



NYÍREGYHÁZI EGYETEM
MŰSZAKI ÉS AGRÁRTUDOMÁNYI INTÉZET
NYÍREGYHÁZA



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

KOFFEINTARTALOM ANALITIKAI MEGHATÁROZÁSA
ANALYTICAL DETERMINATION OF CAFFEINE CONTENT

Készítette: Márton Nóra

Mezőgazdasági mérnöki alapképzési szak

Konzulens: Dr. Vigh Szabolcs főiskolai docens

NYÍREGYHÁZA

2024.11.20.

TARTALOMJEGYZEK

BEVEZETÉS	4
1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	6
1.1. A koffein kémiai tulajdonságai és jellemzői	6
<i>1.1.1. A koffein kémiai összetétele</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2. A koffein fizikai tulajdonságai</i>	<i>7</i>
1.2. A koffein szervezetünkre gyakorolt hatásai	10
<i>1.2.1. Koffein, mint központi idegrendszeri stimuláns.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.2. A koffein hatása a szív- és érrendszere</i>	<i>12</i>
<i>1.2.3. A koffein hatása az anyagcserére</i>	<i>13</i>
<i>1.2.4. A koffein vizelethajtó hatása.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.5. Koffein a kognitív hanyatlás ellen.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.6. A koffein negatív hatásai</i>	<i>16</i>
1.3. A koffein gyógyászati alkalmazása	18
1.4. Különböző élelmiszerek koffein-koncentrációja	19
<i>1.4.1. Teafélék koffeintartalma.....</i>	<i>19</i>
<i>1.4.2. Kólák koffeintartalma</i>	<i>21</i>
<i>1.4.3. Energiaitalok koffeintartalma</i>	<i>22</i>
<i>1.4.4. Kávék koffeintartalma.....</i>	<i>24</i>
2. ANYAG ÉS MÓDSZER	26
2.1. Mintaelőkészítés	26
2.2. A minták extrahálása	29
2.3. UV-VIS spektrofotométer	30
3. EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE	32
3.1. Teaminták koffein koncentrációja	32
3.2. Kóla minták.....	33
3.3. Kávé minták	34
3.4. Energiaital minták.....	35
KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	37
ÖSSZEFOGLALÁS	38
Irodalomjegyzék	39

ÖSSZEFOGLALÓ

A Tudományos Diákköri Dolgozatom átfogó elemzést nyújt az élelmiszerekben előforduló koffein, mint világszerte széles körben fogyasztott pszchioaktív anyag tulajdonságairól, hatásairól és szerepéről. A koffein kémiai összetétele és fizikai jellemzői adják alapját annak a komplex hatásmechanizmusnak, amely révén az anyag stimulálja a központi idegrendszert, fokozza az éberséget, csökkenti a fáradtságérzetet, és javítja a koncentrációt. Bár számos előnye ismert, mint például a kognitív hanyatlás elleni védelem, a fizikai teljesítmény fokozása és a hangulat javítása, ugyanakkor túlzott fogyasztása szorongáshoz, álmatlansághoz, valamint egyéb egészségügyi kockázatokhoz vezethet. A dolgozat bemutatja, hogy a koffein hogyan vált a modern társadalmakban nem csupán a mindennapi szokások részévé, hanem az élelmiszer- és gyógyszeripar egyik kulcsfontosságú alkotóelemévé is. Vizsgálataim során különböző koffeintartalmú élelmiszerek, például teák, kávék, kólák és energitalok analitikai elemzését végeztem. Spektrofotometriás módszer segítségével meghatároztam a minták koffeinkoncentrációit, mely alapján a dolgozat részletesen bemutatja az egyes termékek közötti különbségeket. Az eredmények azt igazolták, hogy a kávék általában magasabb koffeintartalommal rendelkeznek, mint a teák és a kólák, míg az energitalok koffeintartalma meghaladhatja a gyártók által megadott értékeket. Az elemzés hangsúlyozza a mérsékelt koffeinfogyasztás fontosságát, amely elősegítheti a pozitív hatások érvényesülését anélkül, hogy kockázatokat vállalnánk az egészségünk megőrzése szempontjából. A vizsgálatok alapján elmondható, hogy lényeges a tudatos és mérsékletes koffeinfogyasztás, ugyanakkor az alkalmazott analitikai módszerek hozzájárulhatnak olyan további kutatásokhoz, melynek célja a koffein élettani hatásainak még alaposabb megértése.

BEVEZETÉS

A koffein egy széles körben fogyasztott pszichoaktív hatóanyag, amely jelentős szerepet tölt be sok ember mindennapjaiban szerte a világon. A frissen főzött kávé gazdag aromájától a szénsavas italok pezsgéséig és a tea finomságáig a koffein jelenléte vitathatatlan életünkben. Mégis, vonzereje mellett rejlik az egészségre gyakorolt következményeinek sokrétű kölcsönhatása és mérésének lenyűgöző tudománya. A koffein teljes körű megértéséhez elengedhetetlen, hogy elmélyedjünk a történelmi kontextusban, amely alapot jelent a jelenkori jelentőségének megértéséhez.

Elnevezése az arab "qahwa" szóból származik, amely "a bab borát" jelenti, eredete pedig az ősi Etióp fennsíkra vezethető vissza, ahol a kávéfák szabadon virágoztak. A legenda szerint a koffein serkentő tulajdonságait akkor fedezték fel, amikor egy Kaldi nevű kíváncsi kecskepásztor arra lett figyelmes, hogy egy bizonyos fa bogyóinak evése után kecskéi annyira energikusak lettek, hogy nem akartak éjjel aludni. Felfedezéséről beszámolt a helyi kolostor apátjának, aki tesztnek vetette alá a bogyókat. Italokat készített és megállapította, hogy ha ezeket fogyasztja, sokkal éberebb az esti imádságokon. Megosztotta felfedezését a kolostor többi szerzetesével, akik továbbadták a tudást vándorútjaik során. Ez a fergeteges véletlen feltárta a stimulánsban rejlő lehetőségeket, amely így magával ragadta a történelem során a civilizációkat. A kávé először kelet felé kezdte meg hódító hadjáratát, és így jutott el az Arab-félszigetre is, ahol elérhető feljegyzések alapján a XV. századra a mezőgazdaság és a kereskedelem szerves részévé vált. Erről a területről Európába utazók szokatlan történeteket kezdtek el mesélni egy fekete italról, ami éberséget okoz és felpezsdíti az elmét. Sokan gyanakodva és félelemmel fogadták az újdonságot – a Sátán italának nevezték. Egy legenda szerint VIII. Kelemen Pápának köszönhető, hogy a kávé el tudott terjedni ezen a kontinensen is. A pápa megkóstolta, majd megszerette az italt, és úgy döntött pápai jóváhagyást ad neki. A következő idézet tőle származik:

„Ez az ördög itala annyira jó... hogy inkább csőbe kellene húznunk és meg kellene keresztelnünk.”

Az idő múlásával a koffein meghaladta a pusztán italösszetevő szerepét, már évszázadok óta áthatja a kulturális rituálékat, a társadalmi interakciókat, és még a politikai szférát is befolyásolta. A felvilágosodás korának európai kávéházaitól kezdve, amelyek elősegítették a modern gondolkodás megszületését, egészen napjaink kávékultúrájának kialakulását, így formálva a nyüzsgő nagyvárosainkat. A koffein a társadalom szerves részévé vált, átlépve földrajzi határokat, és áthidalva a sokszínű közösségeket elválasztó nézeteltéréseket. A koffein

kulturális jelentőségén túl azonban az emberi egészségre gyakorolt hatását körülvevő összetett diskurzus is rejlik. Már számos kiterjedt tudományos kutatás vizsgálta a koffein emberi szervezetre gyakorolt hatását, lehetséges előnyeit és káros hatásait, kiváltva ezzel kíváncsiságot és aggodalmat egyaránt. A koffein ugyanis túlmutat a pusztán stimuláción, amely mélyebbre nyúló vizsgálatokat tesz indokolttá. Annak érdekében, hogy képesek legyünk eligazodni ennek a rendkívüli vegyület hatásainak útvesztőjében a kutatók szigorú mérési technikákat alkalmaznak, melyek segítségével detektálható az adott élelmiszerek koffeintartalma. Az analitikai kémiai tudomány olyan fejlett módszereket ölel fel, mint a nagy teljesítményű folyadékkromatográfia (HPLC), a gázkromatográfia-tömegspektrometria (GC-MS), az enzimhez kötött immunszorbens (ELISA) vagy akár a spektrofotometriás vizsgálatok. Ezek a kifinomult műszerek, módszerek lehetővé teszik a koffeintartalom pontos meghatározását, felszívódásának mértékét a szervezetünkben, valamint az élettani hatásait meghatározó anyagcsere-folyamatok megértését. Dolgozatomban elmélyedek a koffein magával ragadó világába, kitérve a kémiai tulajdonságaira és jellemzőire, a szervezetre gyakorolt hatásaira, gyógyászatban rejlő lehetőségeire, különös hangsúlyt fektetve a különböző élelmiszer- és italtermékek koffeintartalmának mérésére.

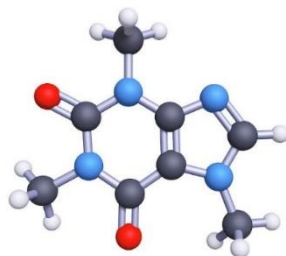
Laboratóriumi vizsgálataim során különböző koffeintartalmú élelmiszerek (tea, kávé, kóla, energiaiital) koffein-koncentrációjának spektrofotometriás módszeren alapuló analitikai meghatározását tűztem ki célul.

1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

1.1. A koffein kémiai tulajdonságai és jellemzői

1.1.1. A koffein kémiai összetétele

A koffein molekulaképlete $C_8H_{10}N_4O_2$ (molekulatömege 194,19 g/mol.), amely pontos képet ad a molekula kémiai felépítéséről: nyolc szén-, tíz hidrogén-, négy nitrogén- és két oxigénatomból áll (1. ábra). Ez lehetővé teszi, hogy olyan tulajdonságokkal rendelkezzen, amelyek révén többféle biológiai hatást gyakorolhat a szervezetre. Purinvázis vegyület, mely azt takarja, hogy két gyűrűből épül fel: egy pirimidin- és egy imidazolgyűrűből, amelyek összekapcsolódva alkotják az alkaloid szerkezetet, amely hasonló az adenzin molekulájához. Ennek eredményeképpen a koffein képes blokkolni az adenzin hatását az agy receptorain. A koffein szerkezetének és működésének részletezése segít megérteni, hogy miként fejti ki stimuláló hatását. Az adenzinhez hasonló kémiai szerkezetének köszönhetően a koffein kompetitív módon kötődik az adenzin-receptorokhoz, és így blokkolja azok működését. A koffein ezen receptorok blokkolása révén stimulálja az agyat, ami fokozott figyelmet és csökkent fáradtságérzetet eredményez. A koffein kinyerése főként növényi forrásokból, mint a kávé- és tealevelek, illetve a guarana magjai történik. Az ipari extrakció során oldószeres eljárásokkal, illetve nagy nyomású kivonással izolálható a koffein. További érdekesség, hogy laboratóriumban is előállítható: például dimetilkarbamid és malonsav reakciójával, amely vegyületek megfelelő körülmények között képesek létrehozni a koffein alapstruktúráját. Biológiai hatásait tekintve a koffein az egyik legszélesebb körben fogyasztott stimuláns. A koffein biokémiai hatása miatt széles körben használt az élelmiszeriparban is: számos italhoz és gyógyszerkészítményhez adják hozzá, például fájdalomcsillapítókhoz, mivel bizonyos esetekben fokozza azok hatékonyságát (BYJUS, 2023)



Koffein
 $C_8H_{10}N_4O_2$

1. ábra: A koffeinmolekula
(Forrás: Greg Williams, 2019)

A koffein molekulájának különféle funkciós csoportjai meghatározzák kémiai tulajdonságait. A 1,3,7-trimetil-xantin ($C_8H_{10}N_4O_2$), három fő funkciós csoportot tartalmaz: két karbonilcsoportot, négy aminocsoportot és egy amidcsoportot. Ezek a csoportok jelentős szerepet játszanak mind a koffein stabilitásában, mind annak kölcsönhatásaiban más molekulákkal a biológiai rendszerekben. A karbonilcsoportok, amelyeket a koffeinben található xantin váz tartalmaz, fontos szerepet játszanak abban, hogy a molekula elektroneloszlása kiegyensúlyozott és stabil legyen. Ezen kívül hozzájárulnak ahhoz, hogy a koffein amfipatikus tulajdonságokkal rendelkezzen, azaz mind vízben, mind zsírokban oldódni képes. A koffein szerkezetében lévő karbonilcsoportok segítik az enzimekkel való reakcióképességet, amely különösen a májban történő metabolizáció szempontjából fontos, mivel ezek a csoportok lehetővé teszik, hogy a koffein különböző anyagcsere-útvonalakon keresztül lebontásra kerüljön. A koffein molekulában található aminok – amelyek közé tartoznak a metilcsoportokhoz kapcsolódó nitrogénatomok – részt vesznek a molekula szerkezeti merevségének fenntartásában. Az aminocsoportok lehetővé teszik, hogy a koffein szoros kötéseket hozzon létre a különféle receptorokkal, mint például az adenzin receptorokkal. A molekulán belüli szimmetria és a polaritás lehetővé teszi, hogy kölcsönhatásba lépjen más molekulákkal a szervezetben, beleértve a különböző neurotranszmitterek receptorait, amelyek révén pszichoaktív hatást vált ki. A koffein ezen funkciós csoportjai együttesen biztosítják a molekula egyedülálló képességét, hogy számos biokémiai folyamatban részt vegyen. E funkciós csoportok stabil szerkezetet és reakcióképességet biztosítanak, ami lehetővé teszi a koffein számára, hogy hatékonyan működjön stimulánsként a központi idegrendszerben. Ennek megértése alapot ad annak vizsgálatához, hogy a koffein hogyan működik az emberi testben, és hogyan járul hozzá a pszichoaktív és fiziológiai hatások kialakulásához (VEDANTU, 2023).

1.1.2. A koffein fizikai tulajdonságai

A koffein szilárd, fehér, kristályos vagy por állapotú vegyület, keserű íze miatt könnyen felismerhető. Az anyag higroszkópos tulajdonságai miatt jól oldódik vízben, és képes hidrogénkötések kialakítására, mivel a molekulájában található oxigén- és nitrogénatomok hidrogénkötési helyekként funkcionálnak. Ennek eredményeként a koffein vízzoldhatósága és a molekula poláris tulajdonságai jelentősen hozzájárulnak biológiai hatásaihoz (VEDANTU, 2023). A koffein molekulája az összetett gyűrűs szerkezet révén poláris jellegű, mivel az oxigén- és nitrogénatomok nagy elektronegativitása a molekulán belüli töltések egyenlőtlen eloszlását okozza. Ez a polaritás szerepet játszik az olyan intermolekuláris kölcsönhatások kialakításában, mint a dipólus-dipólus kölcsönhatások, amelyek más poláris molekulákkal való

kötődést segítik elő. Emellett a koffeinben jelentős mértékben található London-féle diszperziós erők is, amelyek a molekulák közötti átmeneti dipólusok kialakulását idézik elő, és így növelik a molekula stabilitását és olvadáspontját. A koffein olvadáspontja 235 °C, amely hőmérsékleten a molekula bomlani kezd (UNIVERSITY OF DELAWARE, MAHONEY, 2019). A koffein ezen kívül szerves oldószerekben, például etanolban is jól oldódik, ami megkönnyíti az ipari és laboratóriumi felhasználási folyamatokat. A molekula magas hőmérsékleten gyorsan bomlik, és ezért csak korlátozott hőmérsékleti tartományban stabil. A vízben való oldhatósága és magas olvadáspontja előnyt biztosít, mivel oldatként könnyen keverhető különböző italokhoz, például üdítőkhez vagy gyógyszerészeti készítményekhez (VEDANTU, 2023).

A koffein molekula alapvetően gyenge bázis, amely több nitrogénatomot tartalmaz heterociklusos szerkezetében, így protonfelvételre képes, amikor savas környezetbe kerül. Ez a bázikus jelleg segíti a koffeint abban, hogy savakkal sókat képezzen. Például, amikor a koffein sósavval (HCl) reagál, protonált formává alakul, amely vízzel jól oldható sós oldatot eredményez, ezt gyakran használják különböző analitikai eljárásokban a koffein kinyeréséhez vagy tisztításához. A bázisokkal való reakció tekintetében a koffein stabil molekulaszerkezetéből adódóan nem mutat jelentős reakcióképességet erős bázisokkal, például nátrium-hidroxiddal. Az ilyen bázikus környezetben megőrzi stabilitását és nem képződik semmilyen jelentős reakciótermék. A koffein stabilitása alapvetően annak köszönhető, hogy nem rendelkezik savas hidrogénatommal, amely könnyen leadható lenne egy erősebb bázis jelenlétében. Az amfoter vegyületekkel vagy gyenge savakkal való reakció során a koffein viszonylag inaktív marad, hiszen nem képez erős ionos kölcsönhatásokat, amelyek jelentős szerkezeti változásokhoz vezetnének. Redoxikémiai viselkedését tekintve leggyakrabban szabadgyökös mechanizmusokon keresztül bomlik le oxidációs környezetben. Az oxidáció során koffein OH szabadgyökökkel és perszulfát ionokkal lép reakcióba, amely során elsősorban 1,3,7-trimetilurik sav keletkezik, mint fő végtermék. Az OH szabadgyökök által történő oxidáció során egy rövid élettartamú C₈-OH gyök-intermedier keletkezik, amely ezt követően tovább oxidálódik a végső terméké. Hasonló módon, a perszulfát ionokkal végzett oxidáció egy radikális kationt eredményez, amely vízzel reagálva újabb C₈-OH gyököt képez, ami végül lebomlik (TELO és VIEIRA, 1997). A koffein és permanganát ionok közötti redoxireakciókat tanulmányozva a kutatók megfigyelték, hogy a reakció kinetikája elsőrendű mind a permanganát, mind a koffein koncentrációjára nézve. Azonban a reakció sebessége jelentősen növekedett savas közegben, amely azt jelzi, hogy a protonkoncentráció befolyásolja az oxidációs folyamatot. Az ilyen típusú reakciókat gyakran alkalmazzák a koffein szerkezeti és

reaktív tulajdonságainak megértésére (JONES, 2023). Ezek a reakciók nemcsak az anyag stabilitását befolyásolják különböző pH-értékeken, hanem hozzájárulnak a koffein ökológiai terheléséhez is, különösen a szennyvizekben történő lebontás során, ahol a redoxipotenciál is szerepet játszik a vegyület átalakulásaiban.

Hőhatásra a molekula különböző reakciókat mutat, amelyek során szerkezeti átalakulások és bomlástermékek keletkeznek. Az ilyen folyamatok vizsgálatára általában hőelemzési technikákat, például differenciál pásztázó kalorimetriát (DSC) és termogravimetriás analízist (TG) használnak, melyek segítségével nyomonkövethetők a hőmérséklet növelésével bekövetkező változások. A koffein két kristályos polimorf formában létezhet, az alacsony hőmérsékletű II-es formában, amely körülbelül 150 °C-ig stabil, és a magas hőmérsékletű I-es formában, amely 236 °C körül olvad. Az I-es forma magasabb hőmérsékleteken bomlásnak indul, ami súlyvesztéssel és endoterm csúcsponttal jár. Ez a fázisátalakulás és olvadási folyamat befolyásolja a vegyület hőstabilitását és reakcióit egyes ipari feldolgozási folyamatokban (KAISER, 2019). A bomlás során az anyag súlyvesztése figyelhető meg, amely oxidatív környezetben gyorsabbá válhat. 200 °C feletti hőmérsékleten a koffein molekulája kezd lebomlani kisebb molekulákra, és különböző gáznemű termékek, például szén-dioxid, víz és nitrogén-oxidok szabadulnak fel. Ez különösen fontos az olyan ipari folyamatokban, ahol a hőmérséklet szabályozása kulcsszerepet játszik, például gyógyszeripari alkalmazásokban, mivel a magas hőmérséklet ronthatja a koffein stabilitását (HITACHI, 1984). Ezenkívül a hőkezelés során a koffein reakcióképessége fokozódik, és a termikus degradációs folyamatok során különböző reakciótermékek jöhetnek létre, például dimetilxantinok, amelyek különféle hatásokkal rendelkezhetnek.

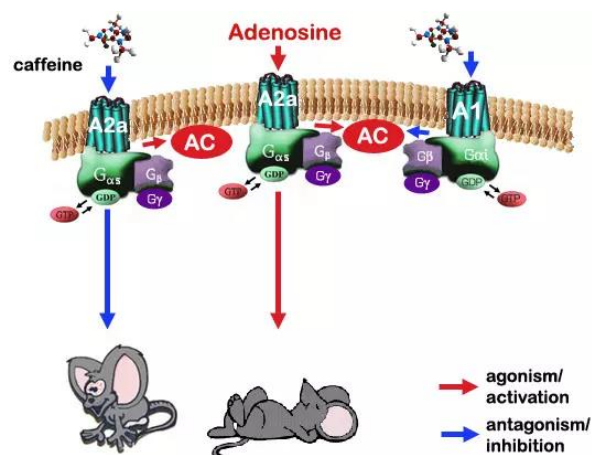
1.2. A koffein szervezetünkre gyakorolt hatásai

1.2.1. *Koffein, mint központi idegrendszeri stimuláns*

A koffein a legelterjedtebb pszichoaktív anyag, amely a világ szinte minden táján elérhető, és amelyet a legtöbb ember napi szinten fogyaszt. Leginkább kávé, tea, energiatalok és bizonyos gyógyszerek formájában találkozhatunk vele. A koffein hatása a központi idegrendszerre különösen érdekes, mivel számos fiziológiai és pszichológiai reakciót indít el, így növelve az éberséget és csökkentve a fáradtságérzetet, javítja a koncentrációt és fokozza a fizikai teljesítményt. A koffein központi idegrendszeri stimulánsként az adenosin receptorok gátlásával fejtik ki hatását. Az adenosin egy természetes neurotranszmitter, amely az idegsejtek közötti kommunikációban játszik szerepet, és a központi idegrendszerben általában nyugtató, pihentető hatást gyakorol. Az adenosin aktivitása fokozódik, ahogy a nap előrehalad, és a szervezet fáradtságot kezd érzékelni. A koffein a receptorokhoz kötődve gátolja az adenosin hatását, így csökkenti a fáradtságérzetet és fokozza az éberséget (NEHLIG, 2016). Ennek következményeként a koffein serkenti az idegsejtek aktivitását, és megnöveli a dopamin, a norepinefrin és az adrenalin szintjét az agyban, ami tovább fokozza az éberséget, a koncentrációt és a teljesítményt. A koffein ezen kívül javíthatja a rövid távú memória működését, ami különösen hasznos lehet a tanulás során, mivel serkenti az agyi aktivitást, különösen a prefrontális kéregben, amely az összetett gondolkodási feladatokért felelős. A koffein kognitív hatásai nemcsak a rövid távú memória javulásában nyilvánulnak meg, hanem a döntéshozatali folyamatokban is. A kutatások szerint a koffein segíthet abban, hogy gyorsabban és hatékonyabban hozzunk meg döntéseket (ROGERS, 2010). Azonban nemcsak a mentális éberséget és kognitív képességeket javítja, hanem a fizikai teljesítményt is fokozhatja. A koffein növeli az adrenalin termelődését a szervezetben, amely serkenti a test "harcolj vagy menekülj" reakcióját. Ez fokozza az oxigénellátottságot és növeli az izmok munkavégző képességét, ami jobb teljesítményt eredményez fizikai aktivitás közben. Az edzések előtt történő koffeinbevitel tehát javíthatja a kitartást és gyorsíthatja a reakcióidőt (SPRIET, 2014). Bár a koffein hatása leginkább fizikai szinten jelentkezik, fontos megemlíteni pszichológiai hatásait is. A koffein fogyasztása javíthatja a hangulatot és csökkentheti a depresszióval és szorongással kapcsolatos tüneteket. A koffein stimuláló hatása pozitívan befolyásolhatja a mentális állapotot, mivel növeli a szerotonin szintjét, mely a jó közérzetért és a motivációért felelős neurotranszmitter (SMIT és ROGERS, 2000). Ezen kívül a koffein enyhe eufórikus érzést is okozhat, amely hozzájárulhat az emberek aktívabb, energikusabb állapotához. A

koffein központi idegrendszeri stimulánsként számos pozitív hatással bír, ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a túlzott koffeinfogyasztás negatív hatásokat is eredményezhet, például álmatlanságot, idegességet és szorongást, így mértékkel kell alkalmazni. A koffein hatása egyénenként eltérő lehet, és az optimális hatás eléréséhez figyelembe kell venni a személyes toleranciát.

A koffein hatásai az adrenalin felszabadulásában több szinten is megnyilvánulnak, és az elsődleges mechanizmus a központi idegrendszerben található adenosin receptorok blokkolásán keresztül valósul meg. Az adenosin egy olyan neurotranszmitter, amely alapvető szerepet játszik az idegi gátlásban, és segít szabályozni a szívfrekvenciát, a vérnyomást és az alvást. Az adenosin receptorok aktiválódása csökkenti az agyi aktivitást és nyugtató hatást gyakorol, míg azok blokkolása, mint amit a koffein véghez visz, serkenti az idegi aktivitást, növeli a figyelmet és az energiaszintet. A koffein, miután felszívódik a gyomor-bélrendszerben, eljut a központi idegrendszerbe, ahol gátolja az A1 és A2A típusú adenosin receptorokat (2. ábra). Ennek eredményeként fokozódik a dopamin, a noradrenalin és az adrenalin szintje, mivel az adenosin gátló hatása csökken.



2. ábra: Koffein hatása az adenosin receptorokra
(Forrás: Erica Goldstein, 2010)

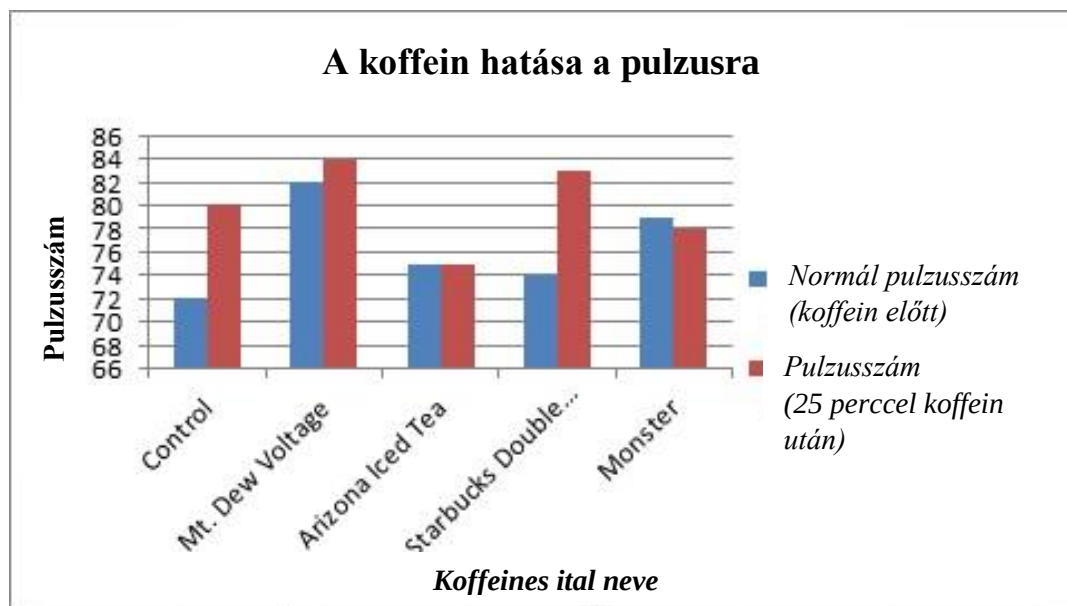
A koffein ezen mechanizmusa közvetve serkenti a szimpatikus idegrendszert, amely fokozza az adrenalin és noradrenalin felszabadulását a mellékvese adrenalinszintézisének serkentésével (NEHLIG, 2016). Ezen kívül az adrenalin segít a szervezetnek a stresszhelyzetek kezelésében, mivel gyorsan mozgósítja az energiaforrásokat. Bár a koffein növeli az adrenalin szintjét és serkenti a szív- és érrendszert, túlzott fogyasztása negatív hatásokkal is járhat. Az adrenalin szintjének tartós növekedése szorongást, ingerlékenységet és idegességet okozhat, különösen azoknál, akik nem tolerálják jól a koffeint. A magas adrenalin szint elősegítheti a stresszreakciók fokozódását, ami különösen fontos azok számára, akik szorongásos rendellenességekkel küzdenek. A koffein fokozott fogyasztása tehát negatívan befolyásolhatja

a pszichés állapotot, és hosszú távon akár alvászavarokat is okozhat, mivel a koffein gátolja az adenzin nyugtató hatását, és így csökkenti a pihenésre való hajlamot (*JULIANO és DEWITT, 2008*).

1.2.2. A koffein hatása a szív- és érrendszerre

A koffein hatása ezen a területen összetett és különböző mechanizmusokon keresztül érvényesül. A szív- és érrendszeri aktivitás fokozása közvetlenül kapcsolódik a koffein által indukált adrenalin és egyéb neurotranszmitterek szintjének emelkedéséhez, amelyek növelik a szívverést, a vérnyomást és az érfalak tónusát. Bár a koffein jótékony hatással lehet a fizikai teljesítményre és az éberségre, hosszú távú, illetve túlzott fogyasztása a szív- és érrendszeri problémák kockázatát is növelheti, ezért fontos, hogy a koffein bevitelét mértékkel kezeljük. A koffein fő hatása a szív- és érrendszerre a szimpatikus idegrendszer aktiválásával valósul meg. A koffein, miután a gyomor-bél traktusban felszívódik, gyorsan eljut a központi idegrendszerbe, ahol blokkolja az adenzin receptorokat. Az adenzin, amely az ébrenlést elősegítő neurotranszmitter, gátolja a szimpatikus idegrendszer működését, így csökkenti a szívfrekvenciát és a vérnyomást. A koffein ezen receptorok blokkolásával éppen az ellenkező hatást váltja ki: serkenti a szimpatikus idegrendszert, növeli az adrenalin és noradrenalin szintjét, ami szívritmus gyorsuláshoz és a vérnyomás emelkedéséhez vezet (*NEHLIG, 2016*) (3. ábra). Ez a stimuláló hatás különösen figyelemre méltó azoknál, akik nem rendszeres koffeinfogyasztók, mivel náluk erőteljesebb válaszokat válthat ki. A szívverés fokozódása mellett a koffein csökkentheti a szív terhelhetőségét is, mivel fokozza az oxigénigényt, amit bizonyos egészségügyi kockázatokkal kell mérlegelni, különösen szívbetegségekkel küzdő egyéneknél (*GRASSI, 2008*). A koffein vérnyomásra gyakorolt hatása szintén intenzív, és gyakran előtérbe kerül a koffeinfogyasztás egészségügyi vonatkozásainak vizsgálatakor. A koffein által kiváltott vérnyomás-emelkedés rövid távú hatás, amely általában 3-5 órán át tart. Ennek oka, hogy a koffein hatására az érfalak összehúzódnak, ezáltal emelkedik a perifériás ellenállás és a vérnyomás (*WHELTON, 2018*). A koffein ezen hatása különösen észlelhető azoknál, akik nem szoktak koffeint fogyasztani, míg a rendszeres koffein használók számára a hatás mérséklődhet, mivel a szervezet toleranciát alakít ki. Bár a koffein által okozott vérnyomás-emelkedés általában átmeneti, fontos megjegyezni, hogy rendszeres fogyasztása hosszú távon is befolyásolhatja a vérnyomást, különösen azoknál, akik hajlamosak magas vérnyomásra. A koffein ezen hatásait számos kutatás vizsgálta, és eredményeik vegyesek: egyes tanulmányok szerint a koffein rendszeres fogyasztása nem okoz tartós vérnyomás-emelkedést, míg mások arra figyelmeztetnek, hogy a koffein hosszan tartó alkalmazása

fokozhatja a hipertónia kockázatát (ZHAO *et al.*, 2022). Ezen kívül a koffein a vérerek simaizomzatát is befolyásolhatja, ami szintén közvetlen hatással van a vérnyomásra és az érfalak rugalmasságára (MACDONALD, 2017). A koffein hirtelen emelkedés a vérnyomásban különösen kockázatos lehet azokon a területeken, ahol már meglévő szívbetegségek vannak jelen, mint például a koszorúér-betegségek. Azoknak, akik szívbetegségben szenvednek, mérsékelt koffeinfogyasztást javasolnak, mivel a túlzott koffeinbevitel növelheti a szívroham vagy stroke kockázatát (JAMES, 2004).

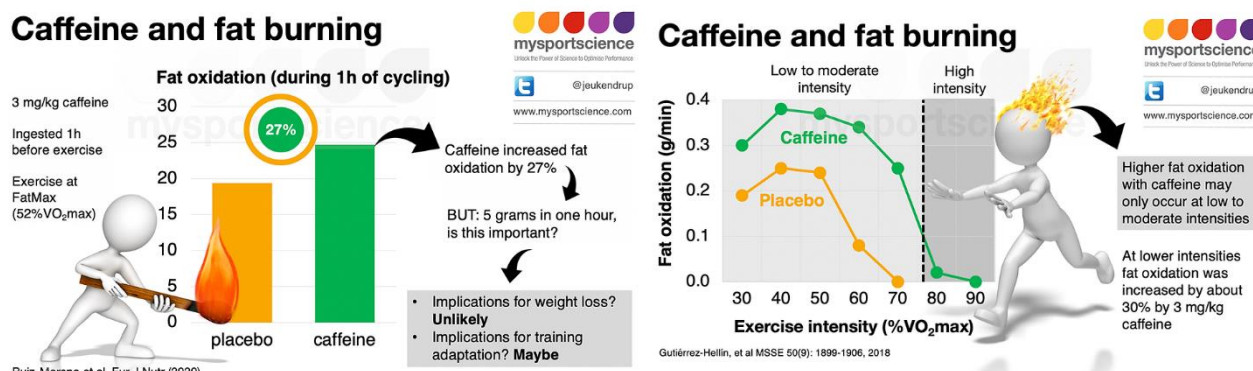


3. ábra: A koffein hatása a pulzusszámra
(Forrás: Legas Muhammed B, 2021)

1.2.3. A koffein hatása az anyagcserére

A koffein az anyagcsere serkentésében kulcsszerepet játszik, egyik hatása, hogy segíti a zsírégetést. Az anyagcsere gyorsulásával együtt a koffein a lipolízist (a zsírok lebontását) is fokozza, ami segít a zsírszövetek gyorsabb energiává történő átalakításában. A koffein hatása a zsírégetésre azáltal érvényesül, hogy fokozza a szimpatikus idegrendszer működését, amely a zsírsejtekben található adrenalin receptorokat aktiválja, és ennek következtében a zsírsavak felszabadulnak a véráramba (ACHESON, 2004). Ezen kívül a koffein növeli a testhőmérsékletet is, amely fokozza az energiafelhasználást, és így elősegíti a zsír elégetését. A koffein ezen hatásai különösen sportolóknál és azoknál az egyéneknél hasznosak, akik a testzsír csökkentésére törekednek. A koffein fogyasztása egyes kutatások szerint növeli a testmozgás

során elégetett zsírmennyiséget (4. ábra), így javítva az edzés hatékonyságát és az energiafelhasználást (VAN SOEREN és GRAHAM, 2002).



4. ábra: A koffein hatása a szervezet zsírégetésére
(Forrás: Juan del Coso, 2012)

A koffein nemcsak a zsírok lebontását segíti elő, hanem növeli az edzés előtti energiafelvételt is, ami javítja a sportteljesítményt és a terhelhetőséget. A koffein növeli a test energiafelhasználását azáltal, hogy fokozza az anyagcserét, más néven a nyugalmi energiafelhasználást (resting metabolic rate, RMR). A fokozott energiafelhasználás segíthet a kalóriaégetés növelésében anélkül, hogy extra fizikai aktivitást igényelne. Egyes tanulmányok szerint a koffein fogyasztása akár 5-10%-kal is növelheti az energiafelhasználást, különösen akkor, ha a fogyasztás edzés előtt történik. Az energiafelhasználás növekedése nemcsak a zsírégetést segíti, hanem hozzájárul a gyorsabb regenerálódáshoz is. A kalóriák elégetésének növekedése a koffein által indukált thermogenezis (hőtermelés) révén is érvényesül. Ez a folyamat az energia felhasználásának növekedését eredményezi, amely szintén segíthet a testzsír csökkentésében és a fogyásban (DOHM, 1998).

1.2.4. A koffein vizelethajtó hatása

A koffein egyik legszélesebb körben tapasztalt mellékhatása a vizelethajtó (diuretikus) hatás, amely a vizelettermelés növekedéséhez vezet. Ez a hatás különösen akkor válik jelentőssé, amikor a koffein fogyasztásának következményeit és a szervezetre gyakorolt hatásait mérlegeljük, mivel a fokozott víz- és elektrolitürítés befolyásolhatja a hidratációt és a vízháztartást. A már korábban is említett adenosin egy olyan neurotranszmitter, amely a vese működését is szabályozza, és normál körülmények között segít a víz és elektrolitok visszaszívásában a vese tubulusaiban. A koffein ezen receptorok blokkolásával megakadályozza az adenosin gátló hatását, ami a vesék fokozott víz- és nátriumürítéséhez vezet (NEHLIG, 2016). A koffein által kiváltott vizelethajtó hatás másik fontos tényezője, hogy növeli a glomeruláris filtrációs rátát (GFR), ami a vese szűrési sebességét jelzi. Ezáltal a koffein

segíti a vesékben történő gyorsabb szűrést, így több víz és elektrolit ürül ki a szervezetből a vizelet formájában. A GFR növekedésével egyenesen arányosan fokozódik a vizeletmennyiség is. A koffein hatására a vizeletürítés gyakorisága és mennyisége megnövekedhet. A vizelethajtó hatás nemcsak a koffein elsődleges fogyasztása után, hanem később is érezhető, mivel a koffein hosszabb távon is befolyásolhatja a veseműködést. Egyes kutatások azt mutatják, hogy a koffein fogyasztása után 30-60 perccel már jelentős növekedés tapasztalható a vizelet ürítési sebességében. Ez a hatás leginkább akkor figyelhető meg, ha a koffein jelentős mennyiségben, például egy csésze kávé, energiatital vagy egyéb koffeintartalmú ital formájában kerül bevitelre. Mivel a fokozott vízürítés mellett a vesék a nátriumot és egyéb elektrolitokat is eltávolítanak a szervezetből következményként a testben lévő folyadék mennyisége csökkenhet, ami fokozott folyadékbevitelt igényel. Ezért, bár a koffein növeli a vizelettermelést, hosszú távon fontos a megfelelő hidratáció fenntartása, különösen a koffein fogyasztása után. Ezen hatások miatt sokan aggódnak, hogy a koffein fogyasztása dehidratációhoz vezethet. Azonban a legtöbb kutatás azt mutatja, hogy a mérsékelt koffeinbevitel, például napi 200-300 mg koffein (ami körülbelül két csésze kávénak felel meg), nem vezet tartós dehidratációhoz a legtöbb egészséges felnőtt számára. Azon egyének, akik rendszeresen fogyasztanak koffeint, általában képesek tolerálni annak vízhajtó hatásait anélkül, hogy jelentős hidratációs problémák lépnének fel (WÜRTH, 2011).

1.2.5. Koffein a kognitív hanyatlás ellen

A koffein hosszú távú fogyasztása nemcsak a kognitív teljesítményt befolyásolhatja, hanem a neurodegeneratív betegségek kialakulásának kockázatát is csökkentheti. Számos preklinikai és klinikai kutatás vizsgálta a koffein hatásait a neurodegeneratív megbetegedések, például az Alzheimer- és Parkinson-kór kapcsán. Az állatkísérletek és humán vizsgálatok eredményei azt sugallják, hogy a koffein rendszeres fogyasztása hozzájárulhat az idegsejtek védelméhez és a neurodegeneráció lassításához. Az Alzheimer-kór egy neurodegeneratív betegség, amely az agyi idegsejtek fokozatos pusztulásával jár, és a memória, a tanulás és egyéb kognitív funkciók fokozatos elvesztését eredményezi. A koffein egyik fontos mechanizmusa, hogy képes csökkenteni az amyloid-béta fehérje felhalmozódását az agyban, amely az Alzheimer-kór egyik jellemző patológiai jele. Az amyloid-béta lerakódások az idegsejtek közötti kapcsolatok károsodásához és a szinaptikus működés romlásához vezethetnek. Egyes kutatások szerint a koffein képes gátolni az amyloid-béta aggregációját és csökkenteni annak toxikus hatásait az idegsejtekre (CHOU, 2012). Ezen kívül a koffein antioxidáns tulajdonságokkal is rendelkezik, amelyek segíthetnek megvédeni az idegsejteket a szabad

gyökök által okozott károsodásoktól, amelyek hozzájárulhatnak a neurodegeneratív folyamatokhoz. A Parkinson-kór egy másik neurodegeneratív betegség, amely a dopamin termeléséért felelős idegsejtek fokozatos elhalásával jár. A koffein serkenti a dopamin rendszert, és kutatások szerint a rendszeres koffeinfogyasztás összefüggésbe hozható a Parkinson-kór előrehaladásának lassulásával. Egyes vizsgálatok azt mutatták, hogy a koffein képes javítani a dopamin receptorok működését és csökkenteni az agyi neurodegeneratív folyamatokat, így segíthet a Parkinson-kór tünetjeinek enyhítésében és a motorikus funkciók megőrzésében (CHEN, 2009). Ezen kívül a koffein neuroprotektív hatása összefüggésbe hozható a Parkinson-kór betegeinél tapasztalható lassabb betegségprogresszióval. A koffein rendszeres fogyasztása nemcsak a neurodegeneratív betegségek kockázatát csökkentheti, hanem hozzájárulhat a kognitív funkciók, így a memória és tanulási képességek fenntartásához is. Különböző kutatások azt mutatják, hogy a koffein fogyasztása javíthatja a rövid távú memória teljesítményét, különösen a koncentrációval összefüggő feladatokban. Egyes tanulmányok szerint a koffein segíthet az információk gyorsabb felidőzésében és azok hosszabb ideig történő megőrzésében. A koffein hatására bekövetkező dopamin- és noradrenalin szintjének növekedése javíthatja a figyelmet, a motivációt és a memóriát, amelyek alapvető szerepet játszanak a tanulásban és az információk feldolgozásában (MCLELLAN, 2016). Ezen kívül a koffeinnek olyan hatásai is vannak, amelyek elősegítik a hosszú távú memória megőrzését, mivel a koffein serkenti az agyi plaszticitást, amely alapvető a memória és a tanulás szempontjából. Egyes kutatások azt sugallják, hogy a koffein hozzájárulhat az új szinapszisok kialakulásához, amelyek elengedhetetlenek az új információk tárolásához és az agy struktúrájának fenntartásához.

1.2.6. A koffein negatív hatásai

A koffein rendszeres fogyasztása hozzászokáshoz vezethet, amely azt jelenti, hogy az egyén kénytelen egyre magasabb dózisokban fogyasztani a kívánt hatások eléréséhez. A koffein addiktív tulajdonságai részben annak kémiai hatásmechanizmusából adódnak (adenozin receptorok blokkolása). Következésképpen, ha valaki hirtelen csökkenti a koffein bevitelét, különféle elvonási tünetek jelentkezhetnek. A leggyakoribb tünetek közé tartozik a fejfájás, a fáradékonyság, a koncentrációzavarok és a hangulati ingadozások (JULIANO és DEPIETRO, 2008). Az elvonási tünetek általában 12-24 órával a koffein megvonása után kezdődnek, és 2-9 napig is eltarthatnak. Ez a jelenség a koffein-függőség fiziológiai aspektusait mutatja, és alátámasztja azt, hogy a koffein hosszú távú használata valóban addiktív jellegű lehet. A koffein elvonási szindróma súlyossága egyénenként változhat, és attól függ, hogy milyen mértékben

szokott hozzá az egyén a koffein fogyasztásához. Azonban még a mérsékelt koffeinbevitel esetén is jelentkezhetnek enyhe elvonási tünetek, míg azok, akik rendszeresen és nagyobb mennyiségben fogyasztanak koffeint, sokkal intenzívebb elvonási tünetekkel szembesülhetnek. Ez a jelenség különösen zavaró lehet azok számára, akik a koffeint napi szinten használják a fáradtság leküzdésére, és akik nem rendelkeznek kellő tudatossággal a koffein hatásaival kapcsolatban. A koffeinfüggőség kezelése általában a fokozatos koffein csökkentésével történik, mivel a hirtelen megvonás fokozhatja az elvonási tünetek intenzitását. A koffein fokozatos csökkentése lehetővé teszi a szervezet számára, hogy alkalmazkodjon az alacsonyabb koffeinbevitelhez, így az elvonási tünetek enyhíthetők. Ezen kívül fontos a tudatos fogyasztásra való törekvés, hogy a koffein napi mennyisége ne lépje túl a biztonságos határértéket, és a rendszeres fogyasztás ne vezessen hozzászokáshoz vagy függőséghez. A koffeinfüggőség nemcsak fizikai, hanem pszichológiai szinten is megnyilvánulhat, és a hosszú távú koffeinbevitel különféle negatív hatásokat okozhat a mentális és fizikai jólétre. A fogyasztás mértékének tudatos szabályozásával és a fokozatos csökkentéssel elkerülhetők az elvonási tünetek, és megőrizhető a koffein jótékony hatása anélkül, hogy az negatív egészségügyi következményekkel járna. Azonban a koffein egyik legismertebb negatívuma az alvás minőségére gyakorolt hatása. A koffein hatására az alvás elhúzódhat vagy felszínebbé válhat (SMITH, 2002). A koffein hatása az alvásra nemcsak az elfogyasztott koffein mennyiségétől, hanem a fogyasztás időpontjától is függ. A koffein felezési ideje 3-5 óra között változik, ami azt jelenti, hogy a nap folyamán elfogyasztott koffein akár 12 órával később is jelen lehet a szervezetben. Egyes kutatások azt mutatják, hogy még kisebb mennyiségű koffein is csökkentheti az alvás hatékonyságát és megnöveli az ébren töltött időt (LANDOLT, 1995). A tartós alvászavar nemcsak a napi pihenés minőségét rontja, hanem hosszú távon súlyos következményekkel járhat, mint például hangulati zavarokkal és csökkent fizikai teljesítménnyel. A nagy mennyiségű koffeinbevitel ugyanakkor az idegrendszert túlzottan is stimulálhatja, amely szorongást, idegességet, gyors szívverést, remegést és izzadást eredményezhet (GREDEEN, 1995). Ezen kívül a koffein serkentő hatása növeli a kortizol (stresszhormon) termelését is, amely hosszú távon hozzájárulhat a szorongás fokozódásához és a stressz-szint emelkedéséhez. Azok, akik hajlamosak a szorongásra, különösen érzékenyek lehetnek a koffein hatásaira, és a rendszeres koffeinbevitel fokozhatja a szorongásos állapotokat. A koffein ezen hatásai fokozottan érvényesülhetnek, ha valaki már rendelkezik szorongásos zavarokkal vagy mentális problémákkal. A koffein fokozza még a gyomorsav termelést is, amely irritációt okozhat a gyomor nyálkahártyáján, különösen üres gyomor esetén.

Ez refluxot, gyomorfájdalmat, gyomorégést és egyéb emésztési panaszokat eredményezhet (NORTON, 1999).

1.3. A koffein gyógyászati alkalmazása

A koffein az egyik leggyakrabban használt hatóanyag fejfájás és migrén kezelésében. Enyhe fájdalomcsillapító hatása miatt a koffein gyakran szerepel fejfájás elleni gyógyszerekben, például kombinált analgetikumokban (például paracetamol vagy ibuprofén és koffein keveréke, lásd 5. ábra). A koffein hatása alapvetően két mechanizmusra vezethető vissza. Először is, a koffein a központi idegrendszert stimulálja, ami segíthet csökkenteni a fájdalomérzetet. Másrészt a koffein az agyi vérereket szűkíti, ami segíthet csökkenteni a migrénes fejfájás okozta fájdalmat, mivel a migrénes rohamok gyakran a vérerek tágulásával járnak. Ezen kívül a koffein enyhe vizelethajtó hatásával is hozzájárulhat a felesleges folyadék eltávolításához, amely szintén enyhítheti a fejfájás tüneteit (MAGGIONI, 2019).



5. ábra: Fájdalomcsillapító
(Forrás: Internet 1)

A koffein ezen kívül a fájdalomcsillapítók hatását is fokozza. A kombinált gyógyszerekben a koffein növeli a paracetamol vagy az ibuprofén hatékonyságát, mivel a koffein serkenti a fájdalomcsillapító anyagok felszívódását és gyorsabb hatást biztosít. Azonban fontos megjegyezni, hogy a koffein túlzott vagy hosszan tartó használata fejfájás kialakulásához is vezethet, mivel a koffein megvonása vagy túlzott fogyasztása is migrént vagy fejfájást válthat ki.

A koffein hasznos lehet a légzés serkentésében is, különösen olyan betegségeknél, mint az asztma vagy a krónikus obstruktív tüdőbetegség (COPD). A koffein képes csökkenteni a légutak szűkületét és elősegíti a tüdő működését, mivel a koffein hasonlóan hat, mint a teofillin, egy másik hatóanyag, amelyet gyakran használnak a légzési nehézségekkel küzdő betegek kezelésére. A koffein a tüdő simaizomzatának ellazításával serkenti a légzést, és segíthet a légutak kitágításában, így javítva a légzést. Számos kutatás szerint a koffein a hörgők tágítását és a légzés javítását elősegíti, különösen asztmás betegek esetében. Egyes vizsgálatok arra utalnak, hogy a koffein képes növelni a légzési térfogatot és a szén-dioxid eltávolítását a tüdőből, így serkentve a légzést és segítve az oxigénfelvételt. A koffein ezen kívül növeli a légzési sebességet, és javíthatja a beteg oxigénellátottságát, ezáltal enyhítve a légzési nehézségeket (MCCARTNEY, 2004).

A koffein hatása a szív- és érrendszerre is összetettek, mivel a koffein stimulálja a szívet és fokozza a vérnyomást. Ennek következményeként a koffein serkentheti a szív aktivitását, és az akut alkalmazás során átmenetileg növelheti a vérnyomást. Ezen hatások miatt a koffein egyesek számára javallott lehet szívbetegségek kezelésében, különösen azokban az esetekben, amikor a vérnyomás alacsony. A koffein a szívizom összehúzódását fokozza, és a vérkeringést serkenti, ami előnyös lehet a keringési problémákkal küzdők számára. Egyes kutatások szerint a koffein mérsékelt fogyasztása javíthatja a szívizom oxigénellátottságát, és csökkentheti a szívproblémák kockázatát, különösen azoknál, akik alacsony vérnyomásban szenvednek. Ezen kívül a koffein javíthatja a fizikai teljesítményt és növelheti az állóképességet, ami különösen hasznos lehet azoknak, akik szív- és érrendszeri problémákkal küzdenek és rehabilitációra szorulnak. (MCCARTNEY, 2004).

1.4. Különböző élelmiszerek koffein-koncentrációja

1.4.1. Teafélék koffeintartalma

A tea, különösen a fekete, zöld és fehér tea, az egyik legelterjedtebb koffeintartalmú ital világszerte. A koffein a teában természetes alkaloidként van jelen, és a tea különböző típusai eltérő mennyiségű koffeint tartalmaznak, amelyet több tényező is befolyásolhat, mint például a tea típusa, az elkészítés módja, a levelek feldolgozása, a termesztési körülmények és az ital áztatási ideje. A fekete tea a legnagyobb koffeintartalmú tea, és a legelterjedtebb teafajta a világon. A fekete tea levelei erősen oxidáltak, ami sötét színt ad az italnak, és az ízét is erősebbé teszi. A fekete tea koffeintartalmát több tényező befolyásolja, így például a levelek fajtája és a tea elkészítési módja. Egy csésze fekete tea (kb. 240 ml) körülbelül 40-70 mg koffeint tartalmaz, ami nagyjából megfelel a kávé koffeintartalmának egy kis adagjával. A híresebb

fekete tea márkák közé tartozik például a Twinings, Lipton, vagy a Tetley, amelyek különböző termékeket kínálnak, mindegyik saját koffeintartalommal. A termékek változhatnak az áztatási idő, az alapanyagok minősége és a feldolgozás függvényében. A Twinings English Breakfast Tea például 50-60 mg koffeint tartalmaz egy csésze tea esetén, míg a Lipton Yellow Label Tea szintén hasonló mennyiségű koffeint kínál. A fekete tea koffeintartalmát befolyásolhatja az áztatás hossza is: minél tovább áztatják a teát, annál több koffein oldódik ki belőle. Egyes kutatások szerint egy hosszabb áztatási idő akár 100 mg koffeint is tartalmazhat egy csészében, míg a rövidebb áztatás csak 30-40 mg koffeint eredményezhet. A zöld tea a másik legnépszerűbb koffeintartalmú tea, amely híres egészségügyi előnyeiről. A zöld tea levelei nem esnek át erős oxidáción, mint a fekete tea, ami a teát friss ízűvé és zöld színűvé teszi. A zöld tea koffeintartalma alacsonyabb, mint a fekete tea, azonban a pontos mennyiség változhat az egyes típusok között. Egy csésze zöld tea (kb. 240 ml) átlagosan 20-45 mg koffeint tartalmaz, de egyes típusok, mint a matcha, ennél magasabb koffeintartalommal rendelkeznek, mivel a matcha porított formában készül el, így a teljes levél elfogyasztásra kerül, nem pedig csak az áztatott tea. A matcha egy csészéje akár 70 mg koffeint is tartalmazhat, különösen, ha koncentráltabb változatról van szó. A zöld tea koffeintartalmát is befolyásolja az áztatás hossza és hőmérséklete. A nagyon magas hőmérsékletű víz (több mint 85°C) segíthet több koffein kioldódásában, míg a rövidebb áztatási idő csökkentheti annak mennyiségét. A legnépszerűbb zöld tea márkák közé tartozik a Tazo, Bigelow és a Harney & Sons, amelyek különböző variációkat kínálnak, mint például a japán sencha vagy a kínai longjing. A Tazo Zen Green Tea, amely egy népszerű zöld tea, körülbelül 30-35 mg koffeint tartalmaz egy csészében, míg a Bigelow zöld tea változatai, mint például a Green Tea with Pomegranate, szintén 30 mg körüli koffein mennyiséget tartalmaznak. A fehér tea a legkevésbé feldolgozott tea és a legfinomabb ízű, mely enyhébb élénkítő hatással bír. A fehér tea levelei csak enyhe oxidáción esnek át, és szedésük után általában csak szárítják őket, nem pedig fermentálják. A fehér tea koffeintartalma a legkevésbé meghatározott, mivel sok tényezőtől függ, például a levelek fajtájától és a feldolgozási módtól. Egy csésze fehér tea körülbelül 15-30 mg koffeint tartalmaz, de a pontos mennyiség a teafajtától függően eltérő lehet. A fehér tea koffeintartalma az egyes teák esetén igen változó lehet. A Fehér Púder Tea, egy tradicionális kínai fehér tea, például 15 mg koffeint tartalmaz egy csészében, míg a Fehér Peony Tea akár 30 mg-ot is tartalmazhat. A fehér tea koffeintartalma szintén függ az áztatás hosszától és a víz hőmérsékletétől. A koffeinmentes teák, mint például a rooibos, a kamilla vagy a hibiszkusztea, nem tartalmaznak koffeint, így ideálisak azok számára, akik elkerülik a koffeint vagy érzékenyek rá. A rooibos, egy dél-afrikai gyógynövény, amely a koffeinmentes teák közé tartozik, gazdag antioxidánsokban és jótékony

hatású ásványi anyagokban, mint a magnézium és a kalcium. Bár nem tartalmaz koffeint, a rooibos tea izgalmas alternatívát kínál a hagyományos teák helyett. Az alacsony koffeintartalmú teák, mint a koffeinmentes tea, mindössze minimális mennyiséget tartalmaznak, ami még mindig kevesebb, mint egy csésze hagyományos tea, de érdemes odafigyelni, hogy ezek a teák általában 1-5 mg koffeint tartalmaznak egy csészében (TANNER, R. K., és GORE, C. J. 2013).

1.4.2. Kólák koffeintartalma

A kóla italok világszerte népszerűek, és sok esetben a koffein a legfontosabb összetevőik egyike, amely serkentő hatásukért felelős. A koffein tartalmú kóla alapvetően két fő forrástól származik: egyrészt a kólalevélből, amelyet az ital készítésekor felhasználnak, másrészt a hozzáadott koffeinből, amelyet mesterségesen adnak a termékhez. A koffein mennyisége az egyes kóla típusokban és márkákban változó, és a legfontosabb tényezők, amelyek ezt befolyásolják, a termék összetétele, a gyártási folyamat, valamint a piacon való pozicionálás. A koffein tartalmú kólák legfőbb vonzereje a gyors energianövelő hatás, amely az ital fogyasztása után viszonylag hamar érezhető. Azonban a koffein mennyisége és hatása a különböző márkák és típusok esetében jelentős eltéréseket mutathat. A kólák koffeintartalmát a gyártók alapvetően úgy szabályozzák, hogy azok illeszkedjenek a helyi ízléshez és szabályozási előírásokhoz. A koffein mennyiségét gyakran az ital kiszolgálási egységére (például egy dobozra vagy üvegre) vonatkoztatva mérik. A két legismertebb kólátípus, a Coca-Cola és a Pepsi, egyaránt jelentős koffeintartalommal rendelkezik, de van néhány fontos különbség köztük. A hagyományos Coca-Cola, amely a világ legnépszerűbb kólája, egy 330 ml-es dobozban körülbelül 32 mg koffeint tartalmaz (ebben az összegben a koffein mennyisége a gyártási ország szabályai és az ital típusának megfelelően változhat). A Coca-Cola Classic egy jól ismert változat, de az újabb ízek, mint a Coca-Cola Zero vagy a Coca-Cola Diet, is koffeint tartalmaznak, ugyanakkor az összesített mennyiség meglehetősen hasonló. Az egyes változatok közötti eltérés elsősorban az édesítőszer típusában rejlik, nem pedig a koffein mennyiségében. A Pepsi, a Coca-Cola közvetlen versenytársa, egy 330 ml-es dobozban szintén körülbelül 38 mg koffeint tartalmaz, tehát egy kicsit magasabb koffeintartalommal bír, mint a Coca-Cola. A Pepsi gyártó más kólátípusai, mint a Pepsi Max, szintén koffeintartalmúak, és jellemzően a cukormentes változatok koffeintartalma megegyezik a hagyományos Pepsi-ével. A Coca-Cola Diet és a Pepsi Max, amelyek a cukormentes alternatívákat képviselik, szintén koffeintartalmúak, de a koffein mennyisége ezekben az italokban ugyanúgy a hagyományos verziókéval megegyezik. Azonban a cukormentes változatok édesítőszerei és összetevői némileg eltérnek, és így az ízélmény is más lehet. A koffeinmentes kólák, mint például a Coca-

Cola Caffeine Free vagy a Pepsi Caffeine Free, kifejezetten azok számára készülnek, akik szeretnék elkerülni a koffein hatásait, de ugyanakkor élvezni szeretnék a kóla ízét. Azonban itt is fontos megjegyezni, hogy az "koffeinmentes" kifejezés nem jelenti azt, hogy az ital egyáltalán ne tartalmaz koffeint. A koffeinmentes kólák egy doboza körülbelül 2-4 mg koffeint tartalmazhat. A Coca-Cola Zero Sugar, amely a diétás és alacsony kalóriatartalmú alternatívákat képviseli, szintén tartalmaz koffeint. A koffein mennyisége ebben az italban 34-38 mg egy 330 ml-es adagonként, tehát megegyezik a Coca-Cola Classic mennyiségével. A Dr Pepper, amely szintén népszerű kólafajta, szintén koffeintartalmú, és egy 355 ml-es doboz körülbelül 41 mg koffeint tartalmaz. A különböző regionális márkák és egyéb alternatívák koffeintartalmukban változhatnak, de általánosságban a koffeintartalom 30-45 mg között mozog egy átlagos dobozban. A koffeintartalom nemcsak a hagyományos kólák esetében változhat, hanem az egyes ízesített változatok, például a kávé-kóla keverékek, a citromos kólák vagy a fűszeres kólák esetében is. Egyes kólák, például a Pepsi Kona, kávéval van ízesítve, és így magasabb koffeintartalommal bírnak. A kávé-kóla hibrid italok koffeintartalma gyakran meghaladja a hagyományos kólákét, és egy 355 ml-es doboz akár 70 mg koffeint is tartalmazhat, amit az ital keverékéből származó koffein és a hozzáadott kávé is okozhat. A koffein mennyiségét a kólákban különböző országokban eltérően szabályozzák. Az Egyesült Államokban a kólák koffeintartalmát nem szabályozzák szigorúan, és így a gyártók viszonylag szabadon dönthetnek a koffein mennyiségéről, amennyiben az a koffein-tartalmú italok általános határain belül marad. Európában viszont szigorúbb szabályozások vonatkoznak a koffein mennyiségére, és a különböző kólák esetében az előírások általában nem haladhatják meg a 150 mg koffeint literenként (MILLER, K. K., és LOWE, M. A. 2019).

1.4.3. Energiaitalok koffeintartalma

Az energiaitalok az utóbbi évtizedekben világszerte rendkívüli népszerűsége tettek szert, különösen azok körében, akik gyors energialöketre vágynak, mint például a fiatalok, sportolók és a munkavállalók. A legfontosabb hatóanyagok, amelyek hozzájárulnak az energiaitalok serkentő hatásához, közé tartozik a koffein, a cukor, valamint egyéb összetevők, mint a taurin, B-vitaminok, L-karnitin és guarana. A koffein mennyisége az energiaitalokban jellemzően magasabb, mint a hagyományos üdítőitalokban, mint például a kólákban. Egy átlagos 250 ml-es energiaital 80-160 mg koffeint tartalmazhat, ami több mint kétszerese a Coca-Cola vagy Pepsi koffeintartalmának, amelyekben egy 330 ml-es dobozban 30-40 mg koffein található. Azonban a pontos koffein mennyiség az energiaital típusától és márkájától függ. A legismertebb energiaital, a Red Bull, egy 250 ml-es dobozban körülbelül 80 mg koffeint

tartalmaz. A Red Bull különböző változatai is elérhetők, mint a cukormentes Red Bull Sugarfree, amely ugyanannyi koffeint tartalmaz, mint a klasszikus változat, azonban az édesítőszer és kalóriatartalom különbözik. A Red Bull tehát a standard energiaiitalok közé tartozik, amely egy viszonylag alacsony koffeintartalmú italnak számít, és egyes országokban a napi maximális koffeinbevitelhez képest viszonylag alacsony koffein mennyiséggel rendelkezik. A Monster Energy, egy másik népszerű energiaiital, amely széles választékot kínál különböző ízekben és típusokban, koffeintartalma magasabb, mint a Red Bullé. A klasszikus Monster Energy egy 500 ml-es dobozban 160 mg koffeint tartalmaz, ami azt jelenti, hogy egy kiszolgálási egységben kétszer annyi koffein található, mint a Red Bullban. A Monster többféle változatot is kínál, mint például a Monster Zero Ultra (cukormentes), de ezek koffeintartalma nem változik jelentősen, és ugyanaz a 160 mg marad egy 500 ml-es doboz esetében. A Rockstar Energy hasonló koffeintartalommal rendelkezik, mint a Monster. Egy 500 ml-es doboz Rockstar Energy ital körülbelül 160 mg koffeint tartalmaz. A Rockstar egyedülálló ízeket és termékeket is kínál, mint például a Rockstar Pure Zero (cukormentes) vagy a Rockstar Recovery (elektrolitokkal dúsított), de koffeintartalma ezekben is azonos. A koffeintartalom egyes energiaiitalok esetében még magasabb lehet, mint a fent említett márkákban. Néhány olyan energiaiital létezik, amely rendkívül magas koffeintartalommal bír, és amelyeket inkább a koffein iránti magas toleranciával rendelkező fogyasztók keresnek. Ilyenek például a következő típusok: A Monster különböző termékei között található olyan típusok, mint a Monster Energy “Maxx” és “Caffeine”, amelyek egy 355 ml-es dobozban 200 mg koffeint tartalmaznak. Ez a koffeintartalom egyes sportolók és edzéshez használt energiaiitalok közé sorolható, mivel magas koffeinbevitel mellett gyorsan javítják az éberséget és a fizikai teljesítményt. A Bang Energy a legújabb trendek egyik legnépszerűbb energiaiitala, amely egy 473 ml-es dobozban 300 mg koffeint tartalmaz, tehát ez egy extrém magas koffeintartalmú energiaiitalnak számít. A Bang Energy-t nemcsak magas koffeintartalma, hanem a hozzáadott BCAA (elágazó láncú aminosavak) és elektrolitok is jellemzik, amelyeket gyakran sportolók fogyasztanak. Bár az energiaiitalok többsége magas koffeintartalommal rendelkezik, egyes márkák alacsonyabb koffeintartalmú változatokat is kínálnak a koffeintartalomra érzékenyebb fogyasztók számára. Ezek általában cukormentes és alacsony kalóriatartalmú verziók, amelyek koffeintartalmukban nem térnek el jelentősen a hagyományos kóláktól. A Red Bull cukormentes változata ugyanakkora koffeintartalommal rendelkezik, mint a hagyományos Red Bull, tehát egy 250 ml-es dobozban 80 mg koffeint tartalmaz, de kalóriatartalma alacsonyabb. A Monster Zero Ultra egy cukormentes energiaiital, amely szintén a 500 ml-es kiszolgálásban 160 mg koffeint tartalmaz. Az ital nemcsak a koffeint, hanem egyéb összetevőket, például

guaranát és B-vitaminokat is tartalmaz, amelyek segítik a gyors energiaszabadítást. Bár a koffeinmentes energiatalkok nem olyan elterjedtek, mint azok, amelyek magas koffeintartalommal bírnak, léteznek olyan változatok is, amelyek nem tartalmaznak koffeint. Ilyen például a Red Bull Caffeine-Free, amely szinte az összes összetevőjében megegyezik a klasszikus Red Bull-lal, de nem tartalmaz koffeint (BABU, K. M., és LEE, M. H. 2008).

1.4.4. Kávék koffeintartalma

A kávé a világ egyik legnépszerűbb és legelterjedtebb italává vált, és számos ember számára elengedhetetlen napi energianövelő forrás. A különböző kávé típusok, márkák és elkészítési módok mind befolyásolják a végeredmény koffeintartalmát, amelyet a kávébab fajtája, az őrlési finomság és az elkészítési idő is meghatározhat. A kávé koffeintartalmát alapvetően két tényező befolyásolja: az alkalmazott kávéfajta és az elkészítési módszer. A kávéfajták közül a két legismertebb a *Coffea arabica* (arabica kávé) és a *Coffea canephora* (robusta kávé), amelyek közül az arabica általában alacsonyabb koffeintartalommal rendelkezik, míg a robusta kávé több koffeint tartalmaz. Az arabica kávébabok koffeintartalma körülbelül 1-1,5%, míg a robusta kávébaboké 2-2,5% között mozog, így a robusta kávéban a koffein koncentrációja jelentősen magasabb. A kávé koffeintartalmának pontos mértéke azonban az elkészítési módoktól is függ. A főbb kávé típusok és azok koffeintartalma a következők szerint változik: Az espresso a legkoncentráltabb kávé típus, amelyet hagyományosan 25-30 ml-es adagokban szolgálnak fel. Az espresso egyetlen adagja körülbelül 63 mg koffeint tartalmaz, ami a legmagasabb koffein-koncentrációnak számít az egyes kávé típusok közül, mivel a kávé nagyon sűrű, és az elkészítési folyamat során a víz intenzíven átítatja a kávébabot. Az americano egy hígabb kávé, amely espresso és forró víz keverékéből készül. Mivel az americano alapja egy vagy két adag espresso, a koffeintartalma körülbelül 63-126 mg között mozog egy 240 ml-es adagban, attól függően, hogy hány adag espresso-t használnak az elkészítéskor. A cappuccino egy espresso alapú kávé, amelyet gőzölt tejjel és tejjel egésszítene ki. A cappuccino koffeintartalma általában megegyezik az espresso-éval, tehát egy 150-180 ml-es cappuccino egy adag espresso-t tartalmaz, így körülbelül 63 mg koffeint tartalmaz. A latte szintén espresso alapú, de itt a kávé nagyobb mennyiségű tejjel keveredik, így az íze lágyabb, és az ital koffeintartalma is alacsonyabb, mint a cappuccino esetében. Egy 240 ml-es latte egy adag espresso-t tartalmaz, tehát 63 mg koffeint tartalmaz. A filterkávé, amely a leggyakrabban otthon fogyasztott kávé típus, az elkészítés módszeréből adódóan nagyobb koffeintartalommal bír, mint az espresso vagy a cappuccino. Egy 240 ml-es csésze filterkávé koffeintartalma 95-200 mg között mozog, attól függően, hogy milyen erősségű

kávét használnak és milyen hosszú ideig áztatják a kávébabot. A filterkávé koffeintartalmának magasabb mértéke az őrlés finomságából és az elkészítési idő hosszabb voltából adódik. A flat white egy olyan kávé, amely egyenlő arányban tartalmaz espressot és gőzölt tejet. Koffeintartalma hasonló a cappuccinéhoz és a lattehoz, tehát egy csésze körülbelül 63 mg koffeint tartalmaz. A koffeintartalom nemcsak a kávé típusától, hanem a választott márkától és az adott kávékeveréktől is függ. A különböző kávé márkák, mint például a Lavazza, Illy, Starbucks és Nescafé, különböző koffeintartalommal rendelkező termékeket kínálnak, és a felhasználók gyakran választják őket az egyéni ízlésük és koffein szükségleteik alapján. A Lavazza, amely az olasz kávé világpiaci vezető márkája, különböző típusú kávékeverékeket kínál. A Lavazza kávéitalok koffeintartalma változó, de egy átlagos csésze espresso (25 ml) körülbelül 60-70 mg koffeint tartalmaz. A Lavazza Super Crema Espresso különösen népszerű a koffein iránti érzékenységet figyelembe vevő kávéfogyasztók körében. A Starbucks, a világ egyik legismertebb kávézólánca, egy adag espresso-ban körülbelül 75 mg koffeint kínál, amely egy standard 30 ml-es adagban található meg. A Starbucks különböző kávéitalai, mint a latte vagy cappuccino, egy vagy több adag espresso-t tartalmaznak, így az ezekben az italokban található koffein mennyisége is változik.

Az Illy egy prémium kávé márkája, amely az arabica kávébabot használja alapanyagként. Az Illy espresso egy adagja körülbelül 55 mg koffeint tartalmaz, ami az arabica kávébabok alacsonyabb koffeintartalmának köszönhető. A Nescafé, mint a legismertebb instant kávé márkája, szintén széles választékkal rendelkezik. Az instant kávé koffeintartalma általában alacsonyabb, mint a frissen főzött kávéé. Egy 240 ml-es csésze Nescafé instant kávé körülbelül 60 mg koffeint tartalmaz, de az egyes termékek között ez az érték eltérhet. A kávé elkészítésének módja alapvetően meghatározza a végeredmény koffeintartalmát. A kávé készítésére alkalmazott módszerek közé tartozik az espresso készítése, a filterkávé, a french press, a perkolátor és a cold brew. A french press kávékészítő eszközzel készített kávé egyes kutatások szerint magasabb koffeintartalommal bír, mint a filterkávé, mivel az őrölt kávé hosszabb ideig érintkezik a vízzel, így több koffein oldódik ki belőle. A cold brew kávé hosszú ideig, hideg vízben áztatott kávé, amely gyakran magas koffeintartalommal rendelkezik. Egy 240 ml-es cold brew kávé akár 200 mg koffeint is tartalmazhat, mivel az áztatás hosszú ideje lehetővé teszi, hogy a kávébabok több koffeint bocsássonak ki (NEHLIG, 2016, MILLER, 2019).

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Mintaelőkészítés

A kísérlet során a koffeintartalom elemzéséhez a kiválasztott minták megalapozták a vizsgálat sokoldalúságát. Munkánk során összesen 28 különböző italt vizsgáltunk (1. táblázat), így reprezentálva a koffeintartalmú italok széles spektrumát. Az analitikai mérésekhez 11 energiatital, 4 kóla, 6 tea és 7 kávé került beszerzésre, melynek során kiemelt figyelmet fordítottunk arra, hogy az energiatital és a kóla esetében cukormentes termékeket válasszunk. Az energiatitalok esetében különböző gyártók termékeit vásároltam meg, hogy széleskörű és reprezentatív eredményt kapjunk az energiatitalok koffeintartalmának spektrumáról (6. ábra).



6. ábra: Energiatitalok

(Forrás: saját kép, 2024)

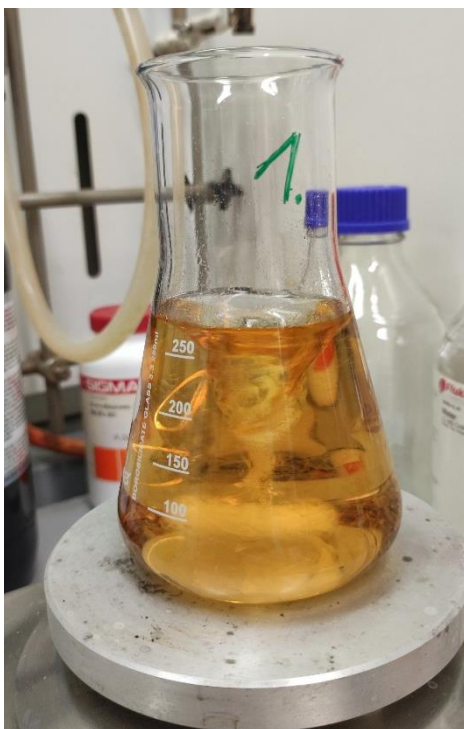
Hasonló megfontolások alapján értékeltük a kávékat és a teákat is, biztosítva ezáltal, hogy a kiválasztott termékek megfelelően tükrözzék a piacon elérhető különböző készítményeket. Összességében a minták gondos kiválasztása lehetővé tette a kísérlet során kapott adatok relevanciájának és hitelességének maximalizálását, hozzájárulva a koffeintartalom pontos és megbízható analíziséhez.

1. táblázat: Élelmiszerminták megnevezése

Minta	Minta
Kóla	Energiaital
1. Coca cola zero koffein	1. Wild touch
2. Coca cola zero cukor	2. S-Budget Zero cukor
3. Pepsi zero cukor	3. Guarana classic zero cukor
4. Xixo zero cukor	4. Hell zero cukor
Tea (1,5 g + 200 ml dv.)	5. Monster zero cukor 1
1. Sir morton earl grey	6. Red bull zero cukor
2. S-Budget earl grey	7. Bomba
3. Pickwick citromos fekete	8. Hell strong
4. Coop őszibarack fekete	9. Monster zero cukor (barack) 2
5. Demmers teehaus earl grey	10. Hell zero koffein
6. Articsóka	11. S-Budget strong
Kávé (2g + 200 ml dv.)	
1. Paloma espresso	
2. Larazza	
3. Karaván	
4. Omnia silk	
5. Carraro Dolci Arabica	
6. Tchibo family	
7. Kapszulás espresso	

(Forrás: saját szerkesztés, 2024)

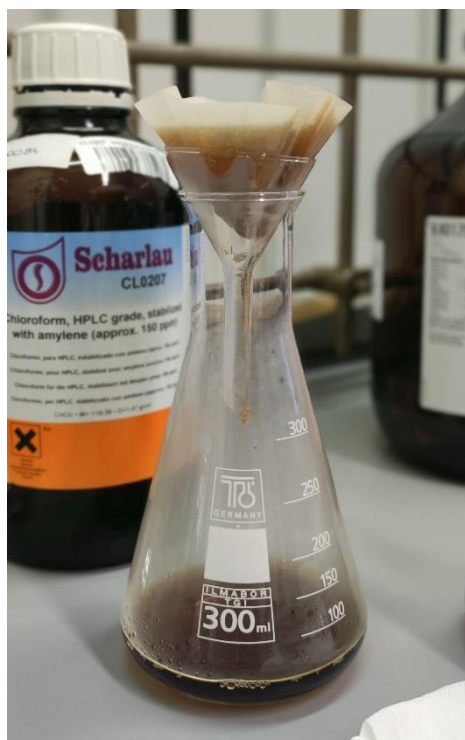
Az energiaital minták előkészítése során a szénsav eltávolítása kiemelt fontosságú lépés, mivel a szénsav jelenléte torzíthatja az analitikai eredményeket és nehezítheti a kémiai összetevők pontos meghatározását. Ennek érdekében a mintákat mágneses keverőn 30 percig kevertük (7. ábra).



7. ábra: Első számú energiaital keverés közben

(Forrás: saját kép, 2024)

A mágneses keverés nemcsak a fizikai homogenitást javította, hanem elősegítette a buborékok eltávolítását is, így a minták későbbi analitikai vizsgálatai pontosabbak és megbízhatóbbak lettek. A kólák előkészítése során szintén hasonló módszert alkalmaztunk, figyelembe véve, hogy a szénsav eltávolítása elengedhetetlen a pontos analízishez. A tea minták előkészítése egy másik fontos lépés volt a kutatásban. A filteres tea alkalmazása során egy-egy filtert (1,5 g/filter) 200 ml forrásban lévő desztillált vízbe helyeztük, és ezt követően 5 percen keresztül mágneses keverőn kevertük a mintákat. A keverési idő meghatározásánál a társadalmi szokásokat vettük alapul, mely idő elegendő lehet ahhoz, hogy a tea hatóanyagai, mint például a polifenolok és a koffein kioldódjanak, így biztosítva a megfelelő koncentrációt a további vizsgálatokhoz. Ezt követően a mintákat redős szűrőn szűrtük és szobahőmérsékleten hűlni hagytuk (8. ábra).



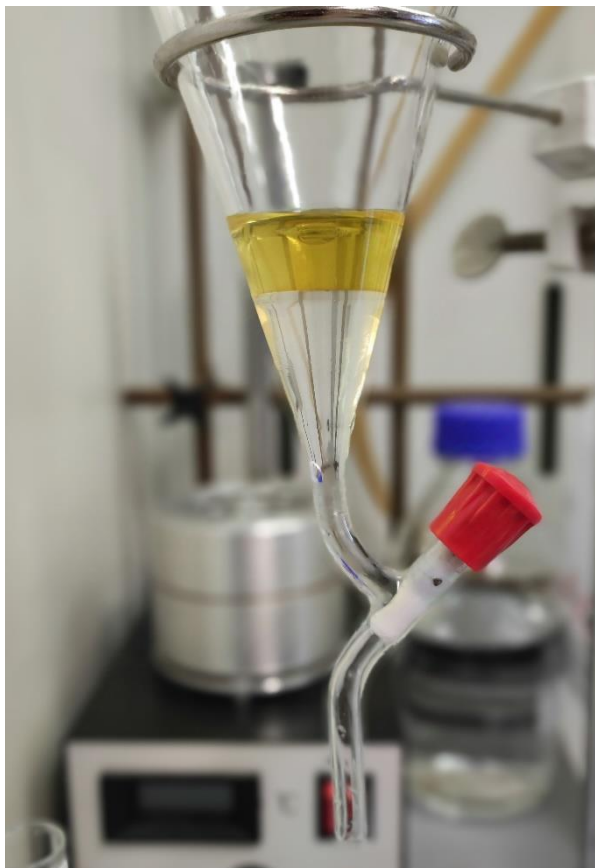
*8. ábra: Kávé minta szűrése
(Forrás: saját kép, 2024)*

A kávé minták előkészítése során 2 g őrölt mintát adtunk 200 ml forrásban lévő desztillált vízhez és szintén 5 percig kevertettük. A mintákat szűrtük és szobahőmérsékleten állni hagytuk, melynek során a célunk az volt, hogy mind a kávé és tea mintákban a lehető legjobban reprodukálható analitikai eredményeket kapjuk. Ezek az előkészületek elengedhetetlenek voltak ahhoz, hogy a minták megfeleljenek a tudományos követelményeknek, valamint lehetővé tegyék a pontos és megbízható kémiai analízisek végrehajtását. Az így előkészített minták már alkalmasak voltak a mintákban lévő koffein feltáráshoz.

2.2. A minták extrahálása

Az előkészített minták koffeintartalmának pontos meghatározásához kloroformmal történő extrahálási módszert alkalmaztunk.

Az extrahálás során minden egyes italból két párhuzamos mintát („A” és „B”) készítettünk a megbízhatóbb és pontosabb eredmények reprodukálása érdekében. A szobahőmérsékletű italokból pontosan 10-10 ml-t rázótolcsérbe mértünk, melyet 2 lépésben kloroformmal extraháltunk (9. ábra).



9. ábra: Energiailal minta és a kloroform fázis a rázótolcsérben
(Forrás: saját kép 2024)

Az első lépésben 10 ml kloroformot adagoltunk a mintákhoz, melyet intenzíven összeráztunk. A mintákat néhány percre állni hagytuk, annak érdekében, hogy a minta és a már koffeint tartalmazó kloroform fázis elváljon. Ezt követően a kloroform fázist mérőhengerbe gyűjtöttük, majd ezt a lépést újabb 5 ml kloroformmal megismételtük. Az egyesített kloroform fázis térfogatának meghatározása után centrifuga csőbe 100 μ l-t pipettáztunk, majd tiszta kloroformmal a végtérfogatot 5 ml-re állítottuk be és alaposan homogenizáltuk.

2.3. UV-VIS spektrofotométer

A kísérlet célja a koffein koncentrációjának meghatározása különböző italmintákban spektrofotométer segítségével történt (10. ábra).



10. ábra: UV-VIS spektrofotométer

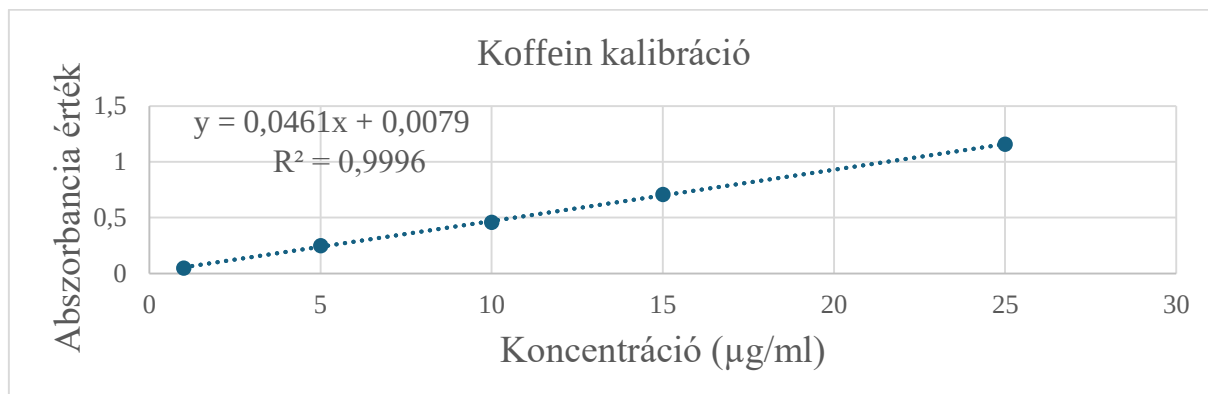
(Forrás: saját kép, 2024)

A spektrofotometriás módszer előnye, hogy gyors és pontos eredményeket biztosít, amely lehetővé teszi a különböző italok koffeintartalmának összehasonlítását. Az analitikai mérés során tiszta koffeinből és desztillált vízből egy standard törzsoldatot készítettünk. A standard törzsoldat koncentrációja 1000 µg/ml volt, amelyből egy standard oldatsorozatot készítettünk (1-5-10-15-25 µg/ml). A standard oldatsorozat optikai sűrűségét (abszorbanciáját) UV-VIS spektrofotométer segítségével határoztuk meg 275 nm hullámhosszon. A kapott abszorbanciértékek alapján az alábbi kalibrációs egyenletet használtuk a koffein koncentrációjának meghatározásához:

$$[y = 0,0461x + 0,0079],$$

ahol (y) az abszorbancia, (x) a koffein koncentráció (µg/ml).

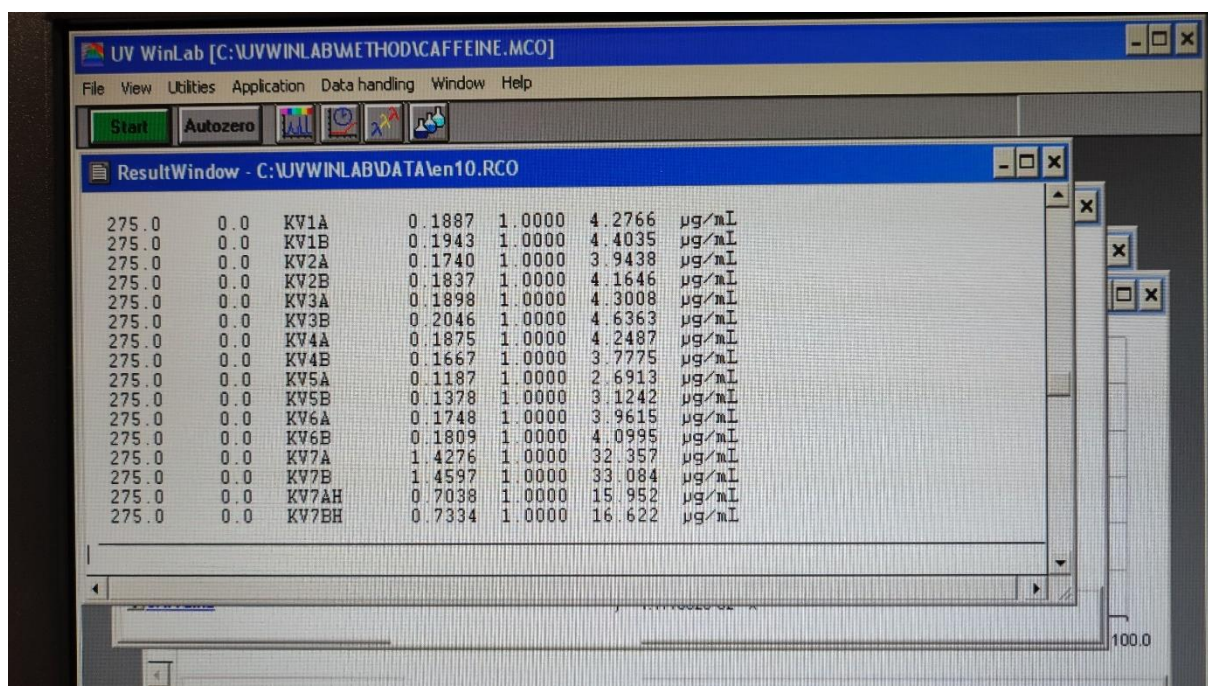
A kalibrációs görbe korrelációs együtthatója (R^2) 0,9996 volt, amely kiváló korrelációt mutatott így biztosítva a mérési módszer hatékonyságát (11. ábra).



11. ábra: Koffein standard kalibráció

(Forrás: saját szerkesztés, 2024)

Az előkészített mintákat küvettába töltöttük, az ezekben található koffein koncentrációját spektrofotométer segítségével lemertük (12 ábra). Az „A” és „B” párhuzamos mintáknál kapott abszorbancia értékeket átlagoltuk és kiszámoltuk a minták koffeintartalmát (µg/ml).



12. ábra: Kávé minták abszorbancia értékei

(Forrás: saját kép, 2024)

3. EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE

3.1. Teaminták koffein koncentrációja

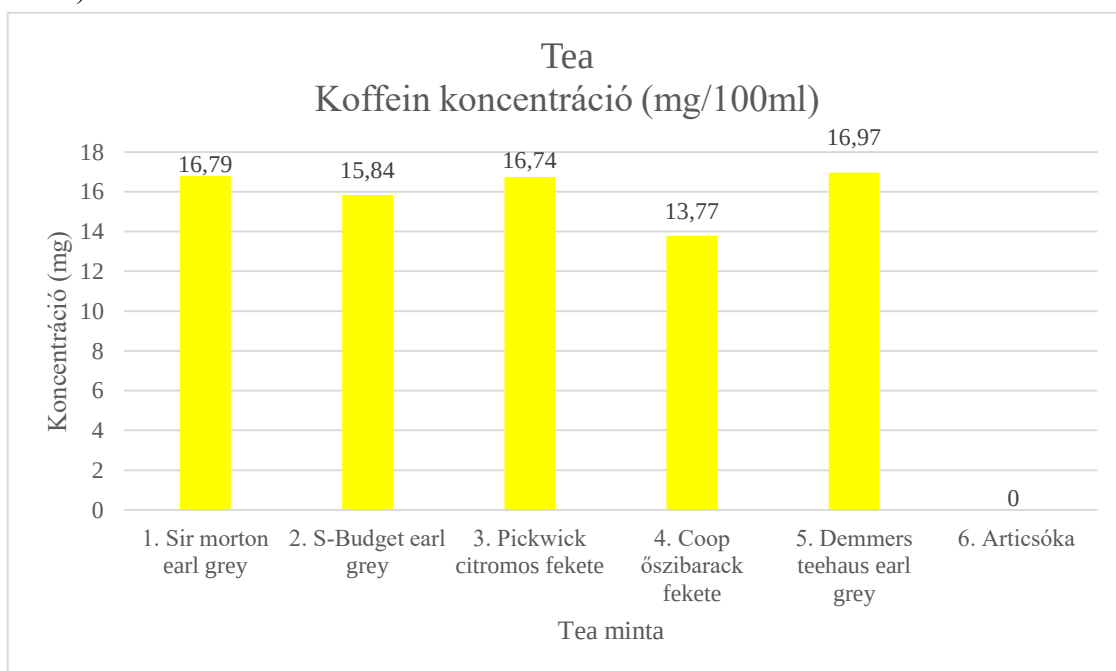
A fekete teák koffeintartalma viszonylag szűk tartományban mozgott (13,77–16,97 mg/100 ml) (2. táblázat), ami egységes alapanyag-felhasználásra utal.

2. táblázat: Mért koffein koncentráció a tea mintákban

Minta neve	Mért koffein koncentráció (mg/100ml)
Tea (1,5 g + 200 ml deszt. víz)	
1. Sir morton earl grey	16,79
2. S-Budget earl grey	15,84
3. Pickwick citromos fekete	16,74
4. Coop őszibarack fekete	13,77
5. Demmers teehaus earl grey	16,97
6. Articsóka	0

(Forrás: saját szerkesztés, 2024)

A legmagasabb értéket a „Demmers Teehaus Earl Grey” mutatta (16,97mg/100 ml), míg a „Coop Őszibarack Fekete Tea” alacsonyabb (13,77mg/100ml) koffeintartalommal rendelkezett. A „Sir Morton Earl Grey” (16,79 mg/100 ml), a „Pickwick Citromos Fekete Tea” (16,74 mg/100 ml) és az „S-Budget Earl Grey” (15,84 mg/100 ml) koffeintartalma mindössze 0,95 mg/100 ml eltérést mutatott. Az articsóka tea esetében a mérések nem mutattak ki kimutatható mennyiségű koffeint (0 mg/100 ml), amely összhangban van a termék jellegével. (13. ábra)



13. ábra: Tea koffein koncentráció (mg/100 ml)

(Forrás: saját szerkesztés, 2024)

3.2. Kóla minták

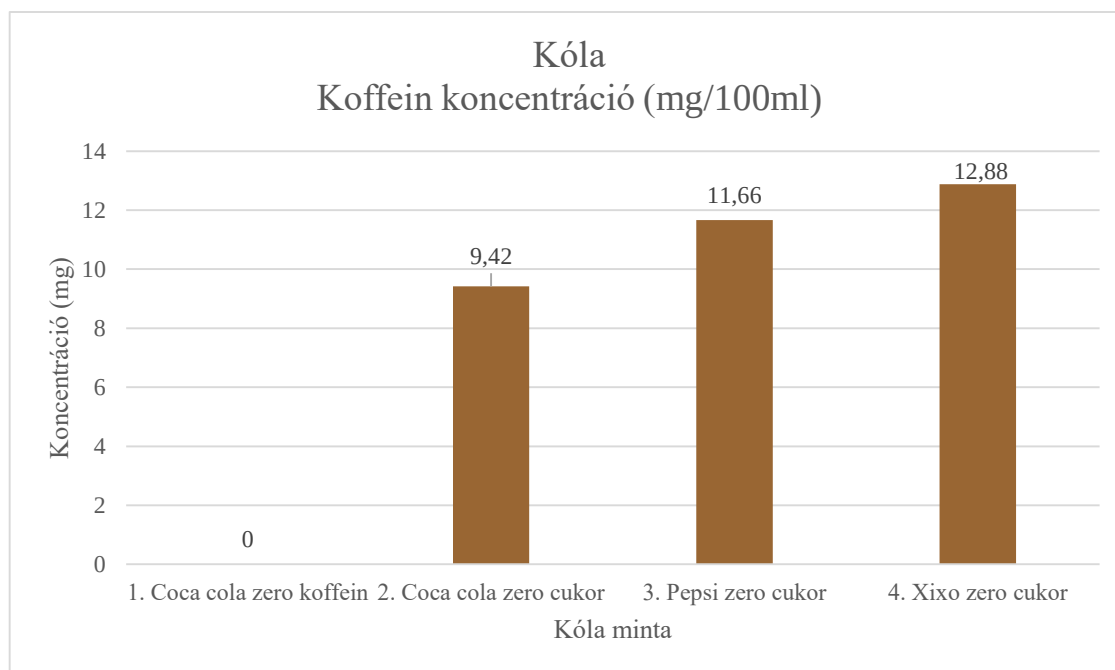
A koffeinmentes „Coca Cola Zero Koffein” minta kivételével a kólák koffeintartalma is közel azonos tartományban mozgott (9,42 mg/100 ml - 12,88 mg/100 ml) (3. táblázat).

3. táblázat: Mért koffein koncentráció a kóla mintákban

Minta neve	Gyártó által megadott koffein koncentráció	Mért koffein koncentráció (mg/100ml)
Kóla		
1. Coca cola zero koffein	0	0
2. Coca cola zero cukor	8	9,42
3. Pepsi zero cukor	11	11,66
4. Xixo zero cukor	n.a.	12,88

(Forrás: saját szerkesztés, 2024)

A legalacsonyabb koffeintartalmat a „Coca Cola Zero Cukor” mutatta (9,42 mg/100 ml). Ez az érték 19%-kal alacsonyabb a „Pepsi Zero Cukorhoz” és 27%-kal a Xixo Zero Cukorhoz viszonyítva. A „Xixo Zero Cukor” koffeintartalma (12,88 mg/100 ml) volt a legmagasabb a vizsgált minták közül. Ez az érték 10%-kal magasabb a „Pepsi Zero Cukor” (11,66 mg/100 ml) koffeintartalmához képest. A legmagasabb (12,88 mg/100 ml, Xixo Zero Cukor) és a legalacsonyabb (9,42 mg/100 ml, Coca Cola Zero Cukor) koffeintartalom között az eltérés 36,7% (14. ábra).



14. ábra: Kóla koffein koncentráció (mg/100ml)

(Forrás: saját szerkesztés, 2024)

3.3. Kávé minták

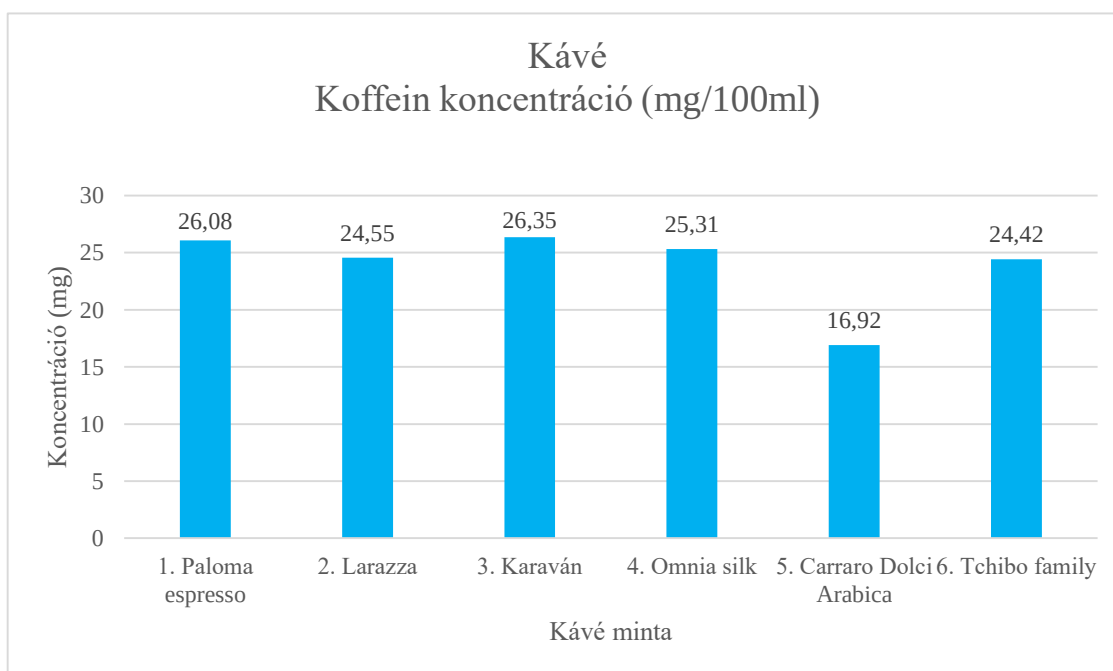
A kapott eredmények alapján a kávék koffeintartalma széles tartományban, 16,92 mg/100 ml és 26,35 mg/100 ml között változott. A legalacsonyabb értéket a Carraro Dolci Arabica (16,92 mg/100 ml), míg a legmagasabb értéket a Karaván kávé (26,35 mg/100 ml) mutatta (4. táblázat), mely eltérés 55,7%-os különbséget jelent.

4. táblázat: Mért koffein koncentráció a kóla mintákban

Minta neve	Mért koffein koncentráció (mg/100ml)
Kávé (2g + 200 ml deszt. víz)	
1. Paloma espresso	26,08
2. Larazza	24,55
3. Karaván	26,35
4. Omnia silk	25,31
5. Carraro Dolci Arabica	16,92
6. Tchibo family	24,42

(Forrás: saját szerkesztés, 2024)

A Karaván és a Carraro Dolci Arabica szélső értékeit nem számítva, a többi kávé minta koffeintartalma szűkebb tartományban volt mérhető (24,42 mg/100 ml és 26,08 mg/100 ml) (15. ábra). A két minta koffein koncentrációja közötti eltérés 6,8% volt.



15. ábra: Kávé koffein koncentráció (mg/100 ml)

(Forrás: saját szerkesztés, 2024)

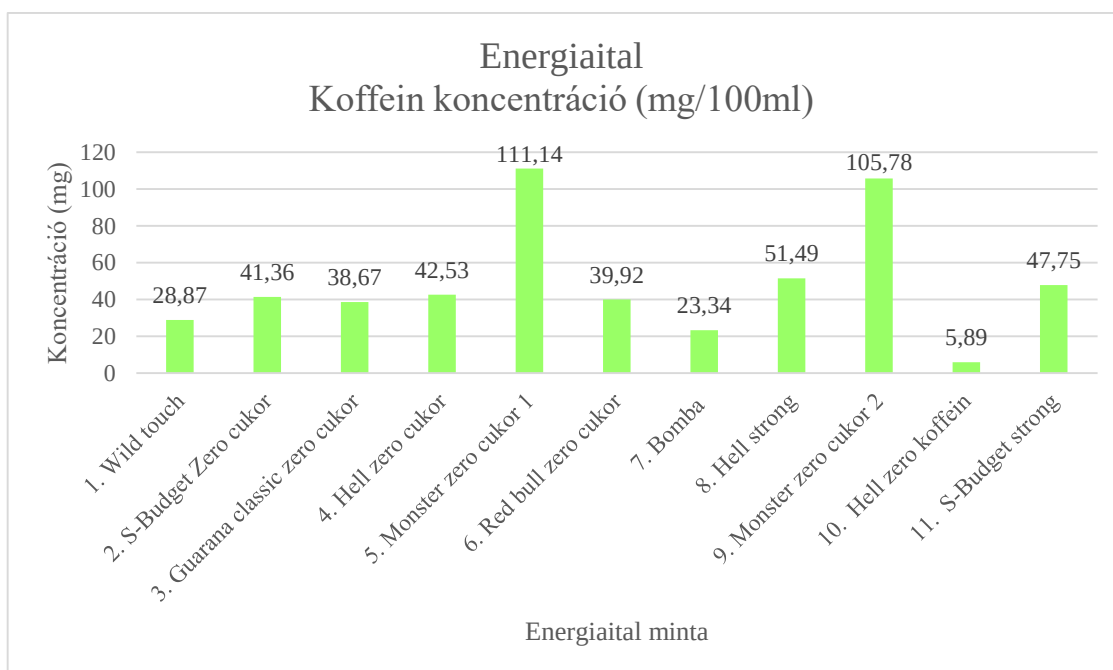
3.4. Energiaital minták

Az eredmények alapján az energiaitalok koffeintartalma 5,89 mg/100 ml és 111,14 mg/100 ml között mozgott (5. táblázat), ami rendkívül széles tartományt mutat. A legalacsonyabb a Hell Zero Koffein koffeintartalma (5,89 mg/100 ml) volt, amelyet a gyártó koffeinmentes terméként jelölt meg. A Monster Zero Cukor (111,14 mg/100 ml) volt a legnagyobb koffeintartalmú minta (16. ábra), amely több mint 3,5-szerese a gyártó által megadott értéknek (30 mg/100 ml).

5. táblázat: Mért koffein koncentráció az energiaital mintákban

Minta neve	Gyártó által megadott koffein koncentráció	Mért koffein koncentráció (mg/100ml)	Eltérés
Energiaital	mg/100ml	mg/100ml	%
1. Wild touch	32	28,87	-9,78
2. S-Budget Zero cukor	32	41,36	+29,25
3. Guarana classic zero cukor	32	38,67	+20,84
4. Hell zero cukor	32	42,53	+32,91
5. Monster zero cukor	30	111,14	+270,47
6. Red bull zero cukor	32	39,92	+24,75
7. Bomba	15	23,34	+55,60
8. Hell strong	38,4	51,49	+34,10
9. Monster zero cukor (barack)	30	105,78	+252,60
10. Hell zero koffein	0	5,89	
11. S-Budget strong	38	47,75	+25,66

(Forrás: saját szerkesztés, 2024)



16. ábra: Energiaital koffein koncentráció (mg/100 ml)

(Forrás: saját szerkesztés, 2024)

A szélsőséges értékeket figyelmen kívül hagyva (Monster 5; Monster 9) az energiaitalok koffeintartalma 23,34 mg/100 ml és 51,49 mg/100 ml között mozgott. Ez az eltérés azonban még így is jelentős. Az energiaitalok esetében az eltérés a gyártók által megadott értékek és a mért eredmények között akár 270%-os is volt (5. táblázat). Ezzel szemben a „Wild Touch” esetében volt megfigyelhető az egyetlen negatív irányú eltérés, amely -9,78%-os.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A vizsgálataink rávilágítottak a különböző termékkategóriák koffein koncentrációja közötti jelentős eltérésekre, különösen az energitalok esetében. A gyártó által feltüntetett pontos összetevők, a szigorúbb ellenőrzések és a fogyasztók tudatosabb tájékoztatása együttesen hozzájárulhat a fogyasztók biztonságához és az iparág iránti bizalom növeléséhez. A koffeintartalmú italok fogyasztása során az eredmények és háttérinformációk alapján érdemes tudatos döntéseket hozni, annak érdekében, hogy az élénkítő hatás megőrzése mellett minimalizáljuk az egészségügyi kockázatokat. A kávé ideális választás lehet azok számára, akik természetes forrásból szeretnék fedezni koffeinbevitelüket. Egy csésze (200 ml) kávé átlagosan 48–52 mg koffeint tartalmaz, amely mérsékelt, de elegendő stimuláló hatást biztosít. A teák, különösen a fekete teák, mint például a „Dammers Teehaus Earl Grey”, remek alternatívát jelenthetnek azok számára, akik enyhébb stimuláló hatást keresnek. Egy 200 ml-es csésze tea átlagosan 32–34 mg koffeint tartalmaz, ami kevesebb, mint a kávéé vagy az energitaloké, de elegendő a koncentráció javításához. A teák további előnye a bennük megtalálható bioaktív hatóanyagok, amelyek hozzájárulhatnak az általános egészségi állapotunk megőrzéséhez. Az energitalok és kólák fogyasztása során érdemes a cukormentes változatokat előnyben részesíteni, például a „Hell Zero Cukor” vagy „Monster Zero Cukor” termékeket. Ezek a változatok nemcsak a kalóriabevitelt csökkentik, hanem kevésbé terhelik a vércukorszintet és a fogakat. Azonban az energitalok esetében kiemelten fontos figyelembe venni a gyártói és mért koffeintartalom közötti esetleges eltéréseket, amelyek akár jelentősen meghaladhatják a feltüntetett értéket, ezért az energitalok fogyasztása mértékkel és körültekintően ajánlott. A koffeinbevitelt napi szinten az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság ajánlása szerint érdemes 400 mg alatt tartani, amely körülbelül 3-4 csésze kávénak, 2-3 adag energitalnak vagy több adag teának felel meg. A vásárlóknak továbbá figyelniük kell a koffeintartalmú italok fogyasztásának időzítésére, mivel a koffein késő délutáni vagy esti bevétele megzavarhatja az éjszakai alvás minőségét. Véleményem szerint összességében elmondható, hogy természetességüknél fogva a kávé és tea fogyasztása a leginkább javallott. Mindezek mellett a mértékletesség és a tudatos választás kulcsfontosságú a koffeintartalmú italok fogyasztása során.

ÖSSZEFOGLALÁS

A koffein az egyik legismertebb és legszélesebb körben fogyasztott pszichoaktív anyag, amely számos élelmiszer és ital elengedhetetlen összetevője. A dolgozat részletesen bemutatja a koffein kémiai és fizikai tulajdonságait, szervezetre gyakorolt hatásait, valamint az analitikai módszereket, amelyekkel a koffein mennyiségi meghatározása történik. Az irodalmi áttekintés keretében a koffein kémiai összetételét és hatásmechanizmusát ismertettem, amely az adenosin receptorok gátlásán keresztül fejti ki stimuláló hatását. Ez a mechanizmus növeli az éberséget, javítja a koncentrációt, valamint fokozza a fizikai és szellemi teljesítőképességet. A dolgozat kitér a koffein pozitív hatásaira, mint például a kognitív hanyatlás elleni védelem, illetve az anyagcsere fokozása, azonban bemutatja a túlzott fogyasztás káros következményeit is, mint a szorongás vagy az alvászavarok. A kutatás során különböző élelmiszerek (teák, kávék, kólák, energitalok) koffeintartalmát vizsgáltam spektrofotometriás módszerekkel. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a kávék általában magasabb koffeinkoncentrációval rendelkeznek, mint a teák és a kólák, míg az energitalok koffeintartalma néhol meghaladhatja a feltüntetett értékeket. Az elemzések rávilágítottak arra, hogy a mérsékelt koffeinfogyasztás elősegítheti a pozitív hatások érvényesülését, azonban a túlzott bevitel egészségügyi kockázatokkal járhat. A dolgozat eredményei hangsúlyozzák a tudatos és mértékletes koffeinfogyasztás fontosságát, és rávilágítanak a korszerű analitikai módszerek szerepére a koffein élettani hatásainak megértésében. Ez a kutatás alapul szolgálhat további vizsgálatokhoz, amelyek célja a koffein hatásmechanizmusának még részletesebb feltárása.

Irodalomjegyzék

- ACHESON – K. J. (2004): "Caffeine: Implications for health and performance." *Journal of Sports Science & Medicine*
- BABU – K. M., – LEE, M. H. (2008): "Effects of caffeine on physical performance." *Journal of Applied Physiology*
- BYJUS (2023): "What is Caffeine?"
- CHEN – H. J. (2009): "Caffeine consumption and its effects on health." *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89(3), 715-721
- CHOU – C. H. (2012): "The impact of caffeine on athletic performance: A critical review." *Journal of Applied Physiology*, 113(3), 627-636
- DOHM – F. J. (1998): "The role of caffeine in exercise performance." *Journal of Sports Medicine*, 28(3), 189-197
- ERICA GOLDSTEIN – P. L. J. – M. W. – T. P. – J. A. (2010): „Caffeine enhances upper body strength in resistance-trained women” *BioMed Central Ltd.*
- GRASSI – D. (2008): "Caffeine and cardiovascular health: Mechanisms and effects." *Hypertension Research*
- GREDEN – J. F. (1995): "Caffeine and psychiatric disorders: A review." *Journal of Clinical Psychiatry*, 56(9), 33-39
- GREG WILLIAMS (2019): „Space-filling molecular model of caffeine”
- HITACHI (1984): "The Role of Caffeine in the Body." *Hitachi Medical Journal*
- JAMES – W. (2004): "The effects of caffeine on health: A review." *The British Journal of Nutrition*, 91(6), 831-836
- JONES – R. (2023): "Caffeine Consumption and Health Effects." *Nutritional Journal*
- JUAN DEL COSO et al. (2012): „Effects of a caffeine-containing energy drink on simulated soccer performance”
- JULIANO – L. M., & DEWITT – J. (2008): "Caffeine Use and Dependence: A Review of Research." *Addictive Behaviors*
- KAISER – J. (2019): "Caffeine and Athletic Performance." *Sports Science Review*
- LANDOLT – H. P. (1995): "Sleep and caffeine consumption: Effects on alertness and cognitive performance." *Sleep*, 18(5), 341-347
- LEGAS MUHAMMED B – H. S. M. – H. AT. (2021): „Determination of Caffeine and Hydrogen Peroxide Antioxidant Activity of Raw and Roasted Coffee Beans Around Habru Woreda, Ethiopia Using UV-Vis Spectroscopy” *Department of Chemistry, Woldia University, Woldia, Ethiopia*

- MACDONALD – S. (2017): "Caffeine and its influence on cognitive performance." *Journal of Cognitive Enhancement*, 2(4), 383-391
- MAGGIONI – F. (2019): "Caffeine and performance in endurance sports: A review." *Sports Nutrition Reviews*
- MCCARTNEY – A. (2004): "The effects of caffeine on endurance performance: A review." *Journal of Sports Science and Medicine*
- MILLER – K. K., & LOWE – M. A. (2019): "Caffeine in Exercise: Effects and Mechanisms." *Journal of Sports Medicine and Fitness*
- MILLER – S. (2019): "Caffeine and Its Impact on Cognitive and Physical Performance." *Psychopharmacology*
- NEHLIG – A. (2016): "Caffeine and Brain Function: Insights from Research." *Caffeine Journal of Neuroscience*
- NORTON – D. (1999): "Caffeine and its effects on the central nervous system." *Neurology*, 53(4), 688-694
- ROGERS – P. (2010): "The Impact of Caffeine on Sleep Patterns." *Sleep and Health Journal*
- SMIT – H., & ROGERS – P. (2000): "Caffeine and Cognitive Performance." *Human Psychopharmacology*
- SMITH – A. P. (2002): "Caffeine, cognition, and performance." *The International Journal of Neuroscience*, 112(6), 725-734
- SPRIET – L. (2014): "Caffeine and Physical Performance: A Review of the Evidence." *Sports Medicine*
- TANNER – R. K., & GORE – C. J. (2013): "Physiological Tests for Elite Athletes" (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics
- TELO – G., & VIEIRA – M. (1997): "Caffeine as a Stimulant." *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*
- UNIVERSITY OF DELAWARE – MAHONEY – P. (2019): "The Effect of Caffeine on Mental Performance." *University of Delaware Press*
- VEDANTU (2023): "Caffeine: Structure, Uses, and Effects."
- WHELTON – P. K. (2018): "Caffeine and hypertension: A review of the evidence." *Journal of Clinical Hypertension*, 20(2), 240-246
- WÜRTH – P. (2011): "Caffeine in the context of sports: A review of performance enhancement." *European Journal of Applied Physiology*, 111(5), 1111-1117
- ZHAO – H., SONG – Z., LIU – L., XU – Y., CAO – R., LAN – X., PAN – C., & ZHANG – S. (2022): "Caffeine-induced sleep restriction alters the gut microbiome and fecal metabolic profiles in mice." *International Journal of Molecular Sciences*, 23(23), 14837

Internetes hivatkozások:

– INTERNET 1: www.algoflex.hu