

Testnevelési Egyetem
Sport- és Egészségtudományi Intézet
Egészségtudományi és Sportorvosi Tanszék

Új fittségi jellemzők keresése Omega-3 zsírsavak hatásainak elemzésére

18. VMTDK dolgozat

Készítette:

Olexó Tünde

II. évf. matematikus MSc
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Természettudományi Kar

Témavezető:

Dr. Komka Zsolt

egyetemi tanársegéd
kardiológus szakorvos, sportorvos
a kajak-kenu válogatott keretorvosa



Budapest
2019

1 Tartalomjegyzék

1	Tartalomjegyzék	2
1.1	Rezümé	4
1.2	Resume	5
2	Bevezető	6
2.1	Köszönetnyilvánítás	6
2.2	Előszó	6
3	A spiroergometriai terheléses vizsgálat gyakorlati és elméleti háttere	7
3.1	A spiroergometriai terheléses mérési módszer részei	7
3.2	A mért értékek, elméleti hátterük, Fick egyenlet	8
3.3	A respirációs hányados (RER, Respiratory Exchange Ratio) bemutatása	10
3.4	A Haldane transzformáció ismertetése	11
3.5	Alap- és származtatott mennyiségek definiálása táblázatos formában	13
3.6	Alap- és képzett változók közti kapcsolat bemutatása	15
3.7	Az alap- és származtatott változók idősorainak futási görbéje	16
4	Adathalmaz ismertetése, statisztikai előmunkálatok bemutatása	17
4.1	Az adatokat létrehozó vizsgálat gyakorlati menete:	17
4.2	Adathalmaz tartalma	18
4.3	Új struktúra készítése, a kapott 76 fájlból 1 képzésének elve	20
4.4	További adatfeldolgozás: tartalmi korrekció	21
4.5	Alapstatisztikák	22
4.6	Grafikus anomáliadetektálás	22
5	Összefüggések keresése, statisztikai vizsgálatok	23
5.1	VO ₂ max-RERmax összefüggés vizsgálata	23
5.2	Csoportok képzése kor, nem és Omega-3 zsírsavbeviteli típus alapján	25

6	Új fittségi mutatók	28
6.1	RER geometriai interpretációján alapuló súlypont módszer: RER súlypont	28
6.2	Omega-3 fázisszög, avagy a W-RER differenciavektorok és szögek	31
7	Következtetések levonása, további kutatási és fejlesztési irányok felvázolása	36
8	Összefoglalás	37
9	Irodalomjegyzék	38

1.1 Rezümé

Új fittségi jellemzők keresése Omega-3 Zsírsavak hatásainak elemzésére

Szerző: Olexó Tünde, Matematikus Mester szakos hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Témavezető: Dr. Komka Zsolt egyetemi tanársegéd, kardiológus szakorvos, sportorvos, a kajak-kenu válogatott keretorvosa

Intézmény: Testnevelési Egyetem Sport- és Egészségtudományi Intézet Egészségtudományi és Sportorvosi Tanszék, Magyarország

A kutatás célja annak alátámasztása vagy cáfolása, hogy az Omega-3 zsírsavbevitel kimutathatóan hat a sportolók fittségi állapotára. Kutatási módszerként spiroergometriai – vita maximális és szubmaximális – terheléses méréssel nyert adatokon statisztikai eszközökkel vizsgálja az Omega-3 zsírsav hatását az emberek fittségi állapotára. A kísérletben résztvevő 19 fős csoport kétféle (kapszulás, illetve tejben oldott) Omega-3 készítményt szedett 9:10 fős megoszlásban. A tanulmány a szedés előtti és utáni szubmaximális mérés adatait hasonlítja össze. Ehhez olyan mutatószámok bevezetésére volt szükség a sporttudományban általánosan elterjedt módszerek helyett, melyek az adatsor elemeinek hosszától (időtartamtól) függetlenek. Ezek statisztikai módszerekkel kerültek meghatározásra. A dolgozat ismerteti a spiroergometriai terheléses mérési vizsgálat folyamatát, a résztvevők és az adathalmaz leíró statisztikáit. Leírja a szükséges statisztikai előmunkálatokat: anonimizálás, standardizálás, outlier detektálás és okok elemzése matematikusi és orvosi szemszögből. Bemutatja a változást legjobban magyarázó Respirációs hányados (RER) elméleti hátterét, kémiai egyenleteit. Az elemzés a maximális oxigén felvételt (VO_2max) is figyelembe veszi. Ismerteti a használt matematikai és ábrázolási módszereket. Összefoglaló ábra mutatja be a mérés alap- és származtatott értékeit. Bevezeti a respirációs hányados geometria interpretációján alapuló súlypont módszert, mint új fittségi mutatószámot és alkalmazza az adatsorra MATLAB segítségével. A kutatás eredményeként megállapítható, hogy az Omega-3 zsírsav (típustól függően) kimutathatóan hat az emberek (sportolók) fittségi állapotára.

Kulcsszavak: fittségi mutató, Omega-3 zsírsav, respirációs hányados (RER), statisztika

1.2 Resume

Defining New Fitness Characteristics to Analyze the Effects of Omega-3 Fatty Acids

Author: Tünde Olexó, Mathematics Msc student, Budapest University of Technology and Economics

Supervisor: Dr. Zsolt Komka assistant professor, cardiologist, sports medicine physician, kayak-canoe national team's doctor

Institution: University of Physical Education, Institute of Sport and Health Sciences, Department of Health Sciences and Sports Medicine, Hungary

The aim of the research is to confirm or refute that the Omega-3 fatty acid intake has a detectable effect on athletes' fitness. As a research method, the dissertation analyses the effect of Omega-3 fatty acid (in a capsule and in milk-soluble form) on human fitness using statistical methods on the dataset obtained by vita maximal and submaximal stress test (measurements of spiroergometry). A group of 19 people took two type of Omega-3 product in a 9:10 split. The study compares the submaximal measurement data before and after the people in the research consumed the two type of products with Omega-3 fatty acid. This required the introduction of indices that are independent of the length of the dataset's elements (time interval) instead of methods commonly used in sports science. These were determined by statistical methods. The dissertation describes the stress test (spiroergometry measurement process) and the descriptive statistics both of the participants and the data set. It describes the necessary statistical pre-work: anonymisation, standardisation, outlier detection and causal analysis from a mathematical and medical point of view. It presents the theoretical background and chemical equations of the respiratory exchange ratio (RER), which explains the change the most efficiently. The analysis also takes into account the maximum oxygen intake (VO_{2max}). The dissertation describes the mathematical and graphical methods used in the research. The summary chart shows the base and calculated values of the measurement. The study introduces the center of gravity method based on the geometric interpretation of respiratory exchange ratio as a new fitness index and applies it to the data set using MATLAB. As a result of the research, it can be stated that the Omega-3 fatty acid (depending on type) has a measurable effect on the fitness status of people (athletes).

Keywords: fitness index, Omega-3 fatty acid, respiratory exchange ratio (RER), statistics

2 Bevezető

2.1 Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, dr. Komka Zsoltnak, aki felkeltette érdeklődésemet az alkalmazott matematika egy különösen érdekes alkalmazási területe, az egészségügyi adatok elemzése iránt, segített azokat értelmezni orvosi szemmel. Köszönöm dr. Seres Leilának az orvosi és biológiai nyelvezetbeli korrekcióit, segítségét a helyesség és pontosság terén, tanácsait. Köszönöm dr. Olexó Zsuzsannának, hogy a matematikai és orvosi szemléleti és nyelvezeti különbségek áthidalásában, a közös nevező megtalálásában segített. Végezetül köszönöm a Testnevelési Egyetem Sport- és Egészségtudományi Intézet Egészségtudományi és Sportorvosi Tanszékének az értékes mérési adatokat, amelyek nélkül ez a munka nem jöhetett volna létre.

2.2 Előszó

Az Omega-3 zsírsavak jótékony hatásúak a szervezet zsíryanycseréjére, többek között az érlemeszesedés gátlásával/lassításával a népbetegségnek számító kórképek megelőzésében is döntő jelentőségűek. Ennek felismerése nyomán elsősorban az Omega-3 zsírsavakban gazdag élelmiszerek – mint a halak és diófélék – fogyasztását javasolják, de forgalomba kerültek Omega-3 tartalmú kapszulák és egyéb táplálék kiegészítő termékek is. Ezen zsírsavaknak a fizikai terhelés alatt is kedvező hatása lehet, hiszen a zsíryanycsere a szervezet energia ellátásában is meghatározó tényező, erről azonban kevés tanulmány látott eddig napvilágot. A Testnevelési Egyetem Egészségtudományi és Sportorvosi Tanszékén a fentiekkel kapcsolatos kérdéseket tették fel, amikor a szervezetbe kétféle módon – kapszulában, illetve Omega-3-ban gazdag tej formájában – bejuttatott Omega-3 zsírsavak 3 hónapos szedésének hatását, hatásának paramétereit (létezés, nagyság, irány, mérhetőség) vizsgálták a zsíryanycserére, és a fizikai terhelhetőségre, fittségre spiroergometriai (vita maxima, és szubmaximális) mérési vizsgálattal nyert adatok segítségével, főként a Respirációs hányados görbéjére fókuszálva. A dolgozat ezt a kérdést járja körbe a spiroergometriai mérési úton nyert adathalmazon statisztikai eszközök és mutatók alkalmazásával: van-e hatással a fizikai teljesítőképességre az Omega-3 zsírsavak fokozott bevitele, illetve észlelhető-e különbség a kétféle bejuttatási mód – kapszula és tej – között. Záróakkordként a vizsgálati módszerek kiterjesztése, összehangolása más modellekkel, további kutatási irányok is említésre kerülnek.

3 A spiroergometriai terheléses vizsgálat gyakorlati és elméleti háttere

3.1 A spiroergometriai terheléses mérési módszer részei

A spiroergometria terhelés során vizsgálja a légzési paramétereket és a gázcserét (O₂ felvétel, CO₂ leadás). Legfontosabb kérdése a vizsgált személy maximális munkavégző képességének és az ehhez tartozó maximális oxigénfelvevő képességének (aerob kapacitásának) meghatározása, ami az ún. vita maxima típusú terhelés során mérhető. Ilyenkor orvosi felügyelet mellett fokozatosan emelkedő terhelés során érjük el a teljesítőképesség maximumát. Egészséges egyén maga vet véget végkimerüléskor („vita maxima”) a vizsgálatnak, kóros EKG jelek vagy más rendellenesség esetén az orvos szakítja meg a terhelést. Az ergométer lehet kerékpár vagy evezős pad, illetve futószalag. Ez utóbbinál – amely saját vizsgálatunkban is szerepelt – a futó személy teljesítményét a szalagsebesség és a dőlésszög változtatásával lehet befolyásolni.

A spiroergometriai terheléses élettani vizsgálat alapvetően több részből tevődik össze. A vizsgálat előkészítése úgynevezett nyugalmi vizsgálatokból áll (vérnyomásmérés, általános anamnézis felvétel). Maga a terheléses vizsgálat alapvetően két részre tagolható: fokozatosan növekvő terheléses részre, amely a végkimerülésig tart (vita maxima); és huzamos ideig állandó (steady state) terhelésre az első, vita maximális méréskor megállapított maximum érték kb. 85%-án.



3.3.1 ábra: egy kísérleti személy a futópadon

A futó személy teljesítményét a szalagsebesség, és a dőlésszög változtatásával lehet befolyásolni. A futó testén jól láthatóak az EKG elektródák tapaszai. A gázcsere pontos méréséhez szükséges a jól záródó gázmaszk – mely szintén látható a fenti ábrán.

A maximális oxigénfelvevő képesség (aerob kapacitás) az egyén egyik legfontosabb fittségi jellemzője. Az edzettség és a teherbíró képesség azonban ennél összetettebb: fontos kérdés, hogy ennek a maximális értéknek – amelyet élsportolók is csak 1-2 percig tudnak tartani – hány százalékával tudunk folyamatos dolgozni, illetve egy saját maximumunkhoz közeli értéken milyen hosszan vagyunk teljesítőképesek. Ez utóbbira keresi a választ a Testnevelési Egyetemen kidolgozott szubmaximális terhelési protokoll (a dolgozat ábráin submax jelöli), amely során minden vizsgált személy a saját, vita maxima típusú terhelés során korábban megmért aerob kapacitásának 85%-ával milyen hosszan és milyen élettani jellemzőkkel képes dolgozni.

3.2 A mért értékek, elméleti háttérük, Fick egyenlet

A vizsgálatokat technikailag (jelen esetben) futószalag-ergométeren a szalagsebesség és dőlési szög növelésének segítségével végeztük, amelynél a belélegzett oxigén mérésére száraz gázmétert, turbinás vagy pneumatikus eszközöket használunk. Az arcra rögzített maszk szenzorral kapcsolódik a gázanalizátorhoz. A gáz frakciók szétválasztásra kerülnek, melynek célja, hogy az O_2 - CO_2 szintjét mérhetővé tegye. Pontosabban: a légzési és keringési rendszer

teljesítőképességét számítjuk (VO_2) aerob kapacitás néven. Ehhez a számításhoz a Haldane transzformációt és a Fick-egyenletet használhatjuk fel.

Fick törvénye:

A szervezet oxigén fogyasztása (VO_2), az arteriovenózus oxigén koncentráció különbség ($a - VO_2$ diff.) és a perctérfogat (Q) viszonyát adja meg: $VO_2 = Q (a - VO_2 \text{ diff.})$.

Fick II.törvénye:
$$\frac{\delta C}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x} D \frac{\delta C}{\delta x} + \frac{\delta}{\delta y} D \frac{\delta C}{\delta y} + \frac{\delta}{\delta z} D \frac{\delta C}{\delta z}$$
 ¹

A Haldane transzformációt egy következő alfejezetben részletesebben kifejtjük.

Ezzel egy időben 12 elvezetéses EKG-val követjük a szív tevékenységét a terhelés különböző szakaszaiban. Az EKG görbe segítségével nemcsak a szív működés zavarait (extraszisztolék, hipoxiás jelek), hanem a pulzusszámot is folyamatosan megkapjuk. Az oxigénfogyasztás és a szívfrekvencia segítségével számolható az oxigénpulzus, ami a kettő hányadosát jelenti. A spiroergometriai terheléses mérést gyakran kapcsolják össze vérvizsgálattal, amivel a pH-t, laktát szintet és anaerob küszöböt határozhatjuk meg.

Egy spiroergometriai terheléses vizsgálat során mért értékek

A légzésmechanika adatai: percnkénti légzésszám; légzési térfogat; a kettő szorzata: a légzési perctérfogat

A gázcsere adatai: a kilélegzett levegő O_2 koncentrációja; a kilélegzett levegő CO_2 koncentrációja; percnkénti O_2 felvétel; percnkénti CO_2 leadás

Számított értékek: légzési kvóciens (RER); relatív O_2 fogyasztás (testsúly kg-ra számolt); oxigénpulzus: percnkénti O_2 felvétel (ml/pulzusszám); légzési ekvivalens:

$$\frac{\text{légzési perctérfogat (l)} \cdot 100}{\text{percnkénti } O_2 \text{ felvétel (ml)}}$$

A maximális munkavégző képességet, s ezen belül a maximális oxigénfelvevő képességet úgy mérjük, hogy kellően alacsony szintről indítva percnként emeljük a terhelés teljesítményét mindaddig, amíg a vizsgált személy ezt bírja (vagyis végkimerülésig). Ezt hívjuk (a már említett) „vita maxima” értéknek, amely azt a legmagasabb oxigénfogyasztást jelenti, amit a fokozódó terhelés utolsó percében mérünk.

¹ forrás: Dr Hári László: Anyagszerkezetten és anyagvizsgálat. www.tankonyvtar.hu

Megjegyzés: Mint említettük, vizsgálatot általában maga a terhelést végző fejezi be szubjektív kifáradás okán (ritkán, EKG rendellenesség esetén a vizsgálatot végző orvos szólítja fel erre).

A vita maxima típusú mérés élettani kritériumai:

A szubjektív tényezők (motiváltság, kitartás) miatt szükséges rögzíteni a vita maxima típusú mérés élettani kritériumait, hogy a mérési eredmények összehasonlíthatók legyenek.

- a terhelés maximumán életkortól függően a pulzus legyen 160-180/min
- a fokozódó terhelés időtartama legalább 5-6 perc legyen
- az artériás vér pH-ja legyen 7.25, vagy annál kisebb
- RER ($RER = \frac{CO_2}{O_2}$) érték legyen 1, vagy annál nagyobb
- a terhelés emelésekor az oxigénfogyasztás érje el a maximumot.

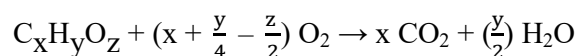
3.3 A respirációs hányados (RER, Respiratory Exchange Ratio) bemutatása

A RER (respirációs hányados) orvosi szempontból egy noninvazív módszerrel nyerhető változó, amely a terhelés alatti pillanatnyi energiafelhasználásról, így a zsírégetésről ad információt. Többek között noninvazív jellege miatt (nincs szükség a mérési folyamat során a beteg testén át történő behatolásra, mivel a vizsgálat vágás, és tűszúrás nélkül elvégezhető) különösen előnyös mutató lehet sportteljesítmény mérésére. Az okozott sérülések hiánya miatt a mérési időközök is lehetnek sűrűbbek, melyek alapján jobban nyomon követhető a fittség (erőnlét) változása, készítmények fittsége való hatása mindkét irányban a RER alapú fittségi mutatók segítségével. Az említett mutatókat a 6. fejezetben ismertetünk, továbbfejlesztési lehetőségeiket pedig a 7. fejezet taglalja. Az alábbiakban ismertetjük a RER elméleti háttérét, kémiai egyenletét, jellemző értékeit.

$$RER = \frac{CO_2 \text{ kilélegzett}}{O_2 \text{ felhasznált}}$$

Gázoknál a térfogatarány megegyezik a molekulák számának arányával, így az elméleti számítások (molekulaarányok) és a mérhető mennyiségek (be- és kilélegzések gáztérfogata) között egyenes arányosság van. Az elméleti számítások részben (pl. Avogadro törvény) standard körülményekre, normál hőmérsékletre és nyomásra vonatkoznak.

A következőkben egy általános égési egyenletet fogalmazzunk meg, mely mind szénhidrát, mind zsír égetésére érvényes:



Az egyenlet alapján a felhasznált oxigén:

$$\left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}\right) \text{O}_2$$

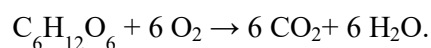
A kilélegzett szén-dioxid:

$$x \text{CO}_2$$

Ekkor a RER érték:

$$\text{RER} = \frac{4x}{4x + y - 2z}$$

Pl. glükóz molekulára $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ez az egyenlet az alábbi alakú:



Ekkor a $\text{RER} = \frac{6\text{CO}_2}{6\text{O}_2} = 1$.

Táblázatos formában:

Vegyület	képlet	x	y	z	$\text{RER} = \frac{4x}{4x+y-2z}$
szőlőcukor	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	6	12	6	$\text{RER} = \frac{4 \times 6}{4 \times 6 + 12 - 2 \times 6} = 1$
zsírsav	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	16	32	2	$\text{RER} = \frac{4 \times 16}{4 \times 16 + 32 - 2 \times 2} = \frac{16}{23} = 0.6956 \approx 0.7$

3.3.1 ábra: szőlőcukor és zsírsav RER számítási táblázata

A terhelés közben folyamatosan detektálható RER érték igen hasznos információ, mivel mérési lépésenként – esetünkben 10 másodpercenként – az izomműködés pillanatnyi energiaforrásáról tájékoztat bennünket. Amikor a RER 0,7-0,8 körül van, a zsírégetés dominál. Amikor a RER közelít 1-hez, döntően a szervezet szénhidrát tartalékait éli fel aerob módon égetve. Amikor a RER 1 fölé emelkedik, már jelentős az anaerob energianyerés is, azaz az egyén aerob teljesítőképessége elérte maximumát.

3.4 A Haldane transzformáció ismertetése

Spiroergometriai mérések során a belégzési értékeket nem mérik, csak a kilégzési értékeket. A további értékeket az utóbbiakból számításokkal nyerik ki az alább ismertetett módszerrel:

jelölés	megnevezés	ábrázolás
VI	belégzés összterfogot (ezt közvetlenül nem mérik)	
VE	kilégzés összterfogot	
FIO ₂ , FIN ₂ , FICO ₂	Oxigén, nitrogén, szén-dioxid belégzés térfogatszázaléka (nem mérik)	
FEO ₂ , FEN ₂ , FECO ₂	Oxigén, nitrogén, szén-dioxid kilégzés térfogatszázaléka	
VO ₂ , VN ₂ , VCO ₂	A felhasznált oxigén, nitrogén, szén-dioxid térfogata (nem mérik)	

3.4.1. ábra: belégzési és kilégzési értékek összefoglalása

Célunk a VO₂ és VCO₂ értékeinek számítása az ismert kilégzési adatokból (VE, FEO₂, FEN₂, FECO₂).

A felhasznált oxigén a belélegzett és kilélegzett oxigén térfogatának különbsége:

$$VO_2 = FIO_2 \times VI - FEO_2 \times VE$$

A keletkezett szén-dioxid a kilélegzett és belélegzett szén-dioxid térfogatának különbsége:

$$VCO_2 = FECO_2 \times VE - FICO_2 \times VI$$

A belélegzett szén-dioxid elhanyagolható, így:

$$VCO_2 = FECO_2 \times VE$$

Nitrogén felhasználás nincs, ezért a belélegzett és kilélegzett nitrogén térfogatának különbsége nulla:

$$VN_2 = FIN_2 \times VI - FEN_2 \times VE = 0$$

Ebből VI-t kifejezve:

$$VI = VE \times \frac{FEN_2}{FIN_2}$$

A levegőben lévő egyéb gázokat figyelmen kívül hagyva:

$$F_{IN_2} + F_{IO_2} + F_{ICO_2} = 1 \quad \longrightarrow \quad F_{IN_2} = 1 - F_{IO_2} - F_{ICO_2}$$

$$F_{EN_2} + F_{EO_2} + F_{ECO_2} = 1 \quad \longrightarrow \quad F_{EN_2} = 1 - F_{EO_2} - F_{ECO_2}$$

Az előbbieket behelyettesítve a V_I -t kifejező, nitrogént felhasználó képletbe:

$$V_I = V_E \times \frac{F_{EN_2}}{F_{IN_2}} = V_E \times \frac{1 - F_{EO_2} - F_{ECO_2}}{1 - F_{IO_2} - F_{ICO_2}} = V_E \times k_H$$

V_E szorzója a Haldane korrekciós faktor:

$$k_H = \frac{1 - F_{EO_2} - F_{ECO_2}}{1 - F_{IO_2} - F_{ICO_2}}$$

Ezek alapján számítható ki a felhasznált oxigén térfogata is:

$$V_{O_2} = V_E \times k_H \times F_{IO_2} - V_E \times F_{EO_2}$$

Megjegyzés: A Haldane transzformáció abban az esetben nem alkalmazható, amikor nincs nitrogén a levegőben (pl. oxigénsátor). Ezt a problémát orvosolta Eschenbacher a Haldane transzformáció tovább fejlesztésével, a Haldane–Eschenbacher transzformációval. Mivel a vizsgálatkor nem voltak ilyen extrém körülményeink, így a Haldane transzformáció segítségével kerültek kiszámításra a hiányzó értékek.

3.5 Alap- és származtatott mennyiségek definiálása táblázatos formában

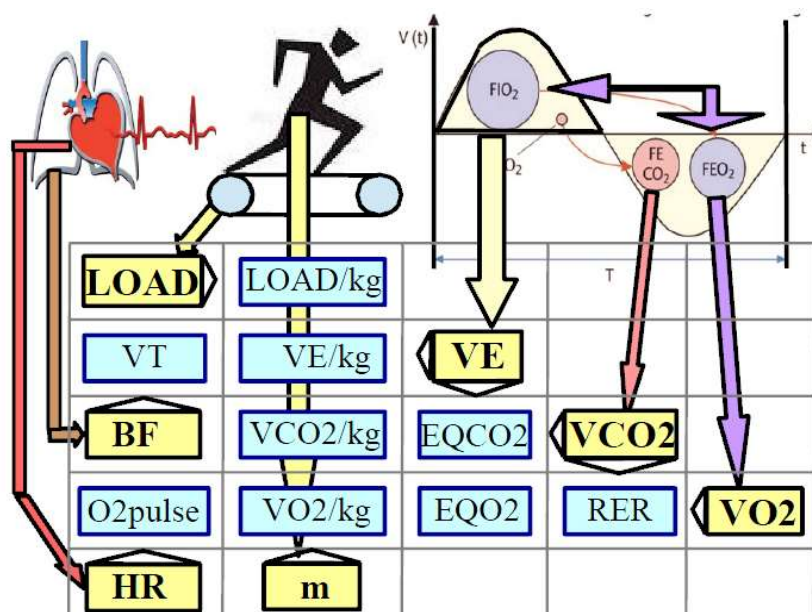
Bár a V_{O_2} és V_{CO_2} mennyiségek is számításokkal jönnek létre, a továbbiakban a V_E mellett ez utóbbi két mennyiséget is alapadatoknak tekintjük.

Az alábbiakban ismertetjük a jelölésrendszert, elnevezéseket, mértékegységeket.

Alapmennyiségek			
jelölés	megnevezés		mértékegység
LOAD	Névleges teljesítmény		Watt
VE	Légzési perctérfogat		liter/perc
VO ₂	Percenként elfogyasztott oxigén mennyisége		liter/perc
VCO ₂	percenként kilélegzett („termelt”) széndioxid mennyisége		liter/perc
BF	légzési frekvencia		1/perc
HR	szívfrekvencia		1/perc
Származtatott mennyiségek			
jelölés	megnevezés		mértékegység
RER	Légzési hányados	$RER = \frac{VO_2}{VCO_2}$	[]
EQO ₂	Felhasznált oxigénarány	$EQO_2 = \frac{VE}{VO_2}$	[]
EQCO ₂	Kilélegzési széndioxid arány	$EQCO_2 = \frac{VE}{VCO_2}$	[]
LOAD/m	Testtömeggel normált névleges teljesítmény	$LOAD/m = \frac{LOAD}{m}$	$\frac{ml}{kg \times min}$
VE/m	Testtömeggel normált légzési perctérfogat	$VE/m = \frac{VE}{m}$	$\frac{ml}{kg \times min}$
VO ₂ /m	Testtömeggel normált percenként elfogyasztott oxigén mennyisége	$VO_2/m = \frac{VO_2}{m}$	$\frac{ml}{kg \times min}$
VCO ₂ /m	Testtömeggel normált percenként kilélegzett szén-dioxid mennyisége	$VCO_2/m = \frac{VCO_2}{m}$	$\frac{ml}{kg \times min}$
O ₂ pulse	Egy lökettel szállított, felhasznált oxigén mennyisége	$O_2\ pulse = \frac{VO_2}{HR}$	$\frac{ml}{beat}$
VT	Kilélegzési térfogat	$VT = \frac{VE}{BF}$	$\frac{l}{kilégzés}$

3.5.1 ábra: alap- és származtatott mennyiségek táblázata

3.6 Alap- és képzett változók közti kapcsolat bemutatása

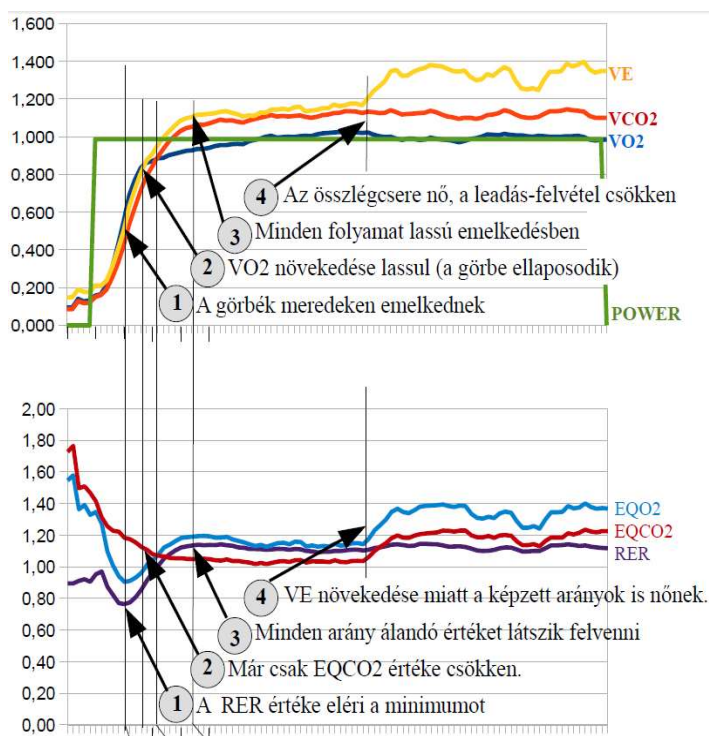


3.6.1 ábra: A vizsgálat során mért alap (sárga mező) és számított (kék mező) paraméterek

A kék mezős paraméterek számítási szabálya: azon sárga mezős mért- vagy alapváltozók hányadosa, melyek felől nyíl mutat a változó irányába. A sorokat fentről lefelé haladva, növekvően indexelve az alacsonyabb indexű sorban álló változó a számláló, a magasabb indexű sorban álló változó pedig a nevező. Például: az EQO_2 mezőre a VE és a VO_2 sárga mezők felől mutat nyíl. A VE áll egy feljebbi sorban, így ez a számláló, és a VO_2 a nevező.

3.7 Az alap- és származtatott változók idősorainak futási görbéje

Az idősorokra itt már alkalmaztuk a később bemutatásra kerülő standardizálást (gyengén normálást). Az ábrán egy személy méréséhez tartozó görbék találhatók. A tendenciák és töréspontok a többi vizsgált személynél is általában hasonlóak.



3.7.1. ábra: légzési változók jellegzetes futása szubmaximális terhelésnél

A felső diagramon az alapváltozók, a légzési perctérfogat (VE), az oxigénfelvétel (VO₂) és szén-dioxid leadás (VCO₂) változásai láthatóak szubmaximális terhelés során egy vizsgálati személynél (jellegzetes görbesor, személyspecifikus). Az alsó diagramon ugyanazon mérés képzett változóinak, vagyis az EQO₂, EQCO₂ és a RER idősorait láthatjuk. A két diagramon át húzódó egyenesek mindig valamelyik változó jellemző pontját mutatják. 1: RER minimuma; 2: VO₂ növekedésének töréspontja; Számmal nem jelölt: a: VO₂ = VCO₂ metszéspont; b: RER = 1 metszéspont; 3: görbék ellaposodnak; 4: a vizsgálati alany növeli a bevitt összlégtérfogatot (sűrűbben veszi a levegőt, zihál), de ezzel együtt sem a felvett oxigén, sem a leadott széndioxid mennyisége nem növekszik.

4 Adathalmaz ismertetése, statisztikai előmunkálatok bemutatása

4.1 Az adatokat létrehozó vizsgálat gyakorlati menete:

Jelen vizsgálatban Omega-3 zsírsavak hatását néztük a fizikai teljesítőképességre. Összesen 19 fő vett részt (10:9 megoszlásban szedett Omega-3 készítménytípus szerint).

1. A 0. vizsgálati napon anamnéziszfelvétel, egyéb alapadatok valamint laboratóriumi vérvizsgálat után egy vita maxima típusú méréssel meghatározták az egyének aerob kapacitását, majd fél órás pihenőt követően ennek az egyéni maximumnak a 85%-ával futottak, szintén kimerülésig. Ezt nevezzük szubmaximális terhelésnek. Ennek során vizsgáltuk a terheléssel töltött időt, az elvégzett munkát, valamint hogy a terhelés alatt miként változott a RER értékük, amely az izomműködés aktuális energiaforrására utal.
2. Ezt követően mind a 19 vizsgált személy Omega-3 zsírsav pótlásban részesült, 90 napon át. A kiegészítő Omega-3 bevitel módja szerint a részt vevők két csoportba sorolhatók: 10-en kapszulázott formában, 9-en pedig omega-3 dús tej fogyasztásával jutottak többlet Omega-3 zsírsavhoz.
3. A 90. napon megismételték mind a két spiroergometriás mérést. Egyrészt ismét meghatározásra került az aerob kapacitásuk egy vita maxima típusú terheléssel, majd újra 30 perces pihenőt követően a szubmaximális mérést is teljesítették, a 0. napnak megfelelő teljesítményszinten (tehát a 0. napon mért aerob kapacitás 85 %-án)

A vizsgálat menete táblázatos formában:

	<i>0-90. napig Grasstej formájában Omega-3 zsírsavpótlásban részesültek (n = 9)</i>		<i>0-90. napig Teva kapszula formájában Omega-3 zsírsavpótlásban részesültek (n = 10)</i>	
<i>0. nap</i>	<i>Vita max mérés (G1max)</i>	<i>Submax mérés (G1Submax)</i>	<i>Vita max mérés (T1max)</i>	<i>Submax mérés (T1Submax)</i>
<i>90. nap</i>	<i>Vita max mérés (G2max)</i>	<i>Submax mérés (G2Submax)</i>	<i>Vita max mérés (T2max)</i>	<i>Submax mérés (T2Submax)</i>

4.1.1 ábra: vizsgálat gyakorlati menete táblázatos formában

4.2 Adathalmaz tartalma

Az adatok fizikai reprezentációja: 76 excel formátumú adatfájl, mely 19 vizsgálati személy (19x4) spiroergometrai vita maxima típusú és szubmaximális mérési-, alap- és laborvizsgálati adatait tartalmazza.

Egy személy egy mérésének excel-fájlja az alábbi ábrán látható (név és születési idő nélkül):

4.2.1 ábra: egy személy egy mérési adatfájlja anonimizálva: név, és születési idő nélkül

IDNO	Last name	First name	Date of birth	Gender	age[year]	Height [cm]	Weight [kg]	Fat part [%]	ExamInTempererel, ambierRel, hum
gras1									
090664276				female	23	174	77	0	426 26,5 978,1 28
038502523				male	29	179	88	0	435 26,6 979,1 33
043367373				male	21	178	81	0	428 26,8 978,1 28
043070534				male	22	169	61	0	446 25,6 981,2 35
340956781093				female	21	176	72	0	439 26,8 979,1 33
041265895				male	25	183	91	0	456 22,5 971 39
34736527348				male	20	176	70	0	437 26,8 978,1 33
092020658				female	21	170	55	0	432 25 979,1 33
089614109				female	25	173	58	0	447 26 981,2 35
teva1									
080448851				female	38	179	79	0	659 26,6 1017 50
033736691				male	35	177	71	0	676 25,7 1018 41
031530273				male	38	178	84	0	656 30,3 1009,6 55
089230824				female	26	162	51	0	624 26,1 1018 55
201108091				female	49	157	50	0	660 27 1015,9 50
201108096				male	38	181	78	0	675 29,8 1015,9 40
021976481				male	53	189	72	0	653 29,8 1009,6 52
033346627				male	36	185	87	0	674 29,5 1015,9 40
039932925				male	27	181	71	0	604 31,3 1012,7 48
089435971				female	25	178	57	0	607 32,5 1012,7 42

4.2.2 ábra: résztvevők alapadatai anonimizálva: név, és születési idő nélkül

Összesen 19 személy vett részt a vizsgálatban. Ezek közül 9 Grassej formájában, 10 pedig Teva kapszulában fogyasztott Omega-3 zsírsavat, de ez az adat mérete, és a fájlszám szempontjából nem releváns.

A rendelkezésre álló adatok, és a fájlnevezéktan ismertetése:

Grasstej mérésor adatai:

Gxxm1.ods: az xx-dik ember max. mérése az első alkalommal.

Gxxs1.ods: az xx-dik ember submax. mérése az első alkalommal

Gxxm2.ods: az xx-dik ember max. mérése a második alkalommal (három hónap múlva)

Gxxs2.ods: az xx-dik ember submax. mérése a második alkalommal (három hónap múlva)

Ez összesen 9 résztvevőtől 36 adatfájlt takar.

Teva kapszula mérésor adatai:

Txxm1.ods: az xx-dik ember max. mérése az első alkalommal

Txxs1.ods: az xx-dik ember submax. mérése az első alkalommal

Txxm2.ods: az xx-dik ember max. mérése a második alkalommal (három hónap múlva)

Txxs2.ods: az xx-dik ember submax. mérése a második alkalommal (három hónap múlva)

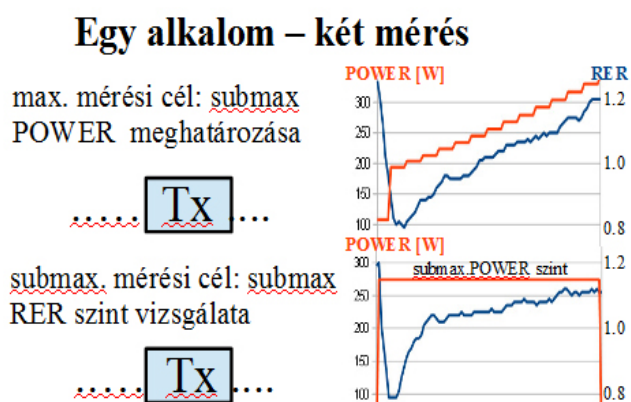
Ez összesen 10 résztvevőtől 40 adatfájlt takar.

További adatok: résztvevők alapadatai (név, születési idő, testtömeg, testmagasság), mérések alapadatai (dátum, hőmérséklet, páratartalom, légnyomás).

Megjegyzés: A nevet a mérési számmal (pl. G09: 9. vizsgált, Grasstejes csoportba tartozó személy, T01: 1. Vizsgált Teva kapszulás csoportba tartozó személy), a születési időt pedig az akkori korról helyettesítettük az anonimizálás során. Ezen anonimizált adatokat használtuk az elemzéskor, így az elemzéshez lényeges adat nem veszett el, de a vizsgálatban résztvevők személye nem kikövetkeztethető.

4.3 Új struktúra készítése, a kapott 76 fájlból 1 képzésének elve

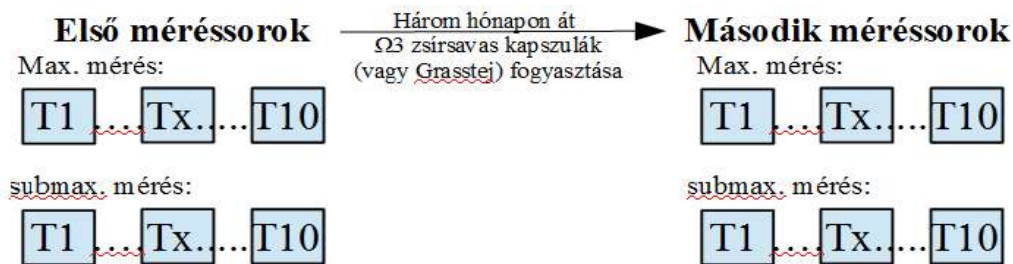
Minden alanyhoz 4 adatsor tartozik: max1, sub1, majd a 3 hónap Omega-3 készítmény szedés után mért max2, sub2. Minden adatsor egy fájl, így összesen 76 Excel fájlból kellett az adatokat egy jól használható struktúrára hozni, 1 fájlba írni a kezelhetőség érdekében. Egy csoport (9 vagy 10) emberének adatsorai egymás után lettek fűzve. Pointer mutatja egy adatsor elejét és végét. Így összesen 8 összevont idősor maradt egy Excel-tábla 8 lapján. Ez a módszer segített az adatsorok gyors áttekintésében, a kiugró értékek detektálásában, és a hibák különböző kiküszöbölési módozatainak kifejlesztésében. Az új struktúra logikájának megértéséhez segítséget nyújt a vita maxima típusú és szubmaximális mérések kapcsolatának bemutatása, melyet az alábbi ábra mutat:



4.3.1 ábra: a vita maxima típusú (max) és szubmaximális (submax) mérés kapcsolata

Egy vizsgálati alany spiroergometriai terheléses mérése két részből áll: egy fokozatosan növekvő teljesítményű (power) terhelésből (vita maximális mérés), és később egy kb. 85%-os állandó terhelésű részből (szubmaximális mérés), melyet az előbbiből számítunk. Vagyis az első részre a submax szint (szubmaximális mérési szint) megállapítása miatt van szükség, mely az első mérés maximumát tekinti 100%-nak. Az Omega-3 zsírsavak élettani hatásának kimutatására a submax vizsgálat RER értékei jelenthetik az alapot (egészségügyi, élettani okok összefüggések állnak ennek a háttérben).

A méréssorok előállításának módját a 4.3.2. ábra mutatja:



4.3.2. ábra: azonos mérések összefűzése egy hosszú idősorba

A mérésenkénti külön-külön adatfájlok közül nem a vizsgált személyek 4 adatsorát fűzzük össze (ebből 19 darab lenne), hanem az azonos fajtájú méréseket. Így max1, max2, sub1, sub2 idősorok jönnek létre Omega-3 zsírsav szedési módonként ($4 \times 2 = 8$ darab). T: Teva kapszula, G: Grassej.

A hosszú egyesített idősorok egy Excel fájl külön-külön lapjaira kerültek. Ezen lapokon kívül újabb 8 lap tartalmazza az adatok standardizált (gyengén normált) értékeit, melynek elméleti hátterét a 4.4 fejezetben ismertetjük. További összesítő lapok tartalmazzák a résztvevők adatait: magasság, súly, nem, kor, az egyes mérések alapstatisztikáit, összesítő diagramjaikat.

4.4 További adatfeldolgozás: tartalmi korrekció

Az idősorok összhossza 5253 időegység. Egy-egy időpontban – 10 másodpercenként – 28 jellemzőt rögzített a műszer, aminek több mint kétharmada az alapadatokból számolható. Mindez összesen $28 \times 5253 = 147\,084$ bejegyzett adatot jelent.

Standardizálás, gyengén normálás elve; szorzótagok bemutatása

A közös diagramon való megjelenítés és kezelhetőség érdekében a változókat „gyengén” normáltuk. A statisztikában szokásos $\frac{x-\mu}{\sigma}$ normalizáló képlet helyett a $\frac{x}{\sigma_0}$ gyengén normalizáló (egyszerűsített) képletet alkalmaztuk. Az alkalmazott σ_0 osztókat az alábbi táblázat tartalmazza:

mennyiség	VO ₂	VCO ₂	VE	LOAD	HR	BF
osztó (σ_0)	2	2	60	140	140	32

4.4.1. ábra: a σ_0 standardizáló (gyengén normáló) osztók táblázata

Az egyszerűsített képlet alkalmazásának jelen esetben orvosi oka van. Ugyanis csak pozitív mennyiségek értelmezhetők a változók nagy részénél (pl. negatív oxigénfelvétel nem létezik). Amennyiben a gép negatív értéket mér, egyértelműen hibával állunk szemben, melyet az

előmunkát során ki kellett küszöbölnünk az erre elterjedt statisztikai módszerek egyikével: törlés, mintaátlag, medián, egyéb algoritmikus számítási mód. Az említett korrekciós módszerek közül az optimális mindig feladat- és környezetfüggő.

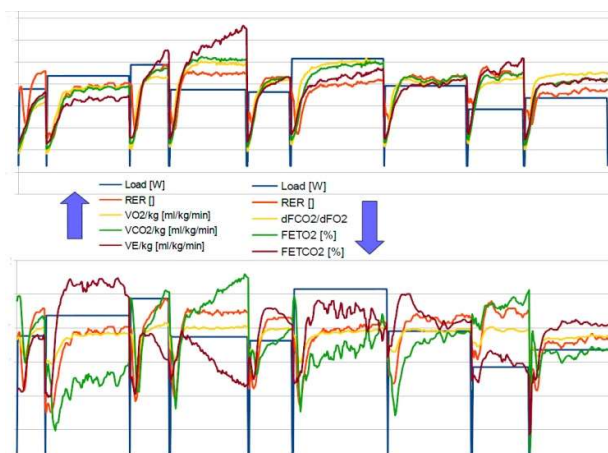
4.5 Alapstatisztikák

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
19	sub2-átlag	0,70	0,70	0,70	1,19	1,07	1,60	0,70	0,88	0,68	0,63	0,63	0,55	0,86	1,02
20	sub2-szórás	0,39	0,44	0,43	0,18	0,27	0,37	0,15	0,21	0,35	0,41	0,40	0,27	0,22	0,06
21	G02	V02 [l/min]	VCO2 [ml/min]	VE [l/min]	HR [l/min]	Ferge [l/min]	Load [W]	dFCO2/dFO2	RER []	V02kg [ml/kg/min]	VCO2kg [ml/kg/min]	VEkg [ml/kg/min]	FETO2 [%]	FETCO2 [%]	EQCO2 []
22	max1-min	0,81	0,81	0,14	0,57	0,40	0,00	0,49	0,65	0,00	0,11	0,11	0,01	0,00	0,00
23	max1-max	1,84	2,48	2,40	1,31	1,52	2,68	1,10	2,00	1,45	1,96	1,89	1,28	1,98	3,22
24	max1-átlag	1,25	1,37	1,13	1,12	0,92	1,97	0,80	1,04	0,98	1,08	0,89	0,93	1,05	1,02
25	max1-szórás	0,61	0,82	0,67	0,20	0,26	0,67	0,20	0,28	0,48	0,64	0,53	0,41	0,88	0,57
26															
27	max2-min	0,19	0,18	0,19	0,54	0,68	0,00	0,58	0,69	0,15	0,14	0,15	0,25	0,56	0,71
28	max2-max	2,10	2,69	2,28	1,32	1,37	2,72	1,03	1,30	1,66	2,12	1,79	1,44	1,10	1,10
29	max2-átlag	1,49	1,59	1,18	1,15	0,91	1,93	0,82	1,01	1,17	1,26	0,93	1,10	0,77	0,81
30	max2-szórás	0,61	0,81	0,60	0,17	0,18	0,56	0,13	0,18	0,48	0,64	0,47	0,38	0,14	0,11
31															
32	sub1-min	0,06	0,52	0,52	0,85	0,66	0,00	1,18	0,89	0,05	0,41	0,41	0,05	0,62	0,72
33	sub1-max	2,00	2,94	1,76	1,28	1,26	1,86	0,89	0,88	1,57	1,61	1,29	1,54	1,04	1,04
34	sub1-átlag	1,59	1,76	1,40	1,22	1,02	1,84	1,25	1,28	1,26	1,39	1,10	1,15	1,05	0,83
35	sub1-szórás	0,45	0,38	0,31	0,06	0,16	0,20	3,48	1,00	0,35	0,30	0,24	0,32	0,99	0,07
36															
37	sub2-min	0,07	0,84	0,98	0,78	0,60	0,00	0,48	0,57	0,05	0,03	0,05	0,08	0,51	0,77
38	sub2-max	1,78	1,84	1,48	1,28	1,62	1,86	0,84	1,04	1,45	1,15	1,31	0,83	1,18	1,18
39	sub2-átlag	1,53	1,49	1,17	1,19	0,94	1,84	0,76	0,94	1,21	1,18	0,92	1,13	0,74	0,84
40	sub2-szórás	0,43	0,51	0,37	0,09	0,15	0,19	0,11	0,14	0,34	0,40	0,29	0,30	0,68	0,07
41	G03	V02 [l/min]	VCO2 [ml/min]	VE [l/min]	HR [l/min]	Ferge [l/min]	Load [W]	dFCO2/dFO2	RER []	V02kg [ml/kg/min]	VCO2kg [ml/kg/min]	VEkg [ml/kg/min]	FETO2 [%]	FETCO2 [%]	EQCO2 []
42	max1-min	0,22	0,26	0,30	0,87	0,67	0,00	0,58	0,70	0,18	0,21	0,25	0,22	0,74	0,82
43	max1-max	1,86	2,36	2,86	1,51	1,74	2,62	1,03	1,29	1,56	1,97	2,23	1,27	1,45	1,19
44	max1-átlag	1,33	1,43	1,40	1,20	1,17	1,86	0,83	1,04	1,11	1,20	1,17	0,95	1,03	1,03
45	max1-szórás	0,57	0,73	0,74	0,16	0,28	0,61	0,13	0,16	0,47	0,61	0,62	0,35	0,21	0,09
46															
47	max2-min	0,21	0,20	0,19	0,81	0,66	0,00	0,71	0,87	0,16	0,17	0,16	0,22	0,71	0,83
48	max2-max	1,93	2,53	2,75	1,36	1,65	2,53	1,06	1,32	1,61	2,11	2,30	1,31	1,44	1,14
49	max2-átlag	1,35	1,57	1,45	1,16	1,13	1,84	0,89	1,10	1,13	1,31	1,21	0,98	1,00	0,93
50	max2-szórás	0,60	0,81	0,83	0,16	0,37	0,63	0,10	0,14	0,51	0,68	0,70	0,38	0,22	0,10
51															
52	sub1-min	0,15	0,12	0,21	0,89	0,70	0,00	0,54	0,68	0,10	0,10	0,18	0,15	0,70	0,88
53	sub1-max	1,76	1,96	2,36	1,42	1,76	2,04	0,92	1,17	1,47	1,64	1,97	1,72	1,42	1,73
54	sub1-átlag	1,54	1,64	1,76	1,28	1,36	1,97	0,82	1,04	1,29	1,37	1,47	1,05	1,13	1,13
55	sub1-szórás	0,41	0,53	0,60	0,11	0,28	0,36	0,11	0,15	0,35	0,44	0,50	0,28	0,21	0,14
56															
57	sub2-min	0,18	0,19	0,21	1,00	0,72	0,00	0,52	0,63	0,15	0,16	0,18	0,15	0,60	0,80
58	sub2-max	1,89	2,22	2,62	1,41	1,76	2,09	0,95	1,19	1,58	1,86	2,19	1,29	1,41	1,24
59	sub2-átlag	1,54	1,64	1,73	1,27	1,38	1,99	0,82	1,03	1,29	1,38	1,45	1,05	1,07	1,08
60	sub2-szórás	0,56	0,71	0,79	0,19	0,28	0,44	0,12	0,17	0,47	0,60	0,68	0,36	0,24	0,08
61	G03	V02 [l/min]	VCO2 [ml/min]	VE [l/min]	HR [l/min]	Ferge [l/min]	Load [W]	dFCO2/dFO2	RER []	V02kg [ml/kg/min]	VCO2kg [ml/kg/min]	VEkg [ml/kg/min]	FETO2 [%]	FETCO2 [%]	EQCO2 []
62	max1-min	0,10	0,10	0,09	0,64	0,31	0,00	0,75	0,86	0,11	0,11	0,11	0,14	0,70	0,80

4.5.1. ábra: a Gtxxn összesítő lap egy részlete

A mérések gyengén normált idősorairól alapstatisztikák készültek. Ezeket egy külön lapon (gtxxn) összesítettük. A képen a G02-es és G03-as kódú személy max1, max2, sub1 és sub2 méréseinek minimum, maximum, átlag és szórás értékei láthatóak. A beállított szűrő a kiugró értékeket ($x < 0$ vagy $x > 5$) a táblázatban kékkel jelzi. A képen látható, hogy G02 személynél az első mérési alkalommal mindkét mérés – max1, sub1 – problémák voltak.

4.6 Grafikus anomáliadetektálás

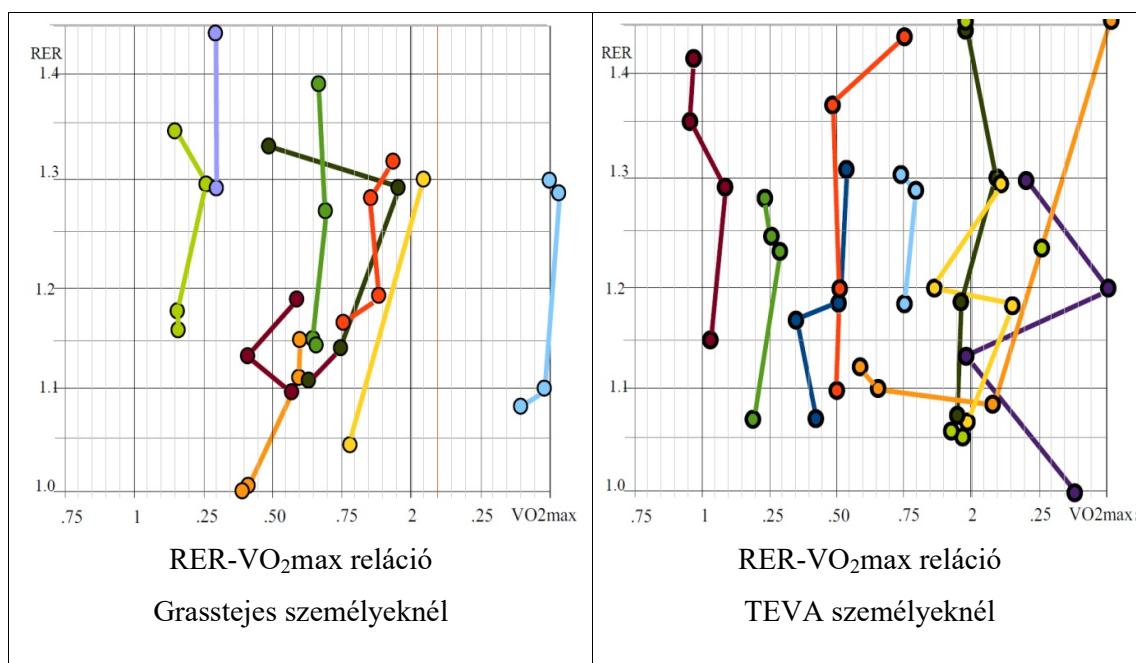


4.6.1. ábra: diagramok a gyors áttekintéshez

A standardizálás (gyengén normálás) után az egyes változók jól ábrázolhatóak együtt is, megfigyelhetők a tendenciák, érdekes pontok. A fenti két diagramon összesen 8 változó látható az egybefűzött 9 (G01-G09) idősoron. Az egyesített idősort a futószalag LOAD[W] be- és kikapcsolása jól láthatóan szegmentálja. Ez a technika a tűréshatárokon belül lévő kiugró értékeket, anomáliákat szűrheti ki gyors áttekintéssel.

5 Összefüggések keresése, statisztikai vizsgálatok

5.1 VO₂max-RERmax összefüggés vizsgálata



5.1.1. ábra: RER-VO₂max diagramok

A VO₂max érték (aerob kapacitás) vagy ennek valamilyen módosított változata (relatív aerob kapacitás) az egyik legfontosabb fitességi mutatónak számít a terhelésélettani szakirodalomban. Ezért lényeges ennek a mutatószámnak a RER-hez való kapcsolatát vizsgálni a szubmaximális méréseknél is. Minden kis kör egy személy egy vizsgálatának RER_{max} és VO₂max összetartozó értékeit ábrázolja. Egy személy négy vizsgálatának pontjait egy egyenes köti össze. Minden szín egy-egy vizsgálati személyt jelöl, az egyes körök a megfelelő személy különböző vizsgálatokon elért értékeit mutatják.

A terhelés közben folyamatosan detektálható RER érték azért is lényeges változó, mivel mérési lépésenként – esetünkben 10 másodpercenként – az izomműködés pillanatnyi energiaforrásáról tájékoztat bennünket. Ha a RER maximális értéke 1 alatt marad, azt jelenti, hogy az energianyerés döntően aerob módon történt. Ha a RER 1 fölé emelkedik, már jelentős az anaerob energianyerés is, azaz az egyén aerob teljesítőképessége elérte maximumát.

A két mérőssor eredményei:

W1-RER1	G01	G02	G03	G04	G05	G06	G07	G08	G09	átlag	szórás
Wn_sub1	0,543	1,209	0,925	0,940	0,691	2,129	1,198	0,856	0,954	1,050	0,457
RER_sub1	1,130	1,110	1,160	1,150	1,110	1,090	1,170	1,130	1,010	1,118	0,048
W2-RER2											
Wn_sub2	0,360	1,280	0,663	1,000	0,530	1,710	1,125	0,541	0,965	0,908	0,430
RER_sub2	1,140	1,040	1,180	1,120	1,090	1,060	1,090	1,130	0,980	1,092	0,060

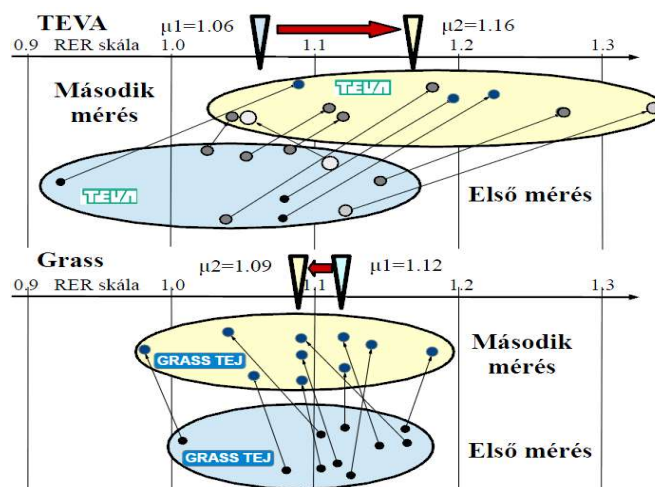
5.1.2. ábra: Grasstejet fogyasztó csoport 1. és 2. szubmaximális mérésének RER-W értékének összehasonlítása

W1-RER1	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	átlag	szórás
Wn_sub1	0,886	0,886	1,398	0,558	0,721	0,561	1,254	1,524	1,587	1,073	1,045	0,383
RER_sub1	1,040	1,070	1,050	1,070	1,120	1,140	1,120	1,030	0,920	1,080	1,064	0,062
W2-RER2												
Wn_sub2	0,772	1,019	1,319	0,517	0,270	0,739	1,125	1,524	1,502	1,147	0,993	0,415
RER_sub2	1,170	1,200	1,110	1,230	1,340	1,270	1,060	1,050	1,090	1,100	1,162	0,097

5.1.3. ábra: Teva kapszulát fogyasztó csoport 1 és 2. szubmaximális mérésének RER-W értékének összehasonlítása

Megfigyelhető a fenti ábrák alapján, hogy a Grasstejet, illetve a Teva kapszulát fogyasztó csoport RER_{max} értékei eltérően alakultak. Bár mindkét csoportnál hatással volt a résztvevők teljesítményére az Omega-3 készítmény szedése, „ellentétes az irány”. Amíg a TEVA kapszulás csoportnál a csoportátlag 0.1-et nöött, a Grasstejes csoportnál ez az érték 0.03-t csökkent.

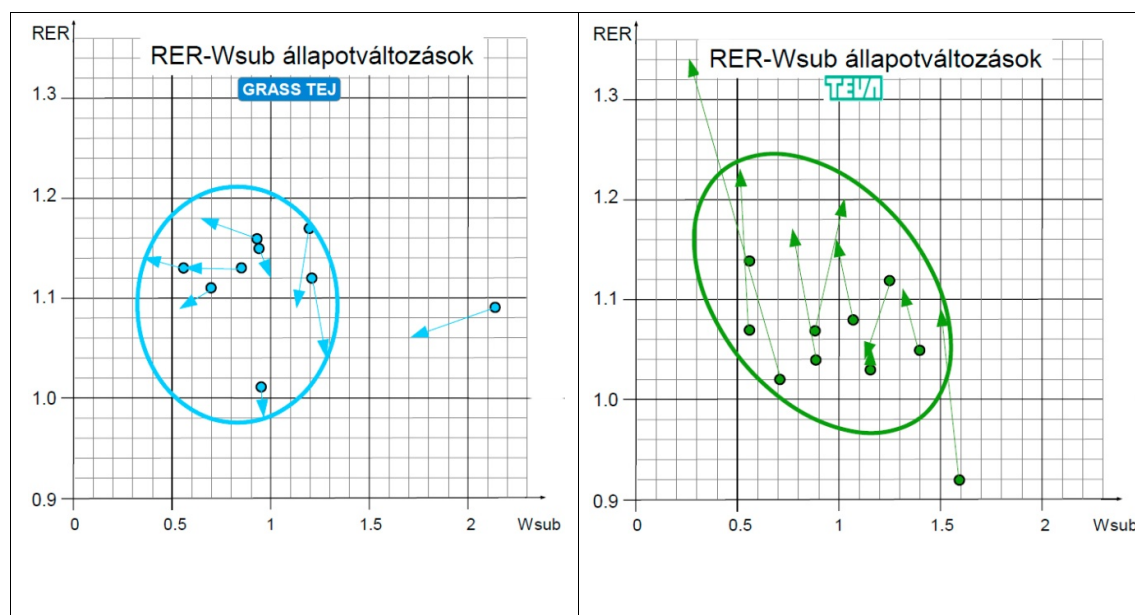
Az alábbi ábrán követhetőek az egyes résztvevők RER értékeinek változásai.



5.1.4. ábra: Grasstejet és TEVA kapszula csoport RER_{max} értékei

Az 5.1.4. ábra 1 dimenziós, vagyis csak x tengelye van, nem létezik rajta y tengely. A függőleges irányú – szokásjog szerint y koordináta szerinti eltérésnek tekinthető – eltérés csak a jobb áttekinthetőséget szolgálja.

Ha a függőleges tengelyen az elvégzett W munkát ábrázoljuk, az alábbi ábrákhoz jutunk:



5.1.5. ábra: RER-W állapotábra

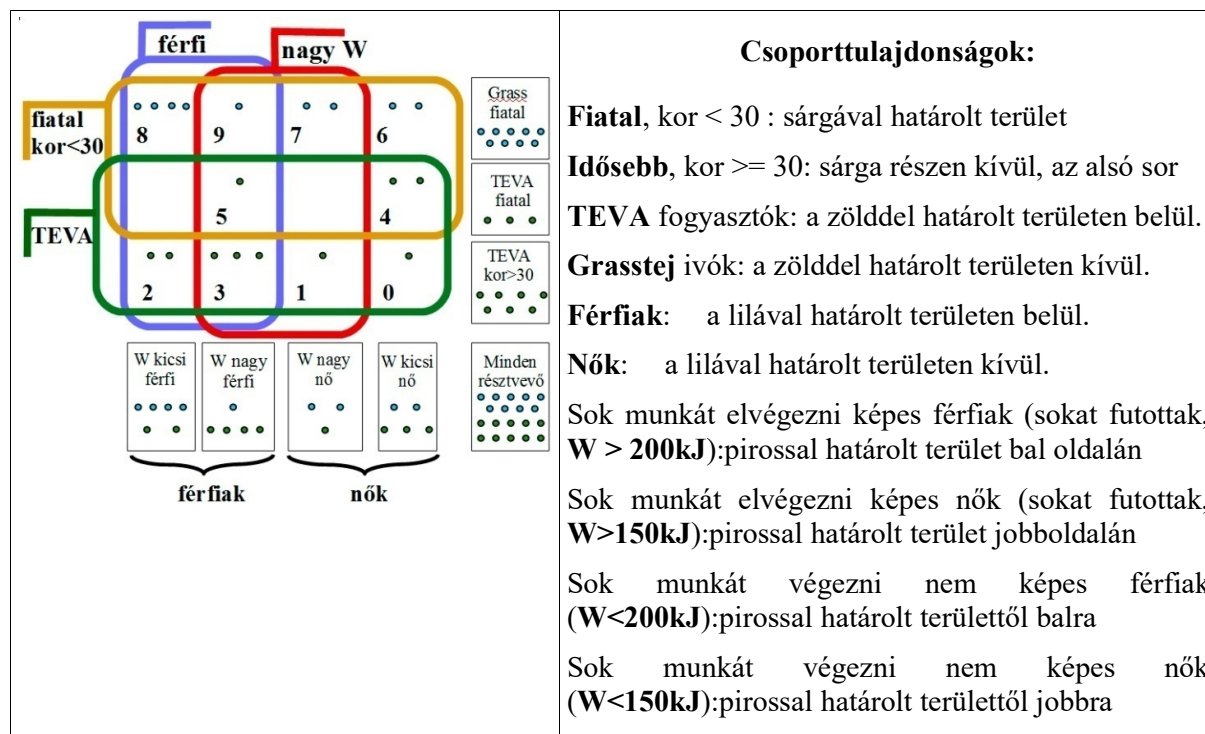
Az 5.1.5 ábra azt mutatja szubmaximális mérés esetén a baloldali – Grasstejet fogyasztó –, illetve a jobb oldali – TEVA kapszulát fogyasztó – csoportnál, hogy a 3 hónapos Omega készítmény szedése milyen irányban módosította a kísérleti alanyok RER értékét a Wsub függvényében. A változás irányát a nyilak mutatják. Látható, hogy míg a Grasstejes csoportban főleg „bal-le” irányba haladnak, a TEVA kapszulás csoport tagjainak többségénél „bal-fel” irányba mutatnak a nyilak. Tehát a két csoport a Grass-Teva vágókritérium alapján jól megkülönböztethető.

5.2 Csoportok képzése kor, nem és Omega-3 zsírsavbeviteli típus alapján

A szemléltetett eredmények elég vegyes képet mutattak ahhoz, hogy másféle csoportfelbontásban is megkíséreljük bemutatni a mért értékeket, megnézve, hogy így az eredmények elrendeződési szempontból markánsabb különbséget mutatnak-e.

Kézenfekvőnek látszott a férfi-nő csoportfelbontás, hiszen lehetnek nemek szerint különböző élettani hatások. Ugyanezen ok miatt az életkor szerinti bontás is indokolt. Jelen esetben a 30 éves kort választottuk küszöbnek, ami alapján az összes Grasstejet ivók nagy része a fiatalabb csoportba került. További felbontásként jött szóba az edzett-edzetlen felbontás, amit az első szubmaximális mérésen elért eredménnyel mértünk. Itt eltérő küszöböt jelöltünk ki a férfiak és nők részére. A csoportok eloszlása minden felbontásban egyenetlen, az elméleti $2^4 = 16$ féle

lehetőségből 6 üres. A létező 10 elemi csoportok 0-tól 9-ig számozott csoportkódot kaptak. Az egyes csoportokat és azok elemeit az alábbi négyes Venn-diagramm ábrázolja:



5.2.1. ábra: csoporttulajdonságok ábrázolása Venn-diagramon

A vizsgált személyek elhelyezkedése egy négyes Venn-diagramon, nem, életkor, szedett Omega-3 készítmény típusa, és a spiroergometriai terheléses mérésen elért teljesítmény alapján. A diagram alsó részén és jobb oldalán hozzáfűzött cellák (téglalapok) vertikális és horizontális összezésre szolgálnak.

A következő táblázat is a csoportosítást szemlélteti:

felbontás	Csoport kritérium	Elemi csoportok	létszám	Csoport kritérium	Elemi csoportok	létszám
omega-3	Grasstej	6,7,8,9	9	TEVA	0,1,2,3,4,5	10
nem	főfi	2,3,5,8,9	11	nő	0,1,4,6,7	8
életkor	életkor < 30	4,5,6,7,8,9	12	életkor \geq 30	0,1,2,3	7
munkabírás	W nagy	1,3,5,7,9	11	W kicsi	0,2,4,6,8	8

5.2.2. ábra: Csoportbontás táblázatos összefoglalása

A következő táblázat az egyes felbontás szerinti csoportátlagokat foglalja össze.

	Gras	Teva	Kor<30	Kor>=30	férfiak	nők	W1 nagy	W1 kicsi	össz.átlag
összmunka									
Vitamax1[kJ]	129,1	138,4	138,7	125,7	155,4	104,5	153,8	119,5	133,9
Vitamax2 [kJ]	124,5	147,9	131,6	145,7	168,4	93,3	163,4	117,5	136,8
submax1 [kJ]	194,0	193,2	195,1	190,9	228,8	145,2	244,7	156,4	193,6
submax2 [kJ]	167,9	183,6	174,7	178,7	218,6	117,9	218,6	145,4	176,2
Δ vitamax [kJ]	-4,5	9,5	-7,1	20,0	13,1	-11,2	9,6	-2,0	3,4
Δ submax [kJ]	-26,1	-9,5	-20,4	-12,2	-10,2	-27,3	-26,1	-11,0	-17,9
Δ összeg [kJ]	-30,7	0,0	-27,5	7,8	2,9	-38,5	-16,6	-13,1	-14,5
RER értékek									
Vitamax1 []	1,312	1,210	1,264	1,249	1,275	1,236	1,199	1,302	1,258
Vitamax2 []	1,274	1,335	1,272	1,366	1,325	1,280	1,293	1,316	1,306
Submax1 []	1,118	1,064	1,094	1,081	1,092	1,086	1,049	1,119	1,089
Submax2 []	1,092	1,162	1,104	1,171	1,115	1,148	1,081	1,164	1,129
Δ vitamax []	-0,038	0,125	0,008	0,117	0,051	0,044	0,094	0,015	0,052
Δ submax []	-0,026	0,098	0,010	0,090	0,024	0,061	0,033	0,045	0,042
Δ összeg []	-0,063	0,223	0,018	0,207	0,075	0,105	0,126	0,059	0,094

5.2.3. ábra: csoportmutatószámok táblázata

A táblázatban szereplő csoportokat részletesebben az 5.2.1 ábrán ismertettük, definiáltuk. Δ -val a különbséget jelöltük (2-1).

A táblázat adataiból érdemes kiemelni a szubmaximális mérésnél munka és RER értékek különbségét (deltával is jelölt), amelyekből az Omega-3 zsírsavak élettani hatására lehet következtetni (orvosi szempontból):

munka[kJ]	Gras	Teva	kor<30	kor>=30	férfiak	nők	Wnagy	kicsi
Wsub(2-1)[kJ]	-26	-10	-20	-12	-10	-27	-26	-11
RERsub(2-1) []	-0,026	0,098	0,010	0,090	0,024	0,061	0,033	0,045

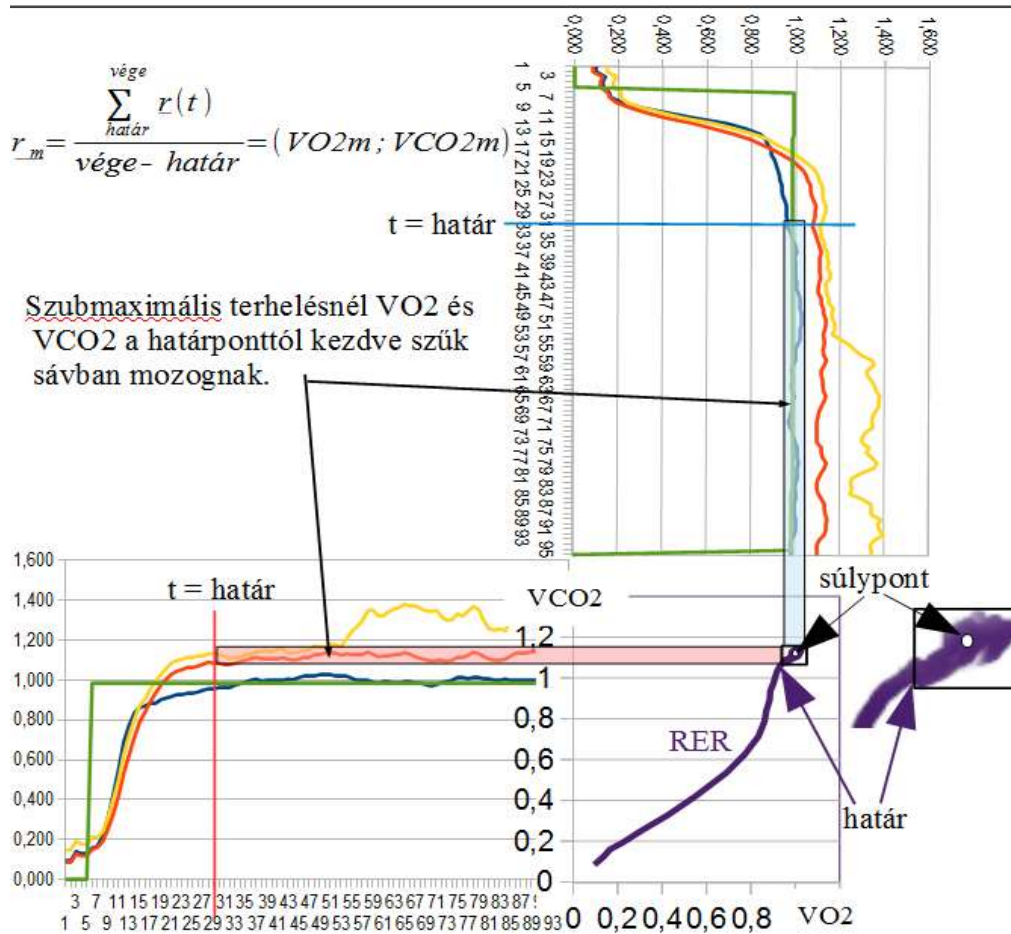
5.2.4. ábra: Δ RERsubmax: RERsub(2-1); Δ Wsubmax: Wsub(2-1)

A várt élettani hatás – „összmunka nő, RER érték csökken” – helyett az összmunka majdnem minden osztályozás szerint csökkent, és ugyanakkor a RER érték nőtt. Az egyetlen kivételt a Grasstejes csoport jelenti, ahol a RER szint csekély értékkel csökkent. Vagyis a Grasstej ilyen szempontból enyhén optimális irányban befolyásolja a fittséget. A munka értéke leginkább a nők csoportjánál csökkent, a RER növekedése pedig a 30 évesnél idősebbek között jelentkezett.

6 Új fittségi mutatók

Bármilyen, a fittséget növelő szer, ételkiegészítő, esetünkben az Omega-3 zsírsavas készítmények, stb. akkor tekinthető hatékonynak, ha ki tudjuk mutatni, hogy annak hatására az alkalmazó teljesítménye, munkabírása nőtt, vagy ugyanolyan teljesítményt, munkát könnyebben végzett el. Ez utóbbi tényező (könnyebben végezte el) mérésére szolgál a RER érték. Az 1 feletti RER értékeknél már anaerob folyamatok játszódnak le, elindul a tejsav képződés, mely később izomlázat is okoz. Az előzetes elvárás az Omega-3 zsírsav pozitív hatására abban jelentkezhethet, hogy a RER értékek csökkennek úgy, hogy a submax állandó terhelésen végzett összmunkára nincs jelentős hatása.

6.1 RER geometriai interpretációján alapuló súlypont módszer: RER súlypont



6.1.1. ábra: a RER „görbevégi” területének súlypontja, RER súlypont geometriája

A 6.1.1. ábrán az $r(t)$ görbe a RER értékeket reprezentálja a VO_2 - VCO_2 állapot térben. A VO_2 és VCO_2 változók idő-diagramja hasonló jellegű. A terhelés kezdetén a két görbe meredeken emelkedik, majd a határidőponttól kezdődően jó közelítéssel vízszintes szakaszba mennek át. Az $r(t)$ görbe az idővel paraméterezve a határ-időponttól kezdve a befejezési, végső (vége) időpontig behatárolható térrészben mozog, mivel mind a VCO_2 , mind a VO_2 egy jól behatárolt sávban haladnak. A gázcsere komponenseinek (VO_2 , VCO_2) időfüggvényeiből a RER görbe megszerkeszthető a VO_2 - VCO_2 állapot térben. A határponttól kezdve VCO_2 és VO_2 időfüggvényei a pirossal és kézzel jelölt sávban mozognak. Ezeket a sávban lévő értékeket kell figyelembe venni a súlypont meghatározásánál.

A RER súlypont (RER_m érték) számítása képlettel, MATLAB eredmények táblázatban:

RER_m : RER súlypont (m a súlypont várható értékkel való kapcsolatának jelzésére szolgál)

Legyen $r(t)$ vektor az alábbi módon definiálva:

$$r(t) = (VO_2(t); VCO_2(t))$$

Az $r(t)$ alapján az aktuális $RER(t)$ érték számítása:

$$RER(t) = \frac{VCO_2(t)}{VO_2(t)}$$

A görbe határponton túli térrészre eső súlypontjának kiszámítása az alábbi képlettel történik (várható értékkel számol, mivel statisztikailag a geometriai súlypont ezen alfajának az felel meg):

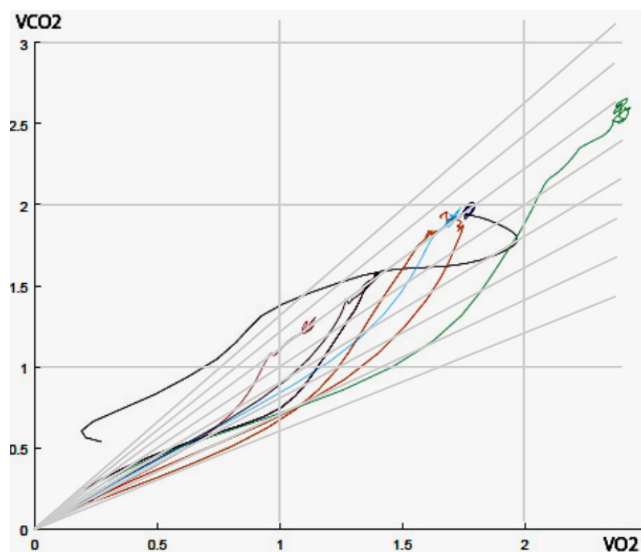
$$r_m = \sum_{n=ha}^{vége} r(t) = (VO_{2m}; VCO_{2m}) \text{ és } RER_m = \frac{VCO_{2m}}{VO_{2m}}$$

A megoldást MATLAB segítségével számoltuk ki. Az eredményeket az alábbi táblázatban olvashatók.

	első submax mérés					második submax mérés				
Gs1:	határ	vege	VO2m	VCO2m	RERm	határ	vege	VO2m	VCO2m	RERm
G01	20	35	1,29	1,44	1,12	17	23	1,27	1,43	1,13
G02	21	62	2	2,22	1,11	38	85	1,75	1,76	1,01
G03	22	54	1,76	1,96	1,11	22	36	1,86	2,11	1,13
G04	28	73	1,63	1,83	1,13	34	79	1,63	1,83	1,12
G05	17	54	1,4	1,54	1,10	28	40	1,52	1,65	1,09
G06	28	113	2,45	2,62	1,07	39	95	2,38	2,45	1,03
G07	20	83	1,71	1,92	1,12	36	83	1,59	1,72	1,08
G08	30	86	1,14	1,27	1,11	28	56	1,15	1,30	1,13
G09	25	84	1,4	1,34	0,96	29	84	1,37	1,32	0,96
átlag	23,5	71,6	1,64	1,80	1,093	31	64,6	1,61	1,73	1,07
T01	19	63	1,39	1,44	1,04	16	54	1,48	1,70	1,15
T02	15	71	1,47	1,56	1,06	24	84	1,49	1,74	1,17
T03	27	83	1,94	1,98	1,02	38	82	1,84	1,96	1,07
T04	17	53	1,17	1,24	1,06	25	43	4,26	5,07	1,19
T05	22	85	1,01	1,13	1,12	21	29	0,94	1,24	1,32
T06	25	37	1,7	1,95	1,15	28	47	1,73	2,21	1,28
T07	25	78	1,95	2,08	1,07	27	83	1,67	1,73	1,03
T08	26	85	1,93	1,99	1,03	38	84	1,91	1,98	1,04
T09	25	82	2,35	2,17	0,92	35	85	1,95	2,08	1,07
T10	26	73	1,64	1,75	1,06	34	86	1,54	1,66	1,08
átlag	22,7	71,0	1,7	1,7	1,052	28,6	67,7	1,9	2,1	1,14

6.1.2. ábra: RER_m eredmények a MATLAB program alapján

Egy mérésor RER görbéi:



6.1.3. ábra: egy mérésor összes RER görbéje egy ábrán

Az ábrán láthatók az egyes görbék végein azok az irány nélküli mozgások, amelyeket a VO_2 és VCO_2 jellemzők kismértékű változásai okoznak. Az Origóból induló széttartó egyenesek a RER értékeit mutatják $RER=0,6 \dots 1,3$ tartományban, 0,1-es felbontásban.

A következő fejezetben a mozgások irányának meghatározására mutatunk módszert, alkalmazzuk az adathalmaz elemeire.

6.2 Omega-3 fázisszög, avagy a W-RER differenciavektorok és szögek

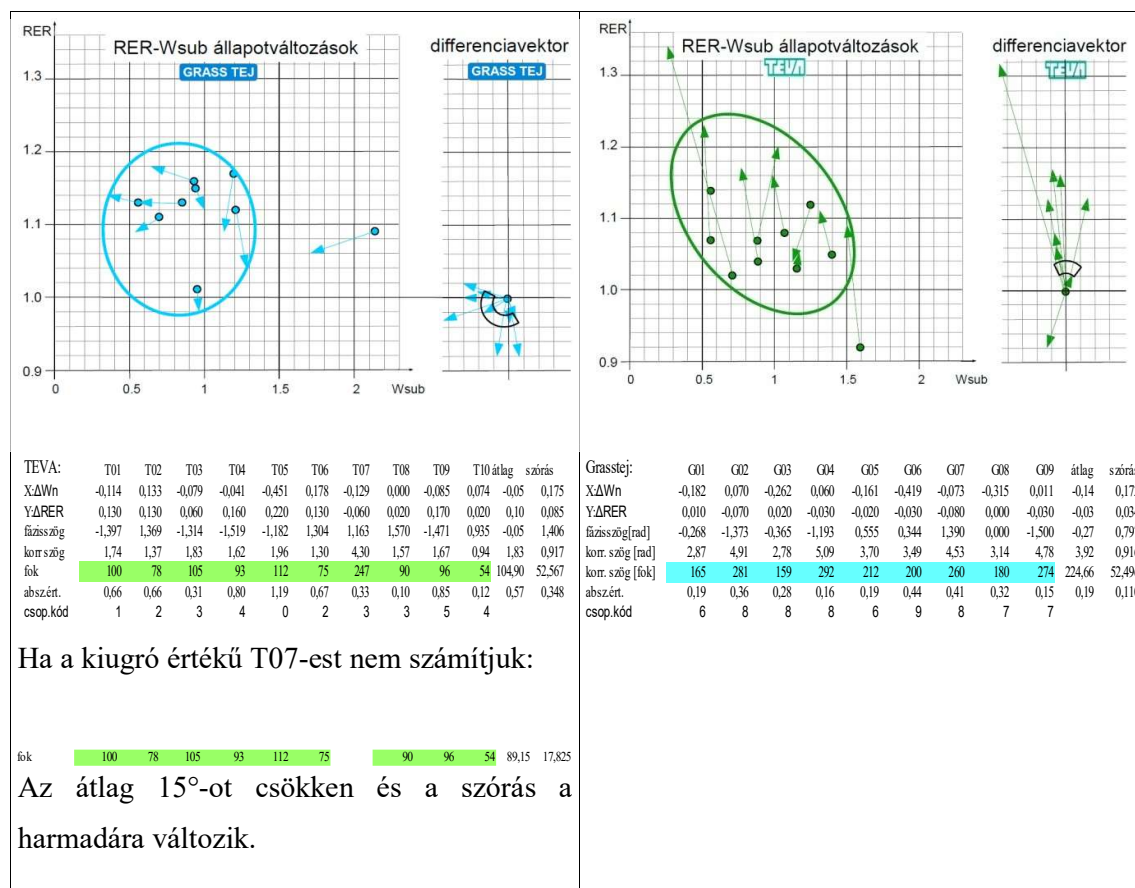
Az előbbieken egy RER- W_{sub} állapot térben egy-egy kis karikával jeleztük a résztvevők első submax mérésének eredményeit. Ezen pontokból egy-egy nyíl mutat a második, 3 hónappal később mért értékek pontjaira. Így ennek a nyílnak az iránya mutatja a változások irányát, és a nyíl hossza mutatja a változások mértékét.

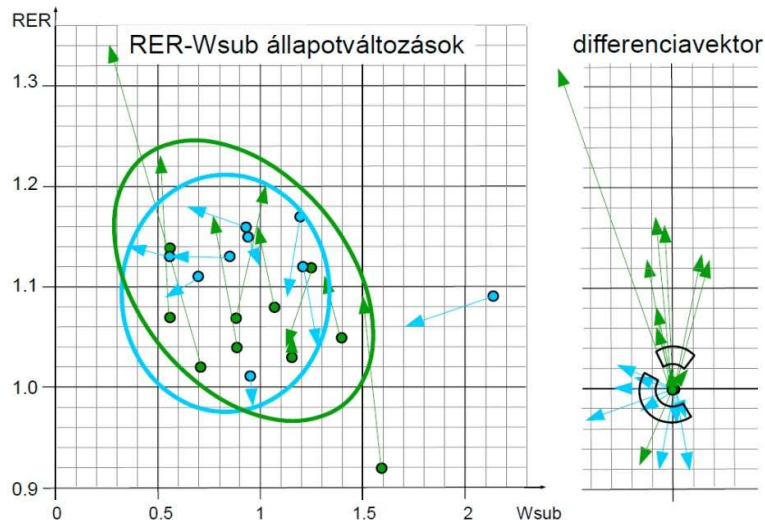
Matematikailag megfogalmazva legyen $\underline{e}_i = (W_{sub_i}; RER_i)$ az i -edik mérés állapotvektora.

Ekkor $\Delta \underline{e}_i = \underline{e}_i - \underline{e}_{i-1}$. Mivel csak két mérés volt, így $\Delta \underline{e} = \Delta \underline{e}_{12} = \underline{e}_2 - \underline{e}_1 = (W_{sub_2} - W_{sub_1}; RER_2 - RER_1)$. Így tekintve a W-RER állapotdiagramon csak az első mérések e pontjait mutatta, valamint a pontokból induló $\Delta \underline{e}$ differencia vektort, mivel $\underline{e}_1 + \Delta \underline{e} = \underline{e}_2$. Ugyanakkor egy kisebb ábrán külön is ábrázolásra kerülnek a differenciavektorok úgy, hogy mindegyik egy közös pontból, az Origóból indul.

A baloldali diagramon az elvégzett összmunka ($W = P \times t$) és a terhelés végén mért RER érték összetartozó értékpárjai láthatók a szubmaximális terhelések során az összes vizsgált személynél. Az első mérések értékeit egy-egy kis karikával jelöltük, és a jobboldali kis diagramon – a résztvevők kezdő értékeit egy pontba összevonva – csak a változások láthatók az első méréshez viszonyítva.

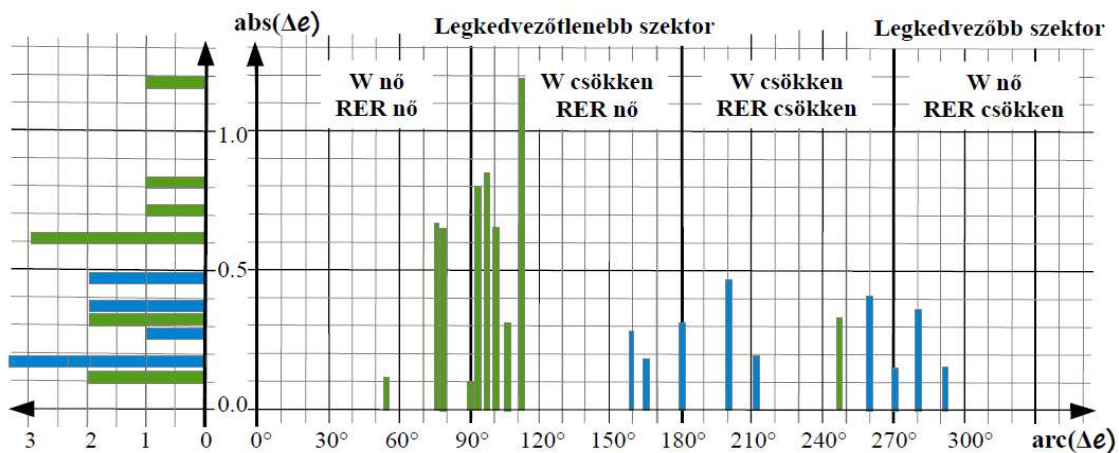
Differenciavektorok, állapotábra, fázisszögek





6.2.1 ábra: RER-Wsub egyesített állapotábra, differenciavektorok és szögek

A differenciavektorok külön ábrázolása meglepő eredményt hoz, az Omega-3 zsírsav készítmény típusától függően a differenciavektorok fáziszögei jellemzően más-más irányba mutatnak. Jól látható az outlier T07 jelzésű résztvevő differenciavektora, ami az egyetlen szabálytalanságot jelenti a nagyon is egyértelműnek látszó fázisképen. A differenciavektor szögének értéke alapján 0,947 valószínűséggel tudunk jól besorolni egy adott vektort, azaz egy a kísérletben résztvevő személyt, aki a két mérésrel ezt az eredményt produkálta.



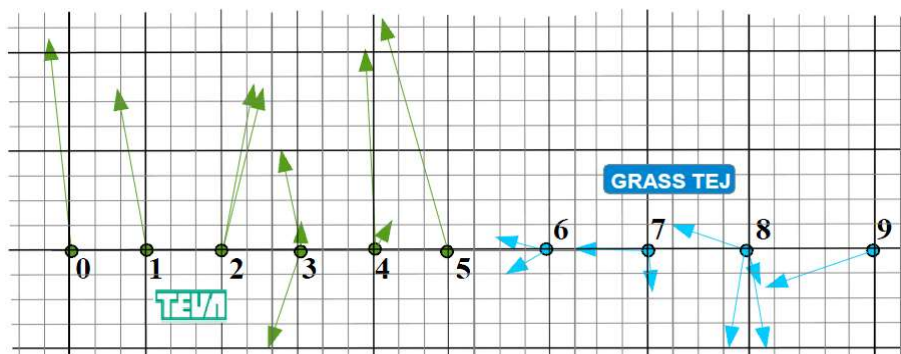
6.2.2. ábra: a differenciavektorok szöge és abszolút értéke

A differenciavektorok szögét az x tengelyen, abszolút értéküket az y tengelyen ábráztuk. A kép jobb oldali hosszabb diagramja a vektorok fázisát és abszolút értékét is mutatja. Zöld színnel a TEVA kapszulát, késsel pedig a Grastejet fogyasztó csoportot jelöltük. A baloldali kis diagram a differenciák abszolút értékének gyakorisági diagramja.

A differenciavektorok csoportbontásban

A differenciavektorok fázisábráinak egyértelműsége miatt vizsgáljuk meg, hogy mutatnak ezek az ábrák a többi csoportbontásban is. Először a már ismertetett 10 elemi csoportot ábrázoljuk, majd ezek összeszerkesztésével lehet a más felbontást ábrázolni.

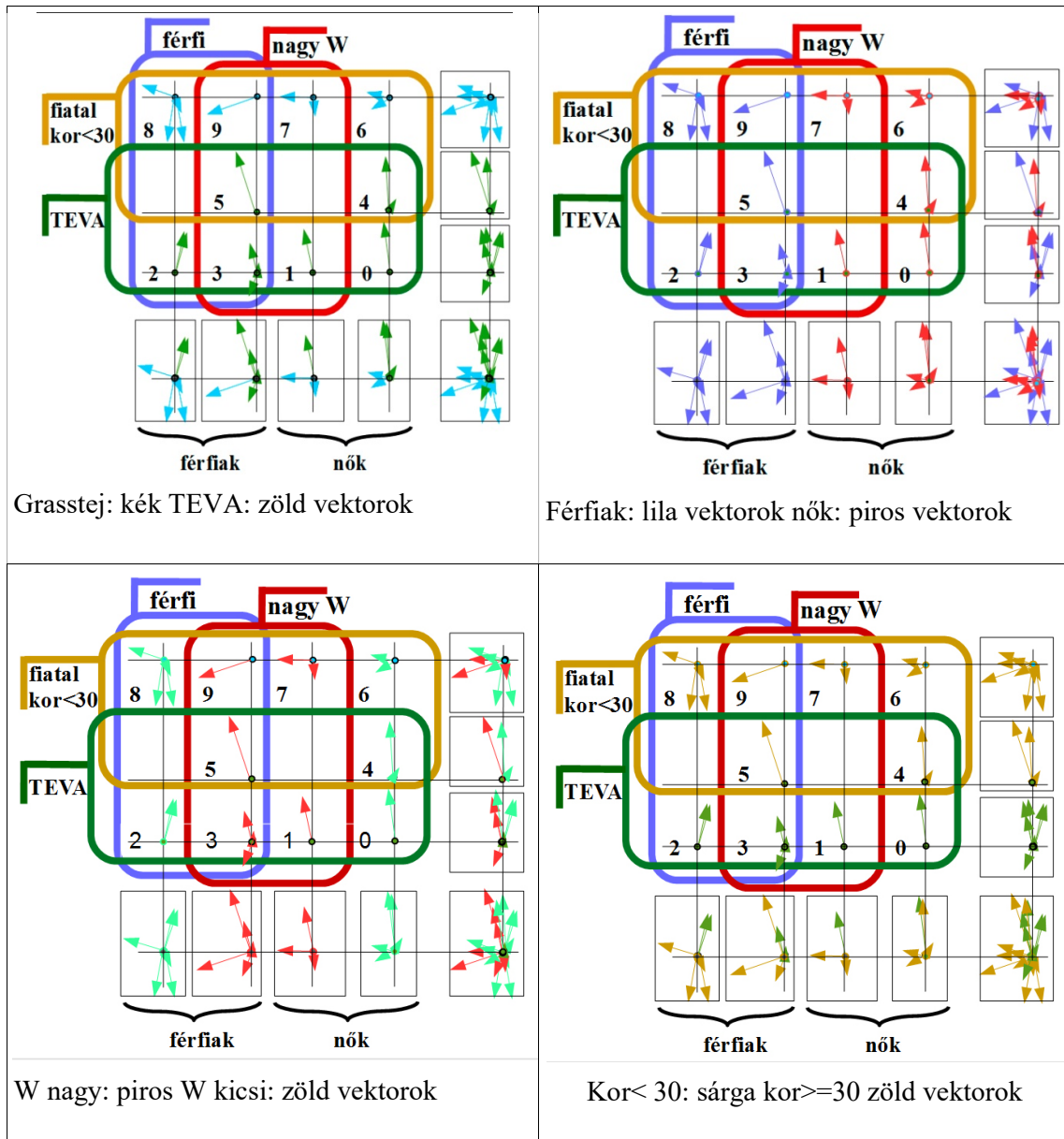
Csoportkód:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gras=1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Fiatal=1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Férfi=1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1
Wnagy=1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1



6.2.3. ábra: differenciavektorok csoportbontásban

Már az elemi csoportok bemutatásánál is látható, hogy a Grass-TEVA vágófeltételnél kedvezőbbet ezen jellemzők között sem lehet találni. A kiugró értéknek számító T07 személy a 3. elemi csoportban együtt van még két résztvevővel, vagyis ez a csoport maga egy nagy sávban szóródik, hasonlóan a 8. csoporthoz. A csoportkódok (vágófeltételek) az előző fejezetek alapján kerültek megállapításra.

A csoportbontásos fázisábrát érdemes Venn diagramon is ábrázolni:



6.2.4 ábra: differenciavektorok fázisábrája Venn-diagramon

A digram belső cellái egy-egy elemi csoport tagjait jelölik, ezen résztvevők fázisvektorai láthatók. A diagram alsó részén és jobb oldalán hozzáfűzött téglalapokban vertikális és horizontális összegzést végzünk. A teljes fázisdiagramot a jobb alsó sarokban mind az alsó sor, mind a jobboldali oszlop összegzésével állítjuk elő. A bal felső ábrán az látható, hogy a „kedvező fázisszögtartományok” a Grass-TEVA felbontásban milyen részekből álltak össze. Mellette a jobb oldalon a színezés a férfi-nő felbontást szemlélteti. Itt láthatóan nagyobb szórással, rendezetlenül jelennek meg a vektorok. Hasonló a helyzet a végzett munka szerinti csoportosításnál (bal alsó ábra) és a kor szerinti csoportosításnál (jobb alsó ábra) is.

7 Következtetések levonása, további kutatási és fejlesztési irányok felvázolása

A vizsgálat alapján megállapíthatjuk, hogy bár nagyon vegyes, és egyben érdekes eredményeket adott, melyeket a kezdeti leíró statisztikák is előre jeleztek, a legnagyobb hatást a fittségre – melyet élettani összefüggések miatt a RER értéken keresztül figyeltünk meg – az Omega-3 készítmények tettek; igaz, ellentétes irányban. Az összehasonlítás többek közt alapstatisztikákkal, gyengén normált idősoros ábrázolás töréspontjainak vizsgálatával, RER súlyponttal, és fázisszöggel történt. Mivel orvosilag bármilyen, a fittséget növelő szer, ételkiegészítő – esetünkben az Omega-3 zsírsavas készítmények –, akkor tekinthető hatékonynak, ha ki tudjuk mutatni, hogy annak hatására az alkalmazó teljesítménye, munkabírása nőtt, vagy ugyanolyan teljesítményt, munkát könnyebben végzett el, ezért ezen definíció, és a RER optimális tartományának definíciója alapján levonhatjuk azt a következtetést, hogy a Grasstej enyhén pozitív hatással van a fittségi állapotra.

A továbbiakban a dolgozatban ismertetett módszerek más ételkiegészítők fittségi hatásának mérésére is alkalmazhatók. Emellett gyakorlati szinten automatizálva mérőműszereken is lehet ábrázolni a későbbiekben többek között a fázisábrát és szöget, RER súlypontot, bejelölni a görbék jellegzetes töréspontjait. A különböző matematikai és mérnöki ágakkal való megközelítés (geometria, statisztika, irányításelmélet) miatt sokkal jobban összeköthető az Omega-3 zsírsavak fogyasztásával, hatásaival kapcsolatos vizsgálat a különböző tudományágak (absztrakt szinten) hasonló kutatásaival, például az irányításelmélet optimális személyre szabott gyógyszerelési feladatával, melyeket sportolók optimális ételkiegészítő és tápanyagbeviteli modelljévé is ki lehetne fejleszteni, illetve terjeszteni a jövőben. Az absztrakt megközelítés a geometriai súlypont és statisztikai várható érték kapcsolatát is megfogja, így a gyors döntésekhez és a mélyebb elemzéshez is támpontot ad az eredményeket értelmező orvosok számára. A szubmaximális (sportorvosok által kifejlesztett) mérési módszer pedig metszéspont a statisztikailag optimális és az orvosilag értelmes, emellett gyakorlati szinten is megvalósítható mérési kritériumok között. Mivel az egészségügyi és élettani mérésadatok költségesek, szimulációs modellezési módszerek kifejlesztése lehet a távolabbi cél. Összehangolható a szívmodellel is. Így összességében levonhatjuk a következtetést a spiroergometriai terheléses mérési adatok, és a vizsgálatban bemutatott elemzési módszerek, definíciók alapján, hogy a Grasstejes Omega-3 zsírsavbevitel enyhe pozitív hatást eredményez a fittségi állapotra, s témakör további kutatási irányokban bővelkedik.

8 Összefoglalás

A dolgozatban az Omega-3 zsírsav fittségre gyakorolt hatását vizsgáltuk. Bemutattuk a spiroergometria terheléses vita maxima típusú és szubmaximális protokollt, elméleti és gyakorlati háttérüket, a nyert adathalmaz paramétereit. Leírtuk a Respirációs hányados, és a Haldan transzformáció elméleti háttérét, fontosságát a témakör kapcsán. Az egészségügyi adatokra különösen jellemző problémákat is kezeltük az adattisztítás során, ismertettük a 3 hónap Omega-3 készítmény indukálta fittségi állapotváltozás mérésére használt módszereket, alkalmaztuk a kísérletben résztvevők adatain, az eredményeket elemeztük élettani és statisztikai aspektusban. Összességében levontuk a következtetést különböző csoportosítások, és a dolgozatban ismertetett mutatók segítségével –, hogy az Omega-3 készítmények szedése befolyásolja legerőteljesebben – ez is csak enyhe eltérést jelent – a fittséget (a fogalmat a dolgozatban részletezett módon értve); a Grasstejes Omega-3 zsírsavbevitel enyhe pozitív hatást eredményez a fittségi állapotra.

9 Irodalomjegyzék

1. Albanese A, Cheng L, Ursino M, Chbat NW. An integrated mathematical model of the human cardiopulmonary system: model development. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2016; 310; doi:10.1152/ajpheart.00230.2014.
2. American Thoracic Society. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166:111-117.
3. Athanasiades A, Ghorbel F, Clark JW, Niranjana SC, Olansen JB, Zwischenberger JB, Bidani A. Energy analysis of a nonlinear model of the normal human lung. *J Biol Syst*, 2000; 8: 115–139.
4. Bouchard C, A P, Rice T, et al. Familial aggregation of VO₂max response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *J Appl Physiol* 1999; 87:1003-1008.
5. Coleman TG. Mathematical analysis of cardiovascular function. *IEEE Trans Biomed Eng*, 1985; 32: 289–294.
6. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, et al. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 2013; 128: 873-934.
7. Grodins FS, Gray JS, Schroeder KR, Norins AL, Jones RW. Respiratory responses to CO₂ inhalation; a theoretical study of nonlinear biological regulator. *J Appl Physiol*, 1954; 7: 283–308.
8. Grodins FS. Integrative cardiovascular physiology: a mathematical synthesis of cardiac and blood vessel hemodynamics. *Q Rev Biol*, 1959; 34: 93–116.
9. Guazzi M, Adams V, Conraads V, et al. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Circulation*, 2012; 126:2261-2274.
10. Gutenkunst RN, Waterfall JJ, Casey FP, Brown KS, Myers CR, Sethna JP. Universally sloppy parameter sensitivities in systems biology models. *PLoS Comput Biol*, 2007; 3: 1871–1878.

11. Guyton AC, Coleman TG, Granger HJ. Circulation: overall regulation. *Annu Rev Physiol*, 1972; 34: 13–46.
12. Hassanain Ali Lafta Mossa. Engineering Modeling of Human Cardiovascular System. ResearchGate, 2008; March. <https://www.researchgate.net/publication/268015735> (utolsó megtekintés: 2019.10.06)
13. Heldt T, Shim EB, Kamm RD, Mark RG. Computational modeling of cardiovascular response to orthostatic stress. *J Appl Physiol*, 2002; 92: 1239– 1254.
14. Hermann Eschenbacher dr. Haldane and Eschenbacher transformation. CareFusion Corporation, 2016. http://www.carefusion.co.uk/Documents/international/white-paper/respiratory-care/cardiopulmonary/RC_Haldane-Eschenbacher-Transformation_WP_EN.pdf (utolsó megtekintés: 2019.10.06)
15. Hester RL, Brown AJ, Husband L, Iliescu R, Pruett D, Summers RL, Coleman TG. Hummod: a modeling environment for the simulation of integrative human physiology. *Front Physiol*, 2011; 2: 12.
16. Kakutani N et al. Impact of High Respiratory Exchange Ratio During Subon maximal Exercise on Adverse Clinical Outcome in Heart Failure. Advance Publication by-J-STAGE, 2018.
17. Kaminsky LA, Arena R, Beckie TM, et al. The importance of cardiorespiratory fitness in the United States: the need for a national registry: a policy statement from the American Heart Association. *Circulation*, 2013; 127:652-662.
18. Kaminsky LA, ed. ACSM’s Health Related Physical Fitness Assessment Manual. Baltimore, MD: Wolters-Kuhler, Lippincott, Williams, Wilkins; 2013.
19. Katzmarzyk PT, Lee IM, Martin CK, Blair SN. Epidemiology of physical activity and exercise training in the United States. *Prog Cardiovasc Dis*, 2017; 60:3-10.
20. Kroidl, Rolf F.; Schwarz, Stefan; Lehnigk, Burghart. *Kursbuch Spiroergometrie*. Georg Thieme Verlag, 2007

21. Ladenvall P, Persson CU, Mandalenakis Z, et al. Low aerobic capacity in middle-aged men associated with increased mortality rates during 45 years of follow-up. *Eur J Prev Cardiol*, 2016; 23:1557-1565.
22. Loprinzi PD. Estimated cardiorespiratory fitness assessment as a patient vital sign. *Mayo Clin Proc*, 2018; 93:821-823.
23. Magosso E, Ursino M. A mathematical model of CO₂ effect on cardiovascular regulation. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2001; 281: H2036–H2052.
24. McLeod J. PHYSBE—A physiological simulation benchmark experiment. *Simulation* , 1966; 7: 324–329.
25. Myers J, Doom R, King R, et al. Association between cardiorespiratory fitness and health care costs: the veterans exercise testing study. *Mayo Clin Proc*, 2018; 93:48-55.
26. Myers J, K A, G S, et al. Fitness versus physical activity patterns in predicting mortality in men. *Am J Med*, 2004; 117:912-918.
27. Olansen JB, Clark JW, Khoury D, Ghorbel F, Bidani A. A closed-loop model of the canine cardiovascular system that includes ventricular interaction. *Comput Biomed Res*, 2000;33: 260–295.
28. Ross R, Blair SN, Arena R, et al. Importance of assessing cardiorespiratory fitness in clinical practice: a case for fitness as a clinical vital sign. *Circulation*, 2016;134: e653-e699.
29. Ross R, de Lannoy L, Stotz PJ. Separate effects of intensity and amount of exercise on interindividual cardiorespiratory fitness response. *Mayo Clin Proc*, 2015; 90:1506-1514.
30. Williams PT. Physical fitness and activity as separate heart disease risk factors: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 2001; 33:754-761.
31. Wisloff U, Lavie CJ. Taking physical activity, exercise, and fitness to a higher level. *Prog Cardiovasc Dis*, 2017; 60:1-2.