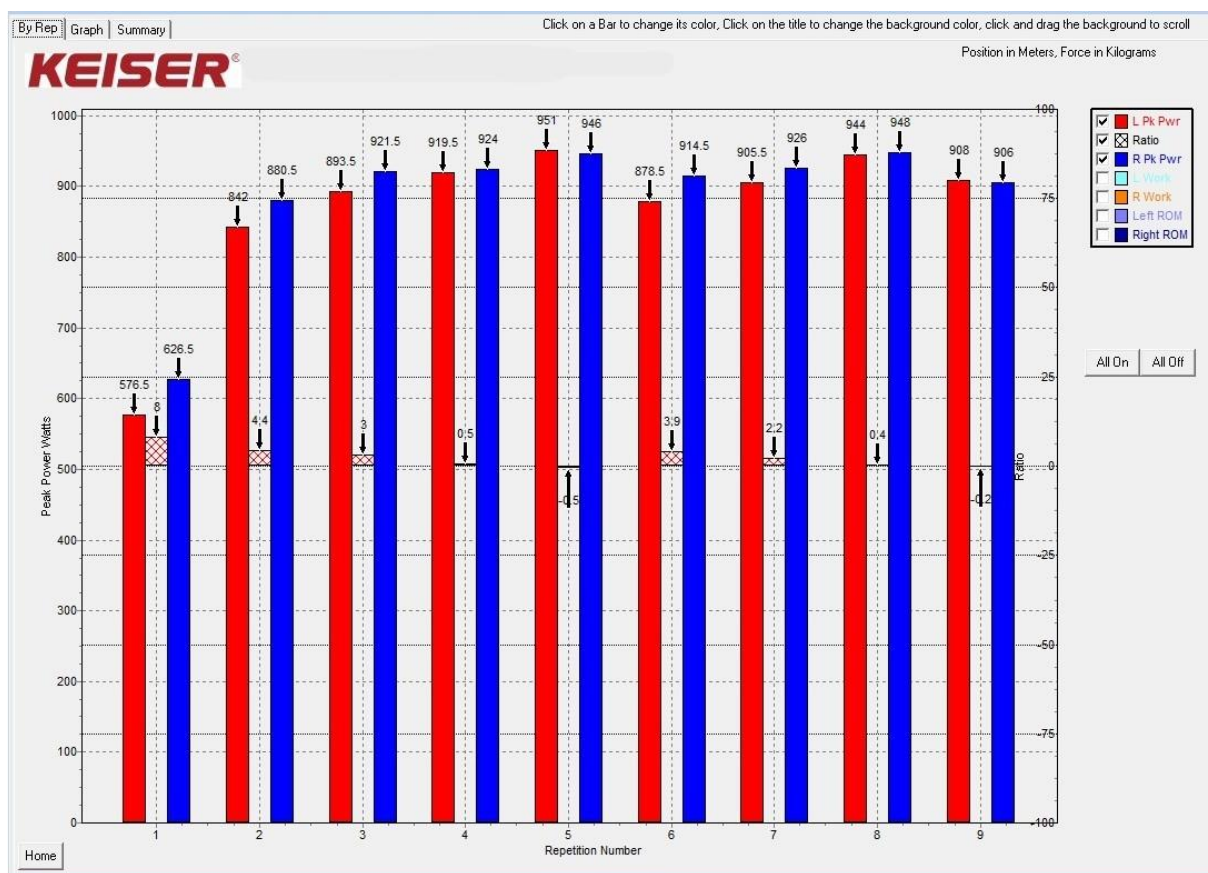
A fent említett izmokkal ellentétben a domináns láb nagyobb izomaktivitást mutat a biceps femoris caput longusban, ami 50,52%-ot tesz ki, szemben a nem domináns láb 49,58%-ával. Továbbá a domináns láb átlagos ARV-je (74,97) magasabb, mint a nem domináns lábé (73,42). Ennek az eltérésnek ellenére az izomaktivációs szintek különbsége viszonylag marginális.

3.1.2. Összesített eredmények

Ha figyelembe vesszük az összes mért izmot magában foglaló átfogó adatkészletet, nyilvánvaló, hogy az izomtevékenység aszimmetriái elterjedtek a DEAC futballisták körében [12]. Összeségben a nem domináns láb következetesen magasabb izomaktivitást mutat a domináns lábhoz képest. Ezt a tendenciát tovább erősítik az átlagos ARV értékek: a nem domináns láb átlagos ARV-je 757,80, ami a teljes izomaktiváció 51,44%-át jelenti, míg a domináns láb átlagos ARV-je 715,41, ami 48,56%-ot jelent.

3.1.3. Lábtoló gép adatok elemzése

A lábtoló gép adatainak elemzése szemléletes mintákat tár fel a DEAC labdarúgók súlytoló gyakorlatok során mutatott erő kifejtésével kapcsolatban. Az eredmények azt mutatják, hogy átlagosan a nem domináns láb nagyobb erőt fejtett ki, pontosan 854,04 Watt, míg a domináns láb 808,46 Watt. Ez az eltérés 2,74%-os különbséget jelent a két végtag teljesítményében.



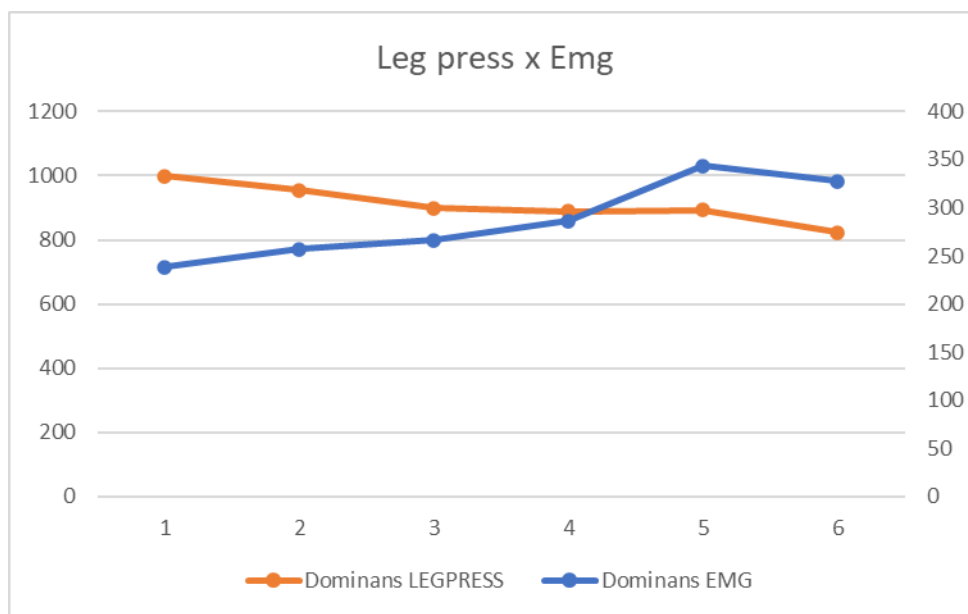
8. ábra: Kinyert adatok a Keiser Leg Press gépből

3.1.4. Az izomaktivitás és az erő kifejtés közötti kapcsolatok

A sportolók izomaktivitásának és erő kifejtésének vizsgálata során érdekes mintázatokat figyelhetünk meg az sEMG és a lábtoló gép adatai alapján. Az sEMG adatok az izomaktivitás mérésére szolgálnak, míg a lábtoló gép segítségével a kifejtett erőt lehet mérni. Az adatok elemzése során kiderült, hogy az izomaktivitás értékei az idő előrehaladtával növekednek, miközben az erő kifejtés csökken. Ez a minta arra utal, hogy a sportolók izmai fokozatosan elfáradnak, és így egyre kevesebb erőt tudnak kifejteni. Ezenkívül az állandó erő kifejtés fenntartása érdekében a sportolóknak egyre nagyobb izomaktivításra van szükségük.

A jelenség kvantitatív vizsgálatához a két változó közötti lineáris kapcsolat irányát és mértékét korrelációs elemzéssel határoztuk meg. A korrelációs elemzés során minden visszamért játékos izomaktivitási és erő kifejtési adatát figyelembe vettük. Az első mérés során a nem domináns végtagot tekintve a korreláció $-0,4427$, a domináns végtagot mérve pedig: $0,1563$. A második mérés alkalmával a nem domináns végtag $-0,0018$, a domináns pedig $-0,1976$ értéket mutatott. A nem domináns végtagot tekintve, az első és a második mérés alapján összesítésben a korreláció -0.2806 volt, míg a domináns végtagnál -0.0163 . Az első mérésnél mindkét végtagot tekintve a korreláció -0.1691 , a második mérésnél pedig -0.0604 . Így a 6 hetes különleges edzéstervnek köszönhetően normalizálódott a két érték viszonya, ahol a játékosok izomaktivitásának értéke nem nőtt minden tolásnál annyit, mint az első mérés során. Ellenben, ha mindkét végtag értékeit vesszük figyelembe a két mérés alatt, a korreláció értéke közepesen alacsony, pontosabban -0.1599 . Ebből látható, hogy az izomaktivitás és az erő kifejtés egymástól nem függetlenek és ellentétes irányúak.

Az adatok alapján megállapítható, hogy az izomaktivitás és az erő kifejtés közötti kapcsolat sem gyenge, sem erős, hanem közepes mértékű. A korrelációs együtthatók abszolút értékei azt jelzik, hogy a kapcsolat szignifikáns, de nem extrém erősségű. Az ilyen mértékű korrelációk gyakran előfordulnak a biológiai és orvosi kutatásokban, ahol számos tényező befolyásolja a vizsgált változók közötti kapcsolatot. További kutatások és adatgyűjtés szükséges ahhoz, hogy mélyebb betekintést nyerjünk a pontos mechanizmusokba és a változók közötti kapcsolatok dinamikájába.



9. ábra: Kifejtett erő (narancs) és izomaktivitás (kék) a domináns lábban

3.2. Második mérés

Ebben a részben a tavaszi szezon előtti, a 6 hetes felkészülési időszakot követő mérésünk eredményeit mutatjuk be, abban az időszakban, amikor a játékosok többsége kiváló formában van. Ezek az értékelések még érdekesebb képet nyújtanak a DEAC labdarúgók izomtevékenységéről, mint az első mérés. A második mérésen 24 labdarúgó vett részt.

3.2.1. sEMG adatok elemzése

Az sEMG adatok elemzésére ugyanazt a technikát használtuk, mint az első mérés során.

Vastus medialis

A domináns láb nagyobb izomaktivitást mutatott, számokban 52,03%-ban, míg a nem domináns láb 47,97%-ot. Ezenkívül a domináns láb (240,20) átlagos ARV-je meghaladta a nem domináns láb (213,77) értékét.

Vastus lateralis

A vastus medialissal ellentétben a nem domináns láb nagyobb izomaktivitást mutatott, ami 54,19%-ot tett ki, szemben a domináns láb 45,81%-ával. A nem domináns láb átlagos

ARV-je (253,87) meghaladta a domináns lábét (216,25), ami az izomaktivációs szintek kifejezett eltérésére utalt.

Rectus femoris

A vastus laterálissal összhangban a nem domináns láb nagyobb izomaktivitást mutatott, ami 50,31%-ot tett ki, szemben a domináns láb 49,69%-ával. Ráadásul a nem domináns láb átlagos ARV-je (119,63) meghaladta a domináns lábét (118,16), ami tovább hangsúlyozza az izomaktiváció aszimmetrikus eloszlását.

Biceps femoris caput longus

A sorozatot folytatva a nem domináns láb nagyobb izomaktivitást mutatott a biceps femoris caput longusban, ami 53,43%-ot tett ki, szemben a nem domináns láb 46,57%-ával. Továbbá a nem domináns láb átlagos ARV-je (48,08) magasabb volt, mint a domináns lábé (41,90).

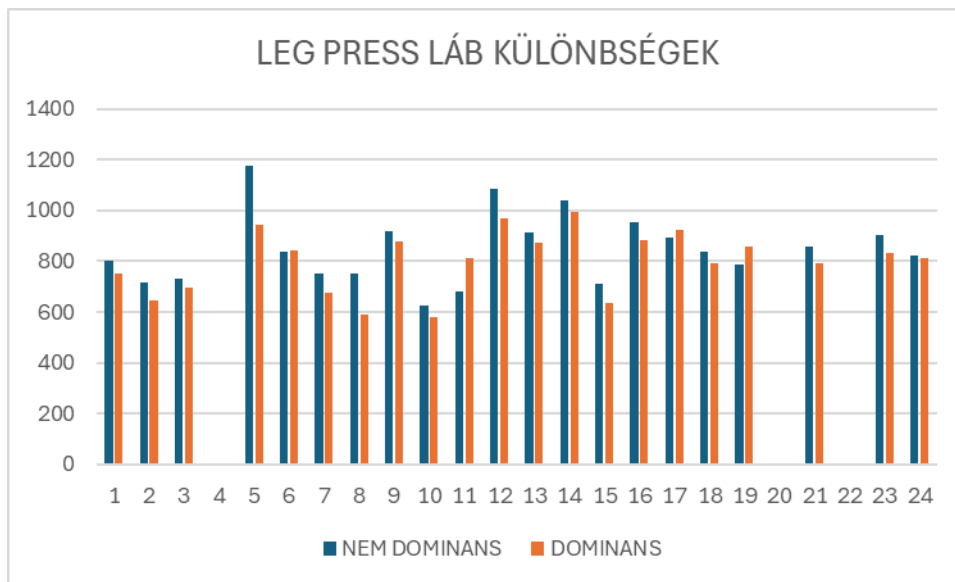
3.2.2. Összesített eredmények

Összeségben a nem domináns láb a második mérésen is magasabb izomaktivitást mutatott a domináns lábhoz képest. Viszont a különbségek marginálisak, ami azt jelenti, hogy az aszimmetria az első méréshez képest csökkent: a nem domináns láb átlagos ARV-je 634,51, ami a teljes izomaktiváció 50,69%-át jelenti, míg a domináns láb átlagos ARV-je 617,36, ami 49,31%-ot jelent.

3.2.3. Lábtoló gép adatok elemzése

A második mérés során a nem domináns láb átlagosan 845,42 W-ot, míg a domináns láb 797,4 W-ot produkált, ami 2,92%-os teljesítménykülönbséget eredményezett a két végtag között. Ez százalékos eltérésben enyhe növekedést mutat az első méréshez képest, ahol a nem domináns láb 854,04 W-ot, a domináns láb 808,46 W-ot mutatott fel, 2,74%-os eltéréssel. Tudniillik, hogy 3 játékos eredménye nem lett elmentve technikai okok miatt, ezért itt csak 21 játékosról tudunk adatot elemezni. A második mérés során értékelt 21 játékos közül 17 játékos

mutatott nagyobb teljesítményt a nem domináns lábában, míg csak 4 játékos mutatott nagyobb teljesítményt a domináns lábában.



10. ábra: Domináns és nem domináns lábak közötti erő-különbség, Leg Press

Az izomaktivitás és az erő kifejtés közötti kapcsolatok

A második mérés az első mérés eredményét követi, ahol az izomaktivitás értékei az idő múlásával egyre nagyobbak lettek, míg az erő kifejtés értékei csökkentek.

3.2.4. Következtetések

A nem domináns láb nagyobb izomaktivitást mutat

Az sEMG adatok elemzése mind az első, mind a második mérésekből meggyőző bizonyítékkal szolgál a hipotézis alátámasztására. Az első mérés során a kulcs izomcsoportokon, köztük a vastus medialis, vastus lateralis, és rectus femoris között, a nem domináns láb következetesen ARV értékeket mutatott a domináns lábhoz képest. Ez a mintázat megmaradt a második mérésben is, ahol a nem domináns láb magasabb ARV értékeket tartott fenn a legtöbb izomcsoportban, kivéve a vastus medialisban. Ezek az eredmények alátámasztják az aszimmetrikus izomtoborzási minták elterjedtségét a DEAC labdarúgóknál. Az izomaktivitás következetes emelkedése a nem domináns lábban potenciális kompenzációs mechanizmusokat vagy adaptációkat sugall az erőtermelés és a mozgás hatékonyságának

optimalizálása érdekében, hangsúlyozva a végtag-specifikus különbségek figyelembevételének fontosságát az edzési és rehabilitációs protokollokban.

Továbbá a lábtoló gép adatai megerősítik az sEMG eredményeit, jelezve, hogy a nem domináns lábban a domináns lábhoz képest nagyobb az erő kifejtés. Mindkét mérés során a nem domináns láb következetesen nagyobb erő kifejtést mutatott a lábnyomások során, amint azt a nagyobb erőmérések is bizonyítják.

3.2.5. Az izomaktivitás és az erő kifejtés közötti összefüggések

Az izomtevékenység és az erő kifejtés közötti összefüggések feltárása érdekes eredményeket hozott, felfedve a két változó közötti fordított összefüggést, miközben a játékosok a lábnyomást végezték. Mindkét mérés során nyilvánvalóvá vált, hogy ahogy a játékosok egyre többször kinyomták a súlyt, az erő kifejtésük fokozatosan csökkent, miközben az izomaktivitás szintje ezzel párhuzamosan nőtt. Ezt a jelenséget szemléltetik a megfigyelt adatok, ahol az egymást követő lábnyomások magasabb ARV értékeknek feleltek meg, amelyek fokozott izomaktivitást jeleztek, ugyanakkor fokozatosan alacsonyabb értékeket látunk az erő kifejtéseknél. A 1.3-as ábra ezt pontosan szemlélteti, ahol reprezentatív sorozatban az izomaktivitás minden ismétléssel folyamatosan nőtt, ami a csúcs ARV értékhez vezetett, miközben az erő kifejtés csökkenő tendenciát mutatott, ami a fáradtság által kiváltott izomerőtermelés csökkenését jelzi. Ilyen esetben ahogy a játékosok a fáradtság határához közelednek, a neuromuszkuláris rendszer további izomrostok felvételével és az izomaktivitás növelésével próbálja fenntartani az erő kifejtés szintjét.

3.3. A 6 hetes edzésprogram alatti fejlődés

A felkészülési időszakban kulcsfontosságú a futballisták fizikai állapotának maximális szintre hozása, beleértve a robbanékonyság, az erő állóképesség és a gyorsaság fejlesztését. Ennek érdekében a SET-ben dolgozó gyógytornászok egy 6 hetes edzésprogramot dolgoztak ki, amit a következő részben bemutatunk.

A 6 hetes felkészülési edzésterv egy átfogó és progresszív programot kínált a futballisták számára. Hétről hétre a játékosok a labdarúgó edzések mellett két különleges edzésen vettek részt a SET-ben. Az első edzés egy funkcionális erősítő edzés volt, ahol a

hangsúly a robbanékonyságon, az erőállóképességen és gyorsaságon volt. A második edzés core stabilitás és mobilizációs edzés volt, ahol a hangsúly a core izomzaton volt.

3.3.1. Funkcionális erősítő edzés

A felkészülés ezen edzésein a játékosok a robbanékonyságot, az erő állóképességet és a gyorsaságot tudták fejleszteni. Ezek az edzések köredzés formájában zajlottak le, amelyet három csoportban végeztek. A csoportok 6–7 főből álltak, és ennek köszönhetően a gyógytornászok minden játékosra optimálisan tudtak figyelni. Az edzés előtt a gyógytornászok minden egyes feladatot bemutattak, és egyszer a játékosok is ki tudták próbálni azokat, majd pedig a megfelelő technika és teljesítmény biztosítása érdekében felügyelet mellett végezték el a feladatokat. Az egész edzés másfél óráig tartott. Az első 25 percben bemelegítő és mobilizációs gyakorlatokat, a következő 45–50 percben az edzés erősítő részét végezték el a játékosok, majd a végén 10 perc nyújtással zárták a programot.

Az edzés erősítő része három állomáson keresztül zajlott le. Minden állomáson 7–8 funkcionális feladat várt a játékosokra, ahol 10–15 ismétlést végeztek el. Az első 3 héten az intenzitás magas volt, ahol a munkaidő 45 másodperc volt, míg a pihenőidő 20 másodperc. A negyedik héttől kezdve az intenzitás csökkent, a munkaidő 30 másodpercre csökkent, míg a pihenőidő 30 másodpercre növekedett. Az intenzitás csökkentését az magyarázza, hogy egyrészt közeledett a tavaszi szezon kezdete és a játékosoknak regenerálódni kellett, másrészt a játékosok minden alkalom után kérdőív formájában adhattak visszajelzést az állapotukról, aminek alapján a gyógytornászok az intenzitás mértékének csökkentése mellett döntöttek.

A feladatok célja a robbanékonyság, az erő állóképesség és a gyorsaság fejlesztése volt. Ezeket a célokat saját testsúly, gumiszalagok, lapsúlyok és pneumatikus eszközök segítségével érték el, így biztosítva a komplex, funkcionális tréning hatékonyságát.

Core stabilitás és mobilizáció edzés

Az edzésprogram második fajta edzése kifejezetten a core izomzat statikus erejét és a mobilizációt célozta. Az edzés kezdetén a játékosok mobilizációs és átmozgató gyakorlatokkal készítették fel az izmaikat az intenzívebb terhelésre. Ezt követően a hangsúly a core izomzat statikus erejének növelésére és stabilizálására helyeződött.

Az edzés teljes időtartama 1–1.5 óra volt, melyet egyetlen csoportban végeztek. Itt is saját testsúlyt és gumiszalagokat használták a terheléshez, lehetővé téve a core izomzat hatékony erősítését [30].

Ez a strukturált és progresszív edzésterv nemcsak fizikai, hanem mentális és technikai szempontból is fejlődést biztosított a labdarúgók számára, felkészítve őket a közelgő szezonra és az előttük álló kihívásokra [11].

3.3.2. A core izomzat fejlődése a 6 hetes edzésprogram alatt

Ebben a részben a core izomzat fejlődését a „plank helyzet” (lásd 12. oldal) pontban említett Plank helyzet mérések alapján fogjuk kielemezni. A méréseket kétszer végeztük el: először a 6 hetes edzésprogram első hetén mértük le a játékosok core izmainak az izomaktivitását, majd második alkalommal az edzésprogram végét követő héten. Az első mérésen 25 játékos vett részt, míg a második mérésen 18 játékos, amiből 16-an részt vettek az első mérésen is. Elemzésünk azonban kizárólag azon 16 játékostól kapott elülső (anterior) plank adatokra összpontosít, akik mindkét mérésen aktívan vettek részt.

A fent említett 6 hetes edzésprogram core stabilitás és a mobilizációs edzések célja az volt, hogy a játékosok a core izomzatot erősítsék, miközben annak aszimmetriáját csökkentik.[24] Ennek tekintetében az elemzésünk annak kiderítésére összpontosított, hogy az edzésprogram elérte-e a célját és a játékosok core izmainak az aszimmetriája csökkent-e.

Az elemzés könnyebb megértése érdekében az izmokat két csoportba osztottuk. Az első csoport a hasi izmok csoportja volt, ahová a m. rectus abdominis, illetve a m. transversus abdominis izmok tartoznak. A második csoport, a hátizmok csoportja a m. erector spinae és a m. latissimus dorsi izmokat tartalmazza.

Három fő kritérium alapján vizsgáltuk a fejlődést

- Az egyes izomcsoportoknál hány játékosnál kritikus az aszimmetria értéke (>10%)
- Az egyes izomcsoportoknál mekkora az átlagos aszimmetria értéke
- Hány játékosnak csökkent az izom aszimmetria értéke

3.3.3. Első mérés eredményei

Figyelemre méltó, hogy egyik játékos sem mutatott kritikus ($>10\%$) különbséget az aszimmetriában a hasi izomcsoporton belül. A hátsó izomcsoportot illetően azonban éles kontraszt alakult ki, ahol kilenc játékos kritikus különbségeket mutatott. A további elemzések kimutatták, hogy a hasi izmok aktivitás szintjei közötti átlagos eltérés $4,43\%$ volt, míg a hátizmok átlagos eltérése $9,09\%$ -os. Az összes mért izom átlagos aszimmetria különbsége $6,76\%$ volt, kiemelve az egyensúlyhiány előfordulását a core izomcsoportokon belül.

3.3.4. Második mérés eredményei

Az első méréssel ellentétben a hasi izomcsoporton belül egy játékos mutatott kritikus különbséget, viszont jelentősen csökkent a kritikus aszimmetriával rendelkező játékosok száma a második mérésen. A hátsó izomcsoportot illetően mindössze három játékosnál fordult elő kritikus érték, ami javulást jelez az első méréshez képest. Továbbá a hasi izmok aktivitási szintjei közötti átlagos eltérés $5,08\%$ -ra emelkedett az első méréshez képest, míg a hátizmok átlagos eltérése csökkent $5,51\%$ -ra. Így az összes mért izom átlagos aszimmetriája összeségben $5,29\%$ -ra csökkent.

3.3.5. Következtetések

A 6 hetes edzésprogramot követően jelentős fejlődésen estek át a labdarúgók. Habár a hasi izmok csoportjának az aktivitás szintjei közötti átlagos eltérés enyhén nőtt, jelezve, hogy az edzésprogram néhány lehetséges területe javítható, a hátizmok csoportjánál ennek az értéke jelentősen csökkent. Továbbá, a kritikus aszimmetriával rendelkező játékosok száma a hátizmok csoportban kilencről háromra csökkent, ami arra utal, hogy az edzésprogram pozitív hatással volt a játékosok hátizmaira. Az összes izom közötti átlagos aszimmetria csökkent, ami azt jelzi, hogy a core izmok aktivitásában javult a szimmetria és az egyensúly.

Érdekes módon a játékosok között eltérő volt a reakció az edzésre. Míg egyes játékosok az aszimmetria csökkenését, mások növekedést tapasztaltak. Ez kiemeli az egyénre szabott képzési megközelítések fontosságát, valamint a folyamatos értékelés és korrigálás

szükségességét az edzésprogram során. Mindazonáltal az általános tendencia azt sugallja, hogy a hathetes felkészülési időszak hatékony volt a core izmok aszimmetriájának kezelésében, amelyek kulcsfontosságúak a labdarúgók optimális teljesítményének eléréséhez és a sérülések megelőzéséhez.

Összefoglalás

A prezentált munka a felszíni elektromiográfia (sEMG) alkalmazhatóságát vizsgálja az izomműködés elemzésében, különös tekintettel a sportorvoslás és a rehabilitáció területeire. Az sEMG, mint noninvazív és fájdalommentes módszer, alternatívát kínál a konvencionális, invazív elektromiográfiai technikákhoz, előnyöket biztosítva ezzel a páciensek számára a vizsgálatok kényelme és elérhetősége terén. A tanulmány az sEMG fontosságát hangsúlyozza az izom- idegrendszeri zavarok diagnosztizálásában, az izomműködés objektív értékelésében, valamint a rehabilitációs protokollok hatékonyságának monitorozásában.

A technológia kritikus alkalmazási területét a sportolók izomműködésének elemzésében való alkalmazás jelenti, ahol az izomzati szimmetria és az esetleges aszimmetriák korrekciója esszenciális a sérülések megelőzése és a teljesítményfokozás szempontjából [9]. A dolgozatban részletezzük a Debreceni Egyetem Atlétikai Club (DEAC) labdarúgói körében végzett méréseket, melyben az sEMG-t használtuk az izomaktivitás és az erő kifejtés közötti korrelációk, valamint az edzésprogramok fiziológiai hatásainak vizsgálatára.

A kutatás keretében egy specifikus, Python alapú szoftver került fejlesztésre az sEMG adatok gyűjtésére és analízisére. Az elemzés során kiemelt figyelmet fordítottak a lábizmok aktivitásának mérésére, azonosítva a domináns és a nem domináns végtag közötti eltéréseket.

Az eredmények megerősítik az sEMG módszer relevanciáját és alkalmazhatóságát a sportteljesítmény javítására és a rehabilitációs eljárások optimalizálására irányuló törekvésekben. Az sEMG által nyújtott objektív adatok kulcsfontosságúak lehetnek az edzésprogramok finomhangolásában, az izom-ideg rendszeri funkciók pontosabb megértésében és a rehabilitációs stratégiák hatékonyabb alkalmazásában.

Irodalomjegyzék

- [1] M. Al-Ayyad, H. A. Owida, R. De Fazio, B. Al-Naami, és P. Visconti, „Electromyography monitoring systems in rehabilitation: a review of clinical applications, wearable devices and signal acquisition methodologies,” *Electronics*, vol. 12, no. 7, pp. 1–25, 2023.
- [2] C. Bianchi, és A. Meloni, „Natural and man-made terrestrial electromagnetic noise: an outlook,” *Annals of Geophysics*, vol. 50, no. 3, pp. 435–448, 2007.
- [3] I. Campanini, C. Disselhorst-Klug, W. Z. Rymer, és R. Merletti, „Surface EMG in clinical assessment and neurorehabilitation: barriers limiting its use,” *Frontiers in Neurology*, vol. 11, Art. 934, pp. 1–10, 2020.
- [4] B. Chung, M. Zia, K. A. Thomas, J. A. Michaels, A. Jacob, et al., „Myomatrix arrays for high-definition muscle recording,” *eLife*, vol. 12, Art. e79156, pp. 1–15, 2023.
- [5] C. J. De Luca, „Surface electromyography: detection and recording,” *DelSys Incorporated*, pp. 1–60, 2002.
- [6] D. W. Dunstan, B. Howard, G. N. Healy, és N. Owen, „Too much sitting – A health hazard,” *Diabetes Research and Clinical Practice*, vol. 97, no. 3, pp. 368–376, 2012.
- [7] R. A. Ekstrom, R. W. Osborn, és P. L. Hauer, „Surface Electromyographic Analysis of the Low Back Muscles During Rehabilitation Exercises,” *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, vol. 38, no. 12, pp. 736–745, 2008.
- [8] R. M. Enoka, és J. Duchateau, „Inappropriate interpretation of surface EMG signals and muscle fiber characteristics impedes understanding of the control of neuromuscular function,” *Journal of Applied Physiology*, vol. 119, no. 12, pp. 1516–1518, 2015.
- [9] M. C. Espada, M. Jardim, R. Assunção, A. Estaca, C. C. Ferreira, et al., „Lower Limb Unilateral and Bilateral Strength Asymmetry in High-Level Male Senior and Professional Football Players,” *Healthcare*, vol. 11, no. 11, Art. 1583, pp. 1–12, 2023.
- [10] D. Farina, R. Merletti, és R. M. Enoka, „The extraction of neural strategies from the surface EMG,” *Journal of Applied Physiology*, vol. 96, no. 4, pp. 1486–1495, 2004.
- [11] D. Farina, R. Merletti, és R. M. Enoka, „The extraction of neural strategies from the surface EMG: an update,” *Journal of Applied Physiology*, vol. 117, no. 11, pp. 1215–1230, 2014.

- [12] N. H. Hart, S. Nimphius, J. Weber, T. Spiteri, T. Rantalainen, et al., „Musculoskeletal asymmetry in football athletes: a product of limb function over time,” *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 30, no. 4, pp. 977–986, 2016.
- [13] M. Helme, J. Tee, S. Emmonds, és C. Low, „Does lower-limb asymmetry increase injury risk in sport? A systematic review,” *Physical Therapy in Sport*, vol. 49, pp. 204–217, 2021.
- [14] H. J. Hermens, B. Freriks, C. Disselhorst-Klug, és G. Rau, „Development of recommendations for sEMG sensors and sensor placement procedures,” *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 10, no. 5, pp. 361–374, 2000.
- [15] H. Herrero, J. J. Salinero, és J. D. Coso, „Injuries among Spanish male amateur soccer players: a retrospective population study,” *The American Journal of Sports Medicine*, vol. 42, no. 1, pp. 78–85, 2014.
- [16] C.-J. Hsu, A. Meierbachtol, S. Z. George, és T. L. Chmielewski, „Fear of Reinjury in Athletes: Implications for Rehabilitation,” *Sports Health*, vol. 9, no. 2, pp. 162–167, 2017.
- [17] F. Hug, N. A. Turpin, A. Guével, és S. Dorel, „Is interindividual variability of EMG patterns in trained cyclists related to different muscle synergies?,” *Journal of Applied Physiology*, vol. 108, no. 6, pp. 1727–1736, 2010.
- [18] E. Hanada, és T. Kudo, „Electromagnetic noise in the clinical environment,” *Polar* 500, pp. 1–12, 2009.
- [19] B. Kovács, D. Csala, Ö. Sebestyén, J. Matlák, Á. Groszmann, et al., „Arm swing during vertical jumps does not increase EMG activity of the lower limb muscles,” *Physical Activity and Health*, vol. 7, no. 1, pp. 30–37, 2023.
- [20] S. J. Maloney, „The Relationship Between Asymmetry and Athletic Performance: A Critical Review,” *The Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 33, no. 9, pp. 2579–2593, 2019.
- [21] L. McManus, G. De Vito, és L. M. Madeleine, „Analysis and Biophysics of Surface EMG for Physiotherapists and Kinesiologists: Toward a Common Language With Rehabilitation Engineers,” *Frontiers in Neurology*, vol. 11, Art. 992, pp. 1–14, 2020.
- [22] A. Merlo, és I. Campanini, „Technical Aspects of Surface Electromyography for Clinicians,” *The Open Rehabilitation Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 98–109, 2010.

- [23] K. M. Muttaqi, és M. E. Haque, „Electromagnetic Interference Generated from Fast Switching Power Electronic Devices,” *International Journal of Innovations in Energy Systems and Power*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2008.
- [24] T. W. Nesser, K. C. Huxel, J. L. Tincher, és T. Okada, „The Relationship Between Core Stability and Performance in Division I Football Players: A Critical Review,” *The Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 22, no. 6, pp. 1750–1754, 2008.
- [25] T. Prabhavathy, V. K. Elumalai, B. E. Balaji, és S. Dhanasekaran, „A surface electromyography based hand gesture recognition framework leveraging variational mode decomposition technique and deep learning classifier,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 130, Art. 105239, pp. 1–15, 2024.
- [26] M. Sjöberg, H. E. Berg, L. Norrbrand, M. S. Andersen, E. M. Gutierrez-Farewik, et al., „Comparison of joint and muscle biomechanics in maximal flywheel squat and leg press,” *Frontiers in Sports and Active Living*, vol. 3, Art. 667307, pp. 1–10, 2021.
- [27] J. Wang, L. Tang, és J. E. Bronlund, „Signal Amplification and Filtering,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 52, no. 1, pp. 1–7, 2013.
- [28] E. A. Wikstrom, M. D. Tillman, T. L. Chmielewski, és P. A. Borsa, „Measurement and Evaluation of Dynamic Joint Stability of the Knee and Ankle After Injury,” *Sports Medicine*, vol. 36, no. 5, pp. 445–456, 2006.
- [29] Y. Liu, F. Zhang, Y. L. Sun, és H. Huang, „Trust sensor interface for improving reliability of EMG-based user intent recognition,” *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pp. 6331–6334, 2011.
- [30] E. Zemková, és L. Zapletalová, „The role of neuromuscular control of postural and core stability in functional movement and athlete performance,” *Frontiers in Physiology*, vol. 13, Art. 867867, pp. 1–15, 2022.

Saját munka leírása

Csengeri Bence Zsombor

- sEMG hasonlító protokoll kifejlesztése
- Munkafolyamatok megtervezése
- Felmérések lebonyolítása
- sEMG jelek rögzítése
- Ábrák megtervezése
- Kapcsolattartás a gyógytornászokkal, orvosokkal, alanyokkal
- Adatok tisztítása
- A szoftver tervezése
- Munkafolyamatok felülvizsgálása
- Dolgozat megíráshoz való hozzájárulás

Jankelic Iván

- Programkód megírása, tesztelése
- Alsó végtagi mérések leírása
- Mérési adatok feldolgozása
- Mérési adatok kiértékelése
- A dolgozat megírásához való hozzájárulás

Szűcs Ferenc

- Dolgozat megírása
- Mérési adatok feldolgozása
- Mérési adatok kiértékelése
- Összefoglaló megírása

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk Prof. Dr. Szántó Sándornak, a Debreceni Egyetem Sportorvosi Tanszék tanszékvezetőjének, a Sportdiagnosztikai, Életmód- és Terápiás Központ orvosvezetőjének, a kutatás engedélyezéséért és a folyamatos szakmai támogatásáért.

Köszönettel tartozunk Dr. Némethné Dr. Gyurcsik Zsuzsannának, a Debreceni Egyetem Sportorvosi Tanszék adjunktusának, a Sportdiagnosztikai, Életmód- és Terápiás Központ vezetőgyógytornászának a folyamatos szakmai segítségért és támogatásért.

Köszönettel tartozunk Új Tamásnak, a Sportdiagnosztikai, Életmód- és Terápiás Központ gyógytornászának a protokollok kifejlesztésében való részvételért és a mérések szakmai felülvizsgálataért.

Köszönettel tartozunk a Debreceni Egyetemi Atlétikai Club (DEAC) labdarugó szakosztályának a mérésekhez való hozzájárulásáért.

Ábrajegyzék

1. ábra: EKG tapasz és BTS Bioengineering sEMG Szenzorok	3
2. ábra: BTS EMG-Analyzer felület.....	9
3. ábra: sEMGanalyzer programozási felület	10
4. ábra: Érintett izomcsoportok helyesen elvégzett plank gyakorlat során	16
5. ábra: A vizsgálatban résztvett anatómiai pontok (bal láb, férfi modell)	18
6. ábra: Az alanyra felhelyezett szenzorok gyakorlatvégzés közben	19
7. ábra: Keiser A300 Leg press gép.....	20
8. ábra: Kinyert adatok a Keiser Leg Press gépből.....	23
9. ábra: Kifejtett erő (narancs) és izomaktivitás (kék) a domináns lábban.....	25
10. ábra: Domináns és nem domináns lábak közötti erő-különbség, Leg Press.....	27