

Kognitiva förmågors påverkan av fysisk aktivitet

- Ett biokemiskt perspektiv



Simon Callas



Program: Ämneslärarprogrammet för gymnasiet med inriktning Kemi samt Idrott & hälsa

Uppsats/Examensarbete: 15 HP
Kurs: LGKE2G
Nivå: Grundnivå
Termin/år: HT/2017
Handledare: Marc Pilon
Examinator: Örjan Hansson
Kod: HT17-3140-001-LGKE2G

Nyckelord: BDNF, dopamin, fysisk aktivitet, GABA, HPA-axeln, kognition, NGF, noradrenalin, plasticitet, stress, signalsubstanser.

Abstract (sv)

Detta examensarbete behandlar huruvida fysisk aktivitet stärker hjärnans kognitiva förmågor och hur denna process går till, ur ett biokemiskt perspektiv. För att undersöka detta vidare granskas både naturvetenskapliga samt beteendevetenskapliga studier och forskningsresultat. Den naturvetenskapliga del som analyseras i detta arbete yrkar för att när fysisk aktivitet genomförs aktiveras kemiska processer i den mänskliga hjärnan som i sin tur påverkar kognitiva funktioner. Ett antal av dessa kognitiva funktioner har beskrivits och presenterats, vilka samtliga är nödvändiga för att uppnå goda studieresultat.

Abstract (eng)

This essay explores how physical activity affects the cognitive abilities in the human brain, from a biochemical perspective. This essay aims to explain if and how physical activity has an impact on cognitive abilities. To further this explanation, both scientific and behavioral research has been analyzed. The scientific research in this study argues that when physical activity is taking place there are chemical processes fired in the brain, improving one's cognitive abilities. A number of these cognitive abilities have been explained and presented. All of which are imperative for academic achievement.

1 Förord

Följande arbete är ett resultat av mitt examensarbete tillhörande min sjunde termin på ämneslärarprogrammet för gymnasiet, med inriktning kemi samt idrott & hälsa.

Inspiration till arbetet fick jag efter att ha läst boken "Hjärnstark – Hur motion och träning stärker din hjärna" skriven av Anders Hansen (2016), överläkare i psykiatri. Vad som slog mig var hur lite jag visste om ämnet sedan tidigare, vilket fick mig att fundera över varför ämnet i fråga hade fått så lite publicitet. Denna nyväckta nyfikenhet i sig, i kombination med att jag ansåg att ämnet ämnade sig väl för just mina studier gjorde att jag ville undersöka det mer.

Jag ansåg att innehållet ämnade sig väl för att det inkluderar både kemiska perspektiv, en anknytning till ämnet idrott & hälsa, samt har en stark koppling till skolans värld. Det sistnämnda då goda kognitiva förmågor i min mening är en nödvändighet för att uppnå goda studieresultat. Därutöver är skolan en plattform där det finns möjlighet att påverka mängden fysisk aktivitet hos barn och ungdomar.

Att ämnet i fråga verkar ha fått så lite publicitet anser Anders Hansen bero på att det inte finns någon ekonomisk vinning i att forska kring hur träning kan användas för att styrka hjärnan. Något som i kontrast, exempelvis kosttillskott eller olika spel som marknadsförs som "hjärnstyrkande" i större utsträckning kan motiveras med. Jag är benägen att hålla med om denna ståndpunkt, även om jag tror att om man bara vill så finns det en ekonomisk vinning även inom detta ämne, exempelvis genom en försäljning av träningsredskap och utbildningsprogram för fysisk aktivitet hos skolor och arbetsplatser.

Att belysa vikten av att vara fysiskt aktiv under vår tid där stillasittandet i allmänhet och hos ungdomar i synnerhet är större än någonsin anser jag vara högst relevant. Om resultatet av detta arbete dessutom visar att det finns kognitiva fördelar ökar relevansen av att undersöka detta ämne i min mening ytterligare.

I bästa fall hoppas jag att mitt arbete kan resultera i ett vetenskapligt motiv för att öka antalet obligatoriska och schemalagda timmar idrott & hälsa i skolan. Ett ämne som under senare tid fått mindre utrymme för att ge plats åt mer akademiska ämnen för att öka studieresultaten. Internationella mätningar så som PISA tyder dock på att de svenska skolresultaten har gått åt motsatt håll (Jävervall & Henrekson, 2016). Kanske kan det vara så att en nedskärning av antalet skoltimmar i de praktiska ämnena kan vara kontraproduktivt? Något som jag har förhoppningar om att kunna ta reda på i följande arbete.

Stort tack till Professor Marc Pilon och till samtliga kurskamrater, vars feedback och konstruktiva kritik har varit av högsta rang!

2 Innehållsförteckning

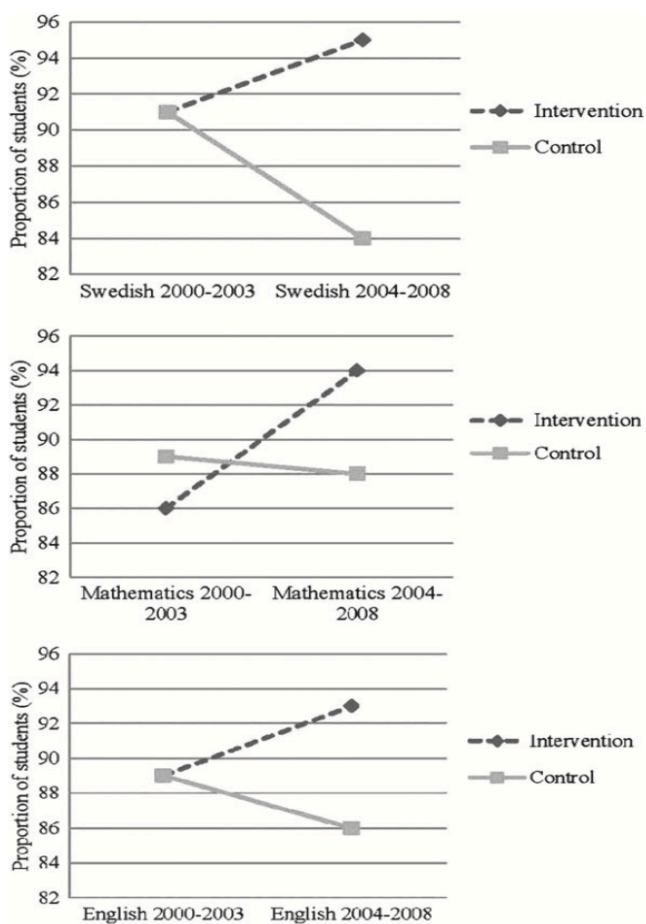
1	Förord	1
2	Innehållsförteckning	1
3	Begreppsförklaringar	2
4	Introduktion	2
5	Metod	4
6	Fysisk aktivitet och kognitiva förmågor	4
	6.1 Stresshantering	5
	6.2 Minnesförmåga	8
	6.3 Koncentrationsförmåga.....	11
	6.4 Uppmärksamhet	12
	6.5 Kreativitet	14
7	BDNF	16
	7.1 Plasticitet.....	19
8	Leptin	21
9	Signalsubstanser	22
	9.1 Serotonin	22
	9.2 Dopamin.....	24
	9.3 Noradrenalin.	27
	9.4 GABA	29
10	Diskussion	30
	10.1 Stresshantering	30
	10.2 Minnesförmåga	31
	10.3 Koncentrationsförmåga.....	32
	10.4 Uppmärksamhet	32
	10.5 Kreativitet	32
	10. 6 BDNF och plasticitet	33
	10.7 Avslutning.....	33
11	Referenslista	36

3 Begreppsförklaringar

- ATP - Adenosintrifosfat
- ACTH - Adrenokortikotropt hormon
- BDNF – ”*Brain-derived neurotrophic factor*”
- BRE - ”*Barron’s symbolic equivalence task*”
- cAMP – ”*Cyclic adenosine monophosphate*”
- CNV - Kontingenta negativa variation
- CRA – ”*Compound remote association test*”
- CRH - Kortikotropinfrisättande hormon
- CREB – ”*cAMP response element-binding protein*”
- EEG - Elektroencefalografi
- ERP - Händelserelaterad potential
- GAU – ”*Guolford’s alternate uses test*”
- GABA – Gammaaminosmörtsyra
- LTP – Långtidspotentiering
- MCI - Lindrig kognitiv störning
- NGF - Nervtillväxtfaktorer
- PC1 - Prohormon konvertas 1
- RRB - Retroburalfältet
- SNP – ”*Single nucleotid polymorphisms*”
- STAT – ”*Signal transducers and activators of transcription*”
- UCP2 – ”*Uncoupling protein 2*”
- VNTR – ”*Variable number tandem repeats*”
- VTA - Ventrala tagmentområdet
- WRAT3 – ”*Wide range achievement test 3*”
- SNc – ”*Substantia nigra pars compacta*”

4 Introduktion

Med hjälp av det senaste decenniets utveckling inom tekniska hjälpmedel har möjligheten att utforska hjärnan i en större utsträckning givits. Bland annat genom ”*Allen Brain Atlas*”, en databas där forskare verksamma inom olika områden kan bidra samt ta del av information inom hjärnforskning (Ball et al. 2012). Därmed har forskningen kunnat besvara flera oklarheter kring hur olika aktiviteter påverkar oss. Ett ämne som har fått möjlighet att granskas noggrannare i samband med denna utveckling är huruvida fysisk aktivitet kan påverka och främja våra kognitiva förmågor, och i så fall hur? Mycket forskning inom ämnet tyder på att fysisk aktivitet stärker de kognitiva förmågorna hos människan, och dessutom leder till en ökad motståndskraft mot stress. Dessutom visar forskning att fysisk aktivitet kan främja nyskapandet av hjärnceller. Dessa ovan nämnda effekter har med hjälp av forskning och diverse studier visat sig vara påtagliga både hos barn, ungdomar och hos vuxna. I denna text sammanställs och hänvisas olika vetenskapliga artiklar och forskningsresultat samt en mängd kemiska faktorer som aktiveras vid implementering av fysisk aktivitet kommer att analyseras.



Figur 1. Resultatutveckling mellan period ett och två i de tre undersökta ämnena. Svart kurva: elever med reglerad studieplan. Grå kurva: Elever från kontrollgrupper. Källa: (Käll, 2014).

undersökningar gjordes under två olika perioder: 2000 – 2003 samt 2004 – 2008, där den första perioden tog vid innan genomförd reglering av studieplanen och den andra undersökningen tog vid efter avslutad reglerad period. Studien visade på att den utökade mängden obligatorisk idrott & hälsa resulterade i förbättrade akademiska resultat i samtliga tre av de undersökta ämnena (se figur 1). Vad författarna dock inte belyser är varför denna förbättring sker, utan endast att så är fallet. (Käll, 2014)

I kommande del av denna artikel har fokus därmed varit att försöka styrka resultaten från ovan nämnd tvärsnittsstudie genom empiriska resultat från liknande studier och dessutom med studier inkluderande biokemiska förklaringsmodeller.

Sedan många år tillbaka har forskare genom olika tvärsnittsstudier, metaanalyser samt longitudinella studier undersökt hur fysisk aktivitet kan påverka de kognitiva funktionerna hos människor av olika åldrar. En av dessa studier är en tvärsnittsstudie som publicerades år 2013. I studien presenterades en undersökning utförd på två olika skolor i Mölndal där elever från förskoleklass till sjätte klass deltog. Dessa elever fick en reglerad studieplan, där mängden schemalagd idrott & hälsa nästintill fördubblades. Denna utökade mängd idrott & hälsa specificerades till att vara aktiverande, lekfull samt icke-tävlingsinriktad. Det valdes dessutom ut elever från tre andra skolor i samma åldrar, som fungerande som referensgrupper. I dessa referensgrupper förblev den schemalagda mängden idrott & hälsa oförändrad.

I studien undersöktes hur elevernas resultat i förhållande till lärandemålen i ämnena svenska, engelska samt matematik påverkades av denna reglering av studieplan. Dessa

5 Metod

Under detta arbete har det inledningsvis vidhållits en bred utgångspunkt där sökord som ”*excercise*” och ”*physical activity*” har kombinerats med exempelvis ”*cognition*” och ”*brain*” i databaser så som ”*Google scholar*” samt Göteborgs universitets biblioteksdatabas. Efterhand när innehållet har specificerats och blivit tydligare har sökorden kunnat begränsas utefter gällande underrubriker. I detta skede har sökorden istället kunnat anpassas till exempelvis kombinationen: ”*Physical activity*” och/eller ”*Excercise*” i kombination med ”*BDNF*”, ”*stress*”, ”*concentration*” eller ”*memory*”.

När sökresultat av relevant karaktär har uppdagats har dessa granskats närmre och som ett första steg har tillhörande ”*abstract*” undersökts i syfte att bekräfta relevansen. Har sökresultatet varit en ”*review*” eller en andrahandskälla av annat slag, har de förstahandskällor som refererats i denna ”*review*” i fråga och som dessutom varit av relevans för rådande arbete, uppsökts och vidare analyserats.

Arbetet har dessutom i största möjliga mån begränsats till att använda studier och artiklar som är av empirisk karaktär och med förklaringar som har en kemisk anknytning, snarare än en beteendevetenskaplig, även om vissa av det senare slaget har inkluderats som komplement.

Ett annat mål med arbetet har varit att ge en nyanserad bild av ämnet. Därför har studier från olika länder och berörande olika ålderskategorier inkluderats. Utöver detta har det även varit ett krav att de studier som använts ska vara av en vetenskaplig karaktär med högsta pålitlighetsgrad, där exempelvis yttre faktorer har uteslutits, diverse indelningar av testgrupper bör ha skett på ett representativt och genomtänkt vis. Studierna bör dessutom vara standardiserade med möjlighet till återupprepning, samt att studier inkluderande djurförsök ska följa de etiska regler och normer som existerar.

6 Fysisk aktivitet och kognitiva förmågor

Fysisk aktivitet har visat sig ha möjligheter att stärka kognitiva förmågor och i förlängningen även akademiska prestationer (Hong et al., 2012). Kognitiva förmågor är ett begrepp som inkluderar de mentala processer som bidrar till människans förmåga att ta till sig information som därefter överförs till nya kunskaper. Tillhörande dessa kognitiva förmågor hör minnesbildning, kreativitet, stresshantering, samt koncentrations- och inlärningsförmågor. Med andra ord är det i stor utsträckning våra kognitiva förmågor som styr vår intelligens (Hansen. 2016).

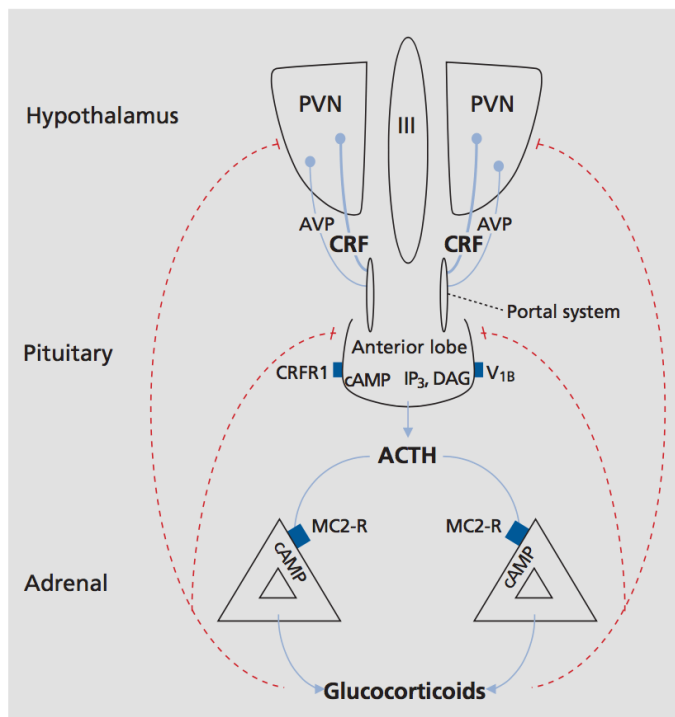
Flertalet studier tyder på att fysisk aktivitet är ett av de medel som människan kan använda sig av för att främja dessa kognitiva förmågor. I de kommande avsnitten presenteras olika studier indelat utefter ovannämnda kognitiva funktioner för att ge en strukturerad och tydlig bild gällande den fysiska aktivitetens inverkan på det området i sig.

6.1 Stresshantering

Den mänskliga kroppen kan utsättas för antingen inre eller yttre stressfaktorer, den känsla som uppstår i dessa stunder är vad som i regel kallas för stress. När stress infaller aktiveras främst tre delar i kroppen: den paraventrikulära kärnan i hypothalamus, den främre loben i hypofysen och binjurebarken. Dessa tre delar utgör den så kallade HPA-axeln ("stressaxeln"). När stress uppstår utsöndras kortikotropinfrisättande hormon (CRH) från den paraventrikulära kärnan. CRH transporteras via det hypofyseala portalsystemet och når därefter hypofysen. CRH binds slutligen till G-proteinkopplade receptorer som signalerar att det adrenokortikotropa hormonet (ACTH) ska frisättas, vilket i sin tur når binjurebarken. I binjurebarken reglerar ACTH frisättningen av kortisol, adrenalin och noradrenalin genom det autonoma nervsystemet (se figur 2) (Börjesson & Jonsdottir, 2010).

Kortisol är ett steroidhormon som reglerar och påverkar flera funktioner i kroppen. Däribland kardiovaskulära funktioner, immunsystemet, ämnesomsättning och inte minst det mänskliga beteendet. Vid långvarig stress kan kortisolnivåerna i kroppen bli både för höga och för låga, vilket därmed kan skada minnesbildning samt försämra vårt immunförsvar. I kontrast kan kortvarigt förhöjda kortisolnivåer istället stärka ovan nämnda funktioner. Med andra ord kan stress ha en både positiv och negativ inverkan på hälsan (Du et al., 2014). Enligt T. McMorris med flera (2008) kan det vid stress uppstå en effekt där det limbiska systemet och prefrontala cortex konkurrerar om resurser, i form av ATP, vilket i förlängningen kan leda till försämrande kognitiva resultat (McMorris et al., 2008).

Vid fysisk aktivitet aktiveras kortisol, adrenalin och noradrenalin. Det vill säga samma hormoner som är aktiva vid stress. Detta faktum innebär att den reaktion som uppstår i samband med fysisk aktivitet har en viss liknelse med den reaktion som sker då stress uppstår.



Figur 2. Illustration av HPA-Axeln och dess komponenter. Källa: (Sean M. Smith, 2006)

En faktor som dock skiljer fysisk aktivitet från andra stressframkallande intryck, så kallade stressfaktorer är enligt M. Börjesson och I. Jonsdottir (2010) att fysisk aktivitet minskar kärllmotståndet i kroppen, medan stress har påvisats kunna öka detsamma.

Forskning visar även att regelbunden fysisk aktivitet kan stärka motståndskraften och förmågan att hantera en ökad mängd stresshormoner. Enligt M. Börjesson och I. Jonsdottir (2010) är påverkan från fysisk aktivitet på den mänskliga HPA-axeln en komplex reaktion som kan ha olika utgångar, beroende på ett antal variabler, däribland den fysiska aktivitetens intensitet samt under vilken tid på dygnet den utövas (Börjesson & Jonsdottir, 2010).

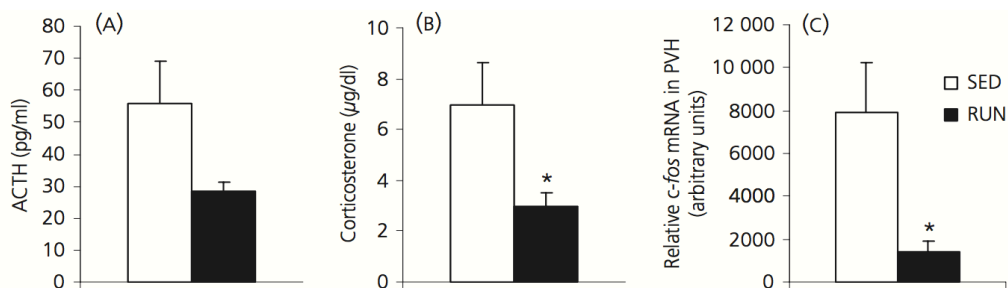
I en longitudinell studie vid namn ”*The Copenhagen City Heart Study*” som utfördes år 2004, påvisades ett samband mellan fysisk aktivitet och en ökad förmåga hos de deltagande att hantera stress. I denna studien definierades stress utefter givna exempel av känslor så som att känna sig: ”spänd”, ”nervös”, ”otålig”, ”ångestfylld” samt att erfara ”sömnsvårigheter” (mina översättningar) (Schnohr. 2005). Den första utvärderingen av studien gjordes år 1976 – 1978 med 14223 slumpmässigt utvalda deltagare i åldrarna 20 – 93 år. Inledningsvis fick de deltagande besvara ett självutvärderingsformulär bestående av frågor angående deras fysiska aktivitet, samt hur deras olika vanor såg ut gällande rökning och alkoholkonsumtion. De fick även besvara frågor gällande deras socio-ekonomiska status. Frågorna angående den fysiska aktiviteten graderades på en fyrvärdig skala, där (1) var lägsta möjliga deltagande i någon form fysisk aktivitet och (4) var högsta möjliga deltagande i någon form av fysisk aktivitet.

I den efterföljande utvärderingen, som utfördes år 1981-1983 inkluderades två stressrelaterade frågor som löd: ”*How often do you feel stressed?*” (Schnohr. 2005, s. 108) samt ”*How satisfied have you been with your life within the last year?*” (Schnohr. 2005, s. 108). Frågorna graderades utefter en likartad fyrvärdig skala som frågorna i den första utvärderingen där (1) var lägsta tänkbara och (4) var högsta tänkbara. Resultatet av studien visade framförallt en förhöjd stressnivå hos individer tillhörande den mer stillasittande skaran, medan de fysiskt aktiva i allmänhet och de som ägnade sig åt löpning av en mer ansträngande grad, i synnerhet hade de lägsta stressnivåerna. Dessa resultat tyder enligt P. Schnohr (2005) med flera på att intensiteten av den fysiska aktiviteten kan vara relevant för stressnivån. Ett faktum som även bekräftas av andra forskare, så som Biddle (2000) och Börjesson & Jonsdottir (2010).

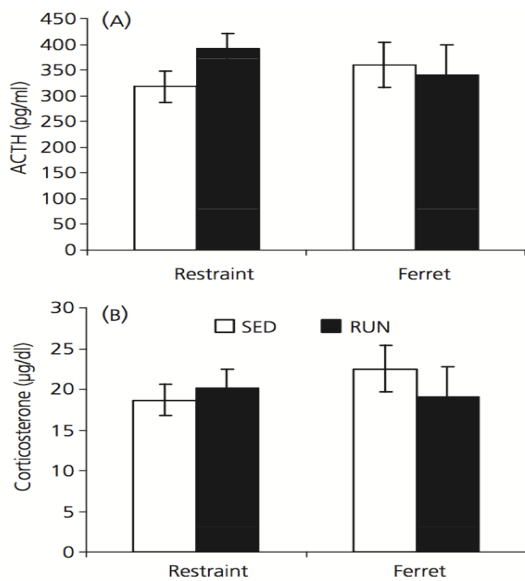
I flera studier där korrelationen mellan fysisk aktivitet och dess påverkan på HPA-axeln har undersökts har optiskt densitometri används för att granska transkriptionsfaktorn c-Fos. Optisk densitometri är en metod där den kvantitativa tätheten hos en substans avmätts i det område i hjärnan som är av intresse. Att rikta fokus mot just c-Fos är relevant i detta sammanhang, då c-Fos är en transkriptionsfaktor som indikerar neuronaktiviteter. Denna metod nyttjades bland annat i en studie utförd av T.H Lee med flera (2003) där resultatet visade att intensiteten av den fysiska aktiviteten var av stor betydelse, då en högre träningsintensitet visade indikationer på högre c-Fos-värden och därmed en högre neuronaktivitet.

Samma metod användes i ett experiment som återges av Campeau med flera (2010). I denna studie undersöktes HPA-aktivitet hos råttor i samband med fysisk aktivitet, mer specifikt vid kontrollerad hjullöpning. Efter avslutad period av råttornas fysiska aktivitet avmättes deras ACTH- samt kortisolvärden (se figur 3 & 4). Denna studie inkluderade sju olika delexperiment med varierande förutsättningar och variabler. De tre första delexperimenten tog vid under en sexveckorsperiod där jämförelser mellan inaktiva och fysiskt aktiva grupper av råttor genomfördes. I dessa tre experiment utsattes de deltagande råttorna för olika lågintensiva stressfaktorer. Den första stressfaktorn bestod av att råttorna förflyttades till en ny och sedan tidigare obekant miljö (se figur 3). I det andra experimentet var stressfaktorn istället bestående av en saltinjektion och slutligen, i det tredje experimentet bestod denna faktor av att råttorna placerades i en ljudkammare där de utsattes för 85 decibel (dBA) ljud av obehaglig karaktär under 30 samt 60 minuter. I det fjärde experimentet användes samma stressfaktor som ovan, men med syfte att undersöka inverkan av träningsperiodens längd. Därför undersöktes och vidare jämfördes råttor som förhöll sig fysiskt aktiva under antingen 1, 3 eller 6 veckor. Det femte experimentet avsåg att undersöka vilken påverkan fysisk aktivitet som genomfördes simultant med ovan nämnda stressfaktor hade på HPA-axeln.

Detta till skillnad från tidigare utförde experiment där stressfaktorn applicerades innan och efter genomförd fysisk aktivitet. Efterföljande experiment undersökte HPA-axeln när råttorna endast hade tillgång till att fysiskt aktivera sig i det installerade hjulet, under 24 av 72 timmar. Resterande del av tiden monterades en låsanordning på detta hjul. I det sista experimentet var träningsperioden av samma längd som de tre första experimenten, men med en korrigerad stressfaktor som istället definierades som högintensiv. Denna stressfaktor bestod av att de inaktiva samt fysiskt aktiva råttorna placerades enskilt i en begränsad yta, varefter de utsattes för en odör tillhörande ett skräckinjagande djur, mer specifikt en iller (se figur 4). Sammantaget resulterade experimenten i att både träningsperiodens längd och intensiteten på stressfaktorerna var avgörande för utslaget på HPA-axeln hos råttorna.



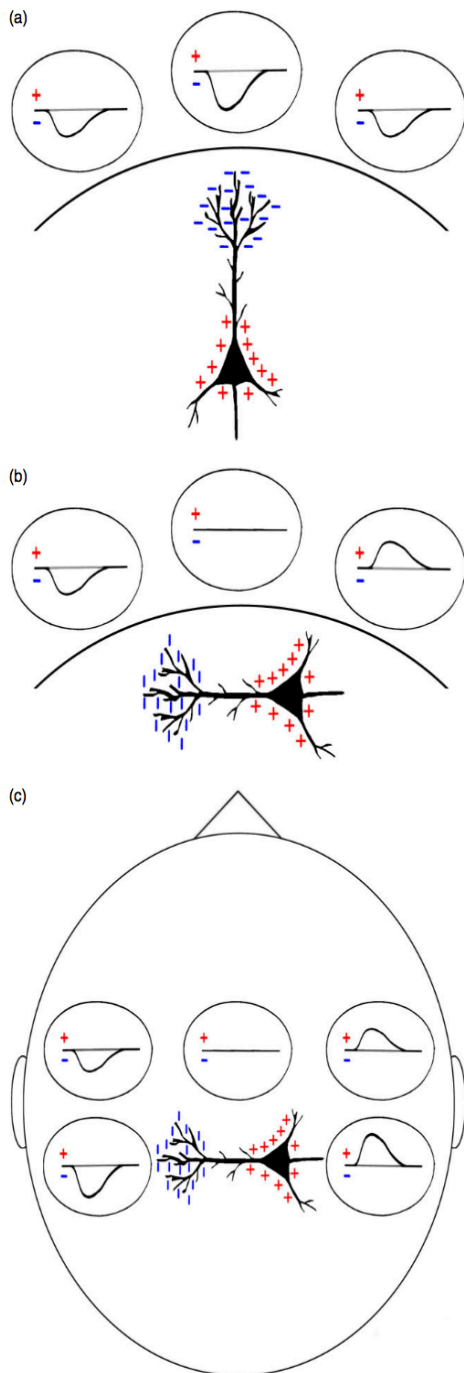
Figur 3. Jämförelse mellan inaktiva och fysiskt aktiva råttor på substansernas nivåer vid experiment 1. Vit pelare: Inaktiva råttor. Svart pelare: fysiskt aktiva råttor. A. Mängden ACTH (pg/ml). B. Mängden kortisol (µg/dl). C. c-Fos-aktivitet i paravent



Av studien och från slutsatser från det fjärde delexperimentet går att avläsa att en träningsperiod som tog vid under minst sex veckor var nödvändig för att den fysiska aktiviteten skulle ha en hämmande effekt på HPA-axelns aktivitet. Vid en träningsperiod av ett kortare slag kunde ingen påverkan på råttornas HPA-axel påvisas. Det gick dessutom endast avläsa en hämmande effekt av HPA-axeln i de fall där stressfaktorn var av ett lågintensivt slag, till skillnad från de fall då faktorn var av en högintensiv karaktär. Enligt Campeau med flera (2010) är formen av den fysiska aktiviteten mindre avgörande i detta sammanhang, medan träningsens längd samt intensitet är av större vikt.

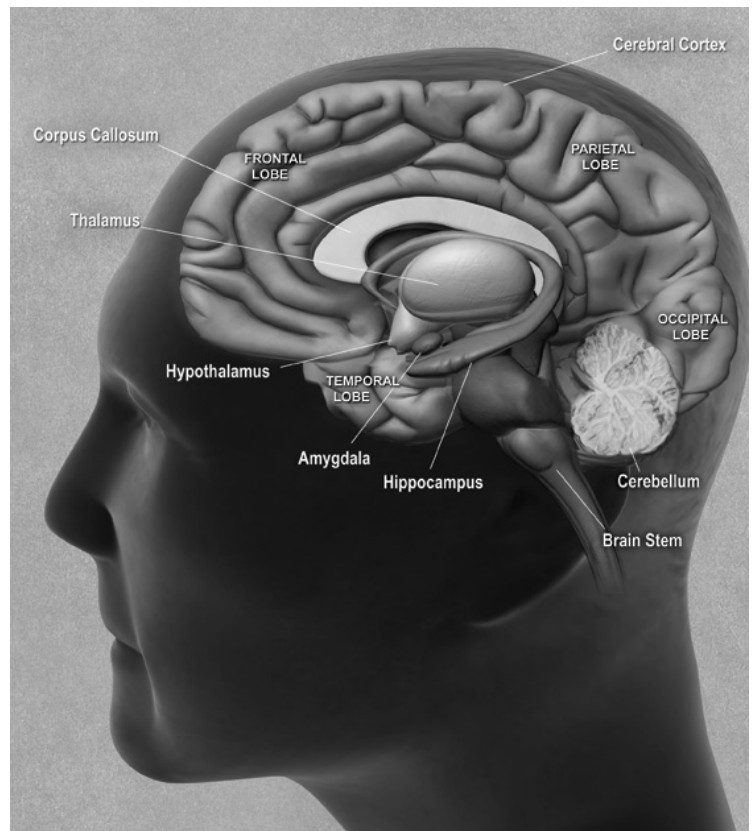
Figur 4. Jämförelse mellan inaktiva och fysiskt aktiva råttor vid experiment 7. Vit pelare: Inaktiva råttor. Svart pelare: fysiskt aktiva råttor. A: Nivåer av ACTH (pg/ml). B: Nivåer av Kortisol (µg/dl). Källa: (Campeau et al., 2010)

6.2 Minnesförmåga



Figur 5. Illustration av EEG. a) Tangentiell dipol. b) Radiell dipol. c) Illustration av både positivt & negativ deflektion.
Källa: (Jackson and Bolger, 2014)

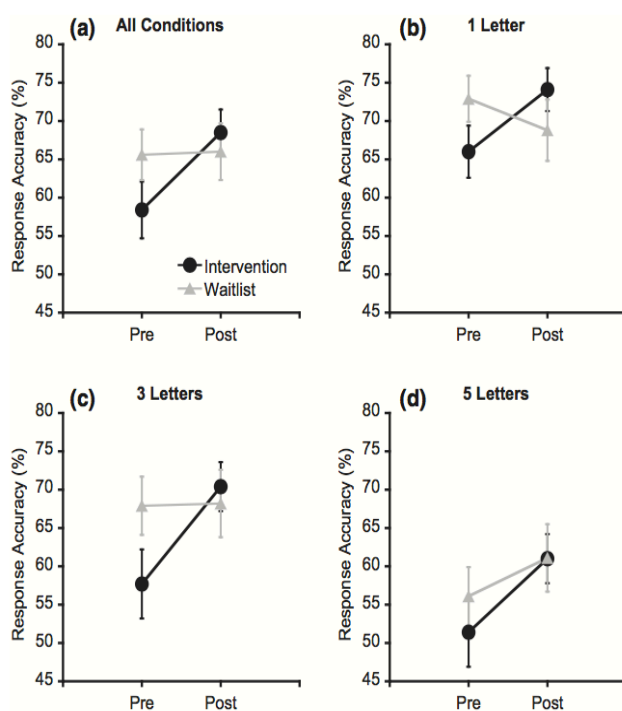
avmäta den totala laddning som uppstår i ett flertal neuroner som är lokaliserade inom ett visst område. EEG har dessutom inte någon möjlighet att avläsa huruvida en signal är hämmande eller stimulerande, utan endast storleken på denna signal och om dess dipol är av tangentiellt, eller radiellt slag (se figur 5) (Jackson & Bolger, 2014).



Figur 6. Illustration av den mänskliga hjärnan och dess delar. Källa: : Newsmedical, 2013.

I en studie utförd av Kamijo med flera, år 2011 användes metoden Kontingent negativ variation (CNV), som är en händelserelaterad potential (ERP) och som kan användas i samband med elektroencefalografi (EEG). EEG är ett verktyg för att avläsa elektrisk aktivitet i hjärnbarken. Aktiviteten avläses med hjälp av elektroder som dokumenterar summan av de positiva och negativa laddningar som uppstår i elektrodernas kringliggande områden. Anledningen till att det går att avmäta laddningsskillnader är för att tillfälliga dipoler uppstår i de postsynaptiska neuronerna. Elektroderna kan dock inte avläsa laddningsskillnader som uppstår i enstaka neuroner, då dessa är för små, utan kan endast

Metoden användes i syfte att avläsa hur olika individer tolkar ett stimuli samt hur deras agerande med avseende till detta stimuli kan påverkas av kardiovaskulär (pulshöjande) träning. Till hjälp användes ”Sternberg task” som är en uppgift bestående av tre deltest. I dessa test ska ett, tre samt fem objekt observeras och memoreras under en bestämd tid, för att därefter återges vid en signal. Simultant med de objekt som ska återges uppvisas en mängd objekt som enligt en specifik markering instrueras att ignoreras och som därmed ej behöver memoreras eller återges (Sternberg, 1966). Testet togs fram av Saul Sternberg i avseende att testa kvalitet samt kvantitet av arbetsminnet hos människor. Testgruppen i denna ovannämnda studien bestod av totalt 26 personer, 7 – 9 år gamla, varav 13 av dessa 26 fick genomföra ett dagligt träningspass efter avslutad skoltid. De övriga 13 deltagande var förhållandevis inaktiva. träningspasset i fråga fokuserade främst på kardiovaskulär träning där syftet var att befinna sig i spannet av en måttlig till kraftig ansträngningsgrad. Denna ansträngningsgrad kontrollerades med hjälp av ständiga avmätningar av testdeltagarnas hjärtfrekvenser. Testpersonerna fick därutöver testa sin maximala syreupptagningsförmåga med hjälp av ett VO₂-Maxtest, för att se hur denna syreupptagningsförmåga förändrades under studiens gång och om detta i sin tur hade någon påverkan på utgången av ”Sternberg task”.



Figur 7. Medelvärde av procentuell andel korrekta svar på ”Sternberg task” hos den tränande gruppen (svart kurva) samt detsamma hos den icke-tränande gruppen (grå kurva). a) medelvärde av samtliga tre deltest. b) deltest med ett objekt. c) deltest med tre objekt. d) deltest med fem objekt. Källa: (Kamijo et al., 2011).

Den kontigenta negativa variation (CNV) som användes i studien är bestående av två komponenter: Dels iCNV som är den initiella CNV'n (”initial CNV” eller ”O-wave”) samt tCNV som är den slutgiltiga CNV'n (”terminal CNV”). iCNV är kopplad till stimulansorientering, medan tCNV är kopplad till agerandet eller förberedelsen som uppstår inför samma stimuli. CNV-amplituden avmättes före samt efter tidigare nämnd träningsperiod, och samtidigt avmättes denna amplitud hos de 13 inaktiva deltagarna. De huvudsakliga resultaten uppvisade en ökad iCNV-amplitud vid de främre centralt placerade elektroderna hos de 13 testpersoner som fick genomföra det dagliga träningspasset. Denna utökade amplitud indikerar att en ökad neuronaktivitet i dessa främre placerade områden i hjärnan har tagit vid. Hos den grupp individer som inte deltog i de fysiska momenten

uppvisades dock ingen förändring i iCNV-amplitud i varken dessa, eller övriga områden som undersöktes. Studien resulterade även i en betydligt lägre amplitud av tCNV hos den mer vältränade gruppen än hos den mindre tränade gruppen, vilket enligt Kamijo med flera (2011) indikerar att mer vältränade individer, i avseende till maximal syreupptagningsförmåga, kan upprätthålla en större mängd väsentlig information i sitt arbetsminne. Detta i jämförelse med mindre tränade individer i samma avseende. Dessa empiriska resultat överrensstämmer med de resultat som uppvisades av samma testdeltagare på ”Sternberg task”. Det vill säga, för den fysiskt aktiva testgruppen uppvisades ett större antal korrekta svar, likväl som en kortare

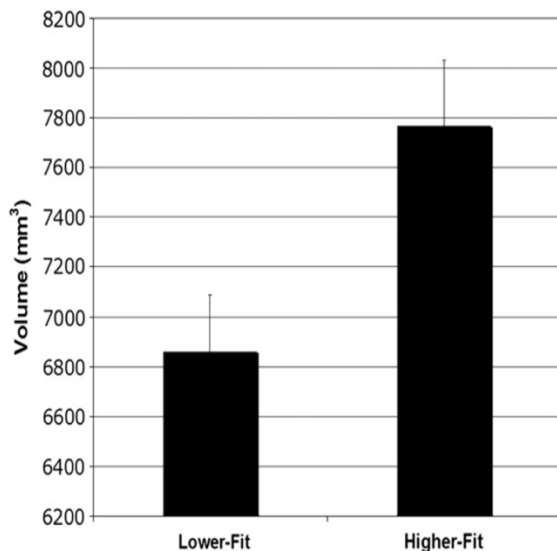
testtid i jämförelse med den inaktiva testgruppen. Kamijo med flera (2011) hävdar att dessa resultat samt denna förkortade svarstid, tyder på ett förbättrat arbetsminne hos de individer som sysselsätter sig med fysiska aktiviteter av kardiovaskulärt slag. (se figur 7). (Kamijo et al., 2011).

Kamijo med fleras studie påvisar därutöver att amplituden hos tCNV ökar med åldern, vilket de menar är ett resultat av att arbetsminnet försämras. Denna slutsats är i enlighet med vad Erickson med flera (2011) påvisar i sina studier. Erickson med flera menar att människors hippocampus, det vill säga den del av hjärnan som är vital för minnesförmåga och många andra kognitiva funktioner, krymper med åldern. En förminskning av hippocampus kan även leda till en ökad risk för sjukdomar som påverkar människan kognition, så som demens och alzheimers sjukdom (Erickson et al., 2011).

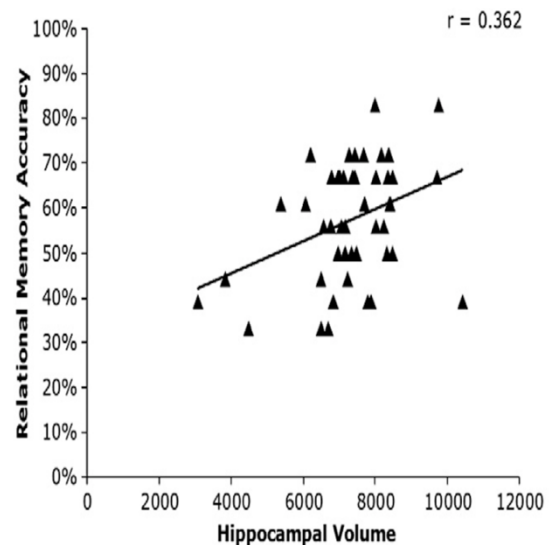
I en studie utförd av just Erickson med flera (2011) konstaterades att denna förminskning kan åtgärdas, och att till och med en utökning av volymen av samma område kan ske i samband med fysisk aktivitet. En sådan effekt fördes i bevis när 120 vuxna testdeltagare fick sin storlek på hippocampus undersökt, innan samt efter genomförd period av fysisk aktivitet. Analys med hjälp av MRI visade att hippocampus storlek hade ökat med i genomsnitt 2% i både vänster och den höger hippocampus som återfinns i vardera halva av den mänskliga hjärnan. Simultant sjönk storleken på hippocampus i den kontrollgrupp som var förhållandevis inaktiva. Detta resultat ansågs ha ett samband med en ökad frisättning av nervtillväxtfaktorn ”*brain-derived neurotrophic factor*” (BDNF) i hjärnan. Träningsperioden som genomfördes i denna studie, varade under en ett år lång period och var av aerobisk (syrerik) karaktär. MRI utfördes även på nucleus caudatus (svanskärnan) samt på talamus, men ingen signifikant storleksförändring uppvisades av dessa delar av hjärnan. Studien visade även att den kvantitativa mängden träning som genomfördes var relevant för hur stor storleksförändringen på hippocampus var. Det gick även avläsa ett mönster där de som hade den största förminskningen av hippocampus var de individer som innehade den sämsta fysiska statusen, i avseende till de VO₂-maxtester som genomfördes. Studien kunde dock inte påvisa någon förändring i de testade serum-nivåerna av BDNF för den tränande gruppen i jämförelse med kontrollgruppen. Trots detta ansåg Erickson med flera (2011) att eftersom BDNF är en bakomliggande orsak till cellförökning i hippocampus och att hippocampus ökade i storlek, så bör det således finnas en koppling till mängden BDNF som frisattes. Studien resulterade slutligen i att den ett år långa testperioden i sig inte kunde uppvisa någon större förbättring av testdeltagarnas arbetsminne, men att de som redan var i bättre fysisk form innan testerna inleddes var de som hade det bästa arbetsminnet även vid avslutad testperiod (Erickson et al., 2011).

Resultaten i ovanstående studie är överrensstämmande med de slutsatser som återfanns i en studie publicerad år 2010, där sambandet mellan minne, fysiskt aktivitet och storleksförändringen av hippocampus undersöktes (Chaddock et al., 2010). Denna studie utfördes på 49 skolbarn i Illinois i åldrarna 9 – 10 år. Efter att undersökningar av socioekonomisk status, mentalt välmående, intelligens (IQ) och ett antal andra komponenter hade utförts i avseende att utesluta oönskade faktorer, så delades dessa 49 testdeltagare in i två grupper. Denna gruppindelning gjordes utefter deltagarnas maximala syreupptagningsförmåga, vilket testades med hjälp av VO₂-maxtest i samband med löpning. De två gruppindelningarna gjordes utefter definitionerna ”mindre tränade individer” samt ”mer tränade individer”. Därefter jämfördes de båda grupperna i avseende till genomsnittlig storlek på hippocampus, samt resultat på minnesassocierade tester där ett antal slumpmässiga objekt skulle identifieras, memoreras och återges.

Testet påvisade ett tydligt samband mellan de tre faktorerna, där de mer vältränade deltagarna hade betydligt större genomsnittligt hippocampus (mm^3) och denna grupp deltagare presterade dessutom bättre på minnestesten (se figur 8 & 9) (Chaddock et al., 2010).



Figur 8. genomsnittlig storlek på Hippocampus i mm^3 .
Källa: (Chaddock et al., 2010)



Figur 9. procentuellt resultat på minnestest, i förhållande till storlek på hippocampus Källa: (Chaddock et al., 2010)

6.3 Koncentrationsförmåga

Fysisk aktivitet har under vissa omständigheter används för att främja koncentrationsförmågan hos personer med ”*attention deficit hyperactivity disorder*” (ADHD). I en studie publicerad år 2015 (Silva et al., 2015) undersöktes de vetenskapliga beläggen för att just fysisk aktivitet skulle ha en positiv inverkan på koncentrationsförmågan hos individer med denna diagnos. De barn som deltog i studien fick genomföra det specifikt framtagna spelet ”*Raiders of the Lost Treasure*” som har i åsikt att undersöka just koncentrationsförmågor. 28 frivilliga testpersoner fick genomföra ett träningspass bestående av 5 minuters intensiv löpning, följt av 5 minuters vila innan de genomförde ovan nämnt spel. 14 av dessa 28 individer var diagnostiserade med ADHD. Parallellt genomförde en kontrollgrupp bestående av 28 andra testpersoner samma dataspel, även här var 14 stycken diagnostiserade med ADHD. I denna grupp genomfördes inget träningspass innan genomförande av dataspellet. Spelet i fråga krävde full koncentration och tiden det tog för testpersonerna att genomföra detta spel dokumenterades. Resultaten visade att de individer med en ADHD-diagnos som hade genomfört det intensiva träningspasset innan de utförde spelet kunde uppvisa 30.52% bättre resultat än de med diagnos som var inaktiva innan utförandet av spelet. Silva med flera (2015) anser att dessa förbättrade prestationer är ett resultat av en ökad frigörelse av neurotransmittorer så som serotonin, dopamin och noradrenalin, vilka påverkar bland annat humöret, välmående och förmågan att hantera stress (Silva et al., 2015).

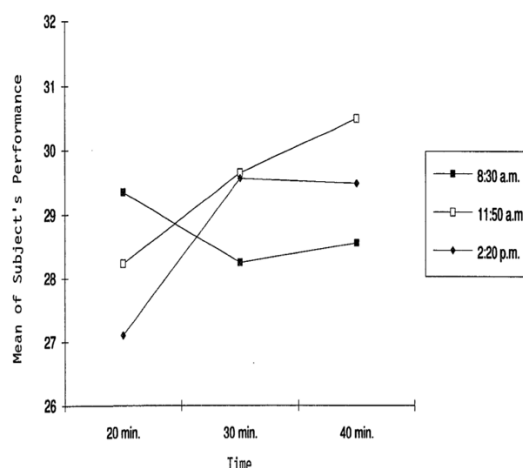
Ovanstående resultat är dessutom i enlighet med en studie utförd år 1993 av Dennis Lee McNaughten, där en undersökning av hur varierande aerobisk träningsmängd samt intensitet kan påverka koncentrationsförmågan hos elever tillhörande sjätteklass. Mer specifikt

undersöktes deras koncentrationsförmåga i samband med mattelektioner som var schemalagda vid olika tidpunkter på dygnet. 120 elever deltog i studien och blev fördelade över fyra grupper med lika många elever i varje grupp. Dessa grupper bestod av två testgrupper samt två kontrollgrupper. Studien tog vid under en tre veckors period, där eleverna tillhörande de två testgrupperna fick aktivera sig i form av gång med en ansträngningsgrad som kontrollerades kontinuerligt och avsågs att konstant kvarstå på 120 – 140 slag per minut. Träningspassen tog vid under 20, 30 och 40 minuters intervaller under tre olika tillfällen under skoldagen. Mer specifikt vid klockan 8.30, 11.50 samt 14.20 (se figur 10). Efter avslutad fysisk aktivitet fick deltagarna genomföra ett 90 sekunders långt test av matematisk problemlösningskaraktär där 40 frågor skulle besvaras i avseende att avmäta elevernas matematiska förmågor samt deras koncentrationsförmåga i samband med fysisk aktivitet.

De mest utmärkande resultaten uppvisades på de test som genomfördes efter de två längre träningspassen och framförallt när de hade utförts under två senare klockslagen. Vid dessa test uppvisades signifikant förbättrade resultat i jämförelse med kontrollgrupperna. Således anser McNaughten (1993) att träningsintervallens intensitet, längd, och dess tidpunkt kan inverka på koncentrationsförmågan och därmed på elevernas prestationer på matematiska tester (se figur 11) (McNaughten, 1993).

		Tuesday	Wednesday	Thursday
Week 1	All times	Pre-test	(no exertion)	
Week 2	8:20 a.m.	30 min. walk/test	40 min. walk/test	20 min. walk/test
Week 3	11:00 a.m.	40 min. walk/test	20 min. walk/test	30 min. walk/test
Week 4	2:20 p.m.	20 min. walk/test	40 min. walk/test	30 min. walk/test
Week 5	All times	Post-test (no exertion, all groups)		

Figur 10. Schema över elevernas tränings- samt testtider på matematiska test, (totalpoäng 40).
Träningsperiodernas intervall.



Figur 11. Y-axel: medelvärde av elevernas resultat
X-axel:

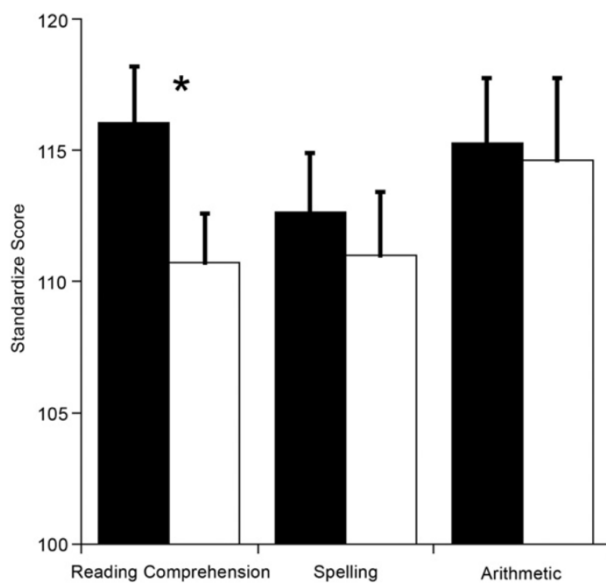
6.4 Uppmärksamhet

För att vara uppmärksam krävs en förmåga att kunna isolera yttre distraherande stimuli. Detta är en förmåga som enligt Hillman med flera (2009) kontrolleras av framförallt prefrontalloben, temporalloben och parietalloben. Denna isolerande förmåga att bibehålla uppmärksamhet till den rådande och relevanta uppgiften testades i studien ”*The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children*” (2011). Till hjälp användes ett ”*Eriksen flanker task*”, vilket är ett test bestående av en rad pilar, som deltagarna så snabbt som möjligt ska analysera och därefter urskilja åt vilket håll pilen i mitten pekar åt. Tester är uppdelat i olika fraktioner och om samtliga pilar pekar åt samma

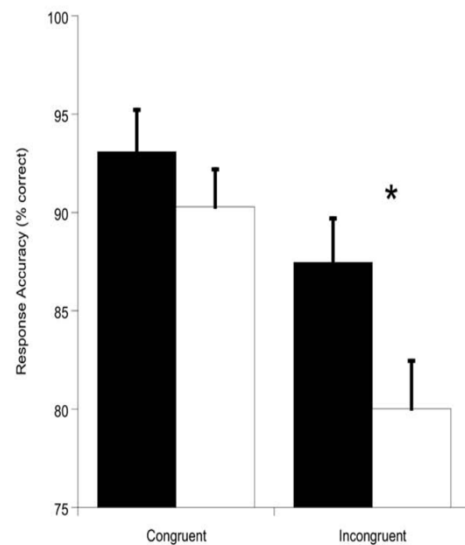
håll, definieras fraktionen som kongruent, pekar pilarna däremot åt olika håll definieras fraktionen som inkongruent ” (Kopp et al., 1996).

Testet i fråga avmäter antalet korrekta svar, samt svarstiden. En kontroll av deltagarnas socioekonomiska status samt fysiska och psykisk hälsa genomfördes för att ta fram en homogen testgrupp där yttre påverkningsfaktorer kunde uteslutas. Samtliga deltagare var dessutom högerhänta av den anledningen att studier tyder på att olika fattning aktiverar olika delar av hjärnan, där generellt sätt högerhänta har lättare att utveckla kunskaper anknutna till vänster hjärnhalva, medan vänsterhänta har lättare att utveckla kunskaper anknutna till höger hjärnhalva. Utöver att deltagarna genomförde ett ”*Eriksen flanker task*” för att undersöka deras uppmärksamhet, så genomfördes även ett ”*Wide range achievement test 3*” (WRAT3) som undersöker deltagarnas akademiska kunskaper inom tre områden: läsförståelse, skriftliga förmågor samt matematiska förmågor. Detta test mäter hur många korrekt uttalade ord, hur många korrekt stavade ord samt hur många matematiska problem en individ kan avklara inom en viss tidsperiod (Robertson, 2010). Dessa två test gjordes efter att ett träningspass bestående av 20 minuters gång på ett löpband, med en intensitet på i snitt 60% av maxpuls hade genomförts. Den maximala syreupptagningsförmågan uppmättes med hjälp av ett VO₂-maxtest, i samband med att testpersonerna fick springa på löpbandet med en 2.5% hastighetsökning varannan minut till en total utmattning uppstod

Utöver ”*Eriksen flanker task*” och WRAT3 genomfördes därutöver en analys av testdeltagarnas endogena P3-potentialer. P3 är likt CNV en händelserelaterad potential som avmäts genom EEG. P3 påvisar en människas reaktion till ett stimuli (Polich, 2007). Mätningen användes för att avläsa nervcellers signaler och aktivitet i samband med kardiovaskulär (pulshöjande) träning, för att se hur denna sorts träning kan inverka på de kognitiva förmågorna hos testpersonerna. Studien påvisade att de med bättre kondition kunde uppvisa både en större P3-amplitud, samt en kortare reaktionstid enligt analys av potentialen. Enligt studien tyder detta resultat på att kardiovaskulär träning kan leda till en bättre uppmärksamhetsförmåga samt förbättrade kognitiva förmågor. Dessutom uppvisades positiva resultat på framförallt läsförståelsedelen av WRAT3-testen, när den undersöktes direkt efter genomförd fysisk aktivitet (se figur 12). Gällande ”*Flanker task*” kunde även här uppvisas en positiv korrelation mellan testresultaten och deltagarnas fysiska status. Framförallt i de fall där testet i fråga innehöll inkongruenta fraktioner (se figur 13). Hillman med flera menar på att de inkongruenta testerna kräver en ökad förmåga att isolera yttre stimuli för att fokusera på den relevanta informationen, i förhållande till de kongruenta fraktionerna. De hävdar därmed att en fysisk aktivitet framförallt kan ha en främjande effekt vid mer komplexa uppgifter som kräver en högre grad isolerade förmåga av yttre stimuli (Hillman et al., 2009).



Figur 12. Resultat på WRAT3-test. Svart pelare: Efter genomförd fysisk aktivitet. Källa: (Hillman et al., 2009)



Figur 13. Resultat under "Flanker task". Svart pelare: Efter genomförd fysisk aktivitet. Vit pelare: genomförande vid vila. Källa:(Hillman et al., 2009)

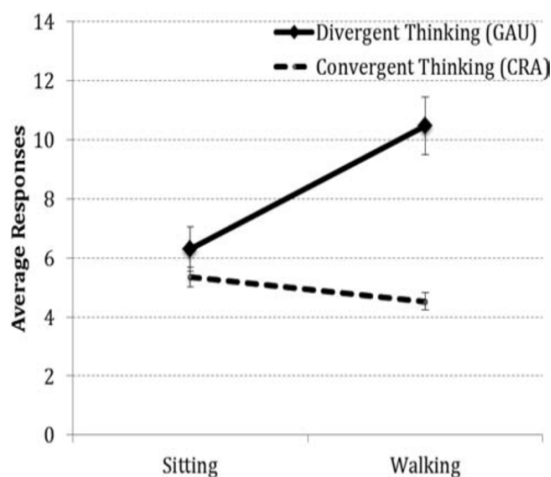
6.5 Kreativitet

Att fysisk aktivitet kan ha en positiv inverkan på det kreativa tänkandet är en hypotes som bland annat undersöktes av Opezzo och Schwartz (2014). I studien poängterar författarna att ett kreativt tänkande är värt att försöka främja då det har positiv inverkan på bland annat arbetslivet, som medel för att underhålla relationer och för att kunna vidhålla en god psykisk hälsa. Att definiera kreativitet kan anses komplicerat, men i denna studien använde man sig av en definition som innebar att kreativitet betecknas av nyskapande idéer som är av relevans för det rådande ämnet. Kreativt tänkande anses i studien även vara synonymt med ett divergent tänkande (Opezzo & Schwartz, 2014)

Studien som genomfördes jämförde det kreativa tänkandet hos en grupp inaktiva individer med en grupp fysiskt aktiva individer. Studien delades upp i fyra olika delexperiment där den första bestod av följande:

Deltagarna fick genomföra "Guolford's alternate uses test" (GAU) som har i avsikt att undersöka det kreativa tänkandet. Testet genomfördes först när deltagarna var inaktiva och därefter medan de var fysiskt aktiva i form av promenader på ett löpband. Testet i fråga gick ut på att applicera alternativa användningsområden på vanligt förekommande föremål. Deltagarna fick fyra minuter på sig att ange så många alternativa användningsområden som möjligt. Ett exempel kan vara att en byxknapp föreslås att istället nyttjas som hjul på en leksaksbil eller som dörrhandtag på ett dockhus. De alternativa förslagen ska vara nyskapande och relevanta för att godkännas på GAU. Desto fler alternativa användningsområden deltagarna kunde komma på till föremålen, desto mer kreativa ansågs de vara enligt ovanstående test.

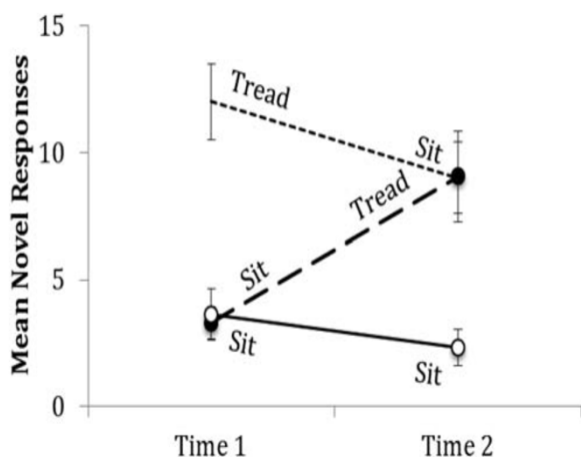
Utöver GAU som hade i avsikt att avmäta kreativt och divergent tänkande, fick deltagarna dessutom genomföra ett "compound remote association test" (CRA) som avser att mäta ett konvergent tänkande. Det vill säga ett likspårigt tänkande, som i studien i fråga användes som antonym till det divergenta tänkandet.



Figur 14. Jämförelse av prestationerna på GRA samt GAU vid inaktivt läge samt fysiskt aktivt läge. Källa: (Opezzo and Schwartz, 2014)

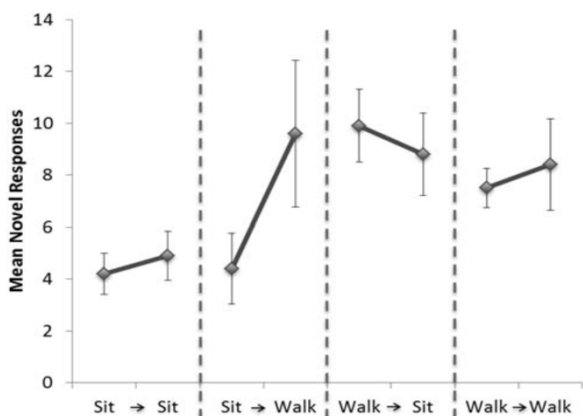
I CRA-testet är avsikten att hitta en gemensam nämnare för en fraktion bestående av tre ord, exempelvis: ”boll” ”korg” och ”spelare” där den gemensamma nämnaren som återges kan vara till exempel ”basket”. Deltagarna gavs 16 olika fraktioner, där 15 sekunder var avsett till varje fraktion. Anledningen till att båda testen genomfördes var för att i studien ville man se huruvida fysisk aktivitet påverkade båda dessa sorters kognitivt tänkande, eller endast den ena sorten.

I slutskedet jämfördes de båda testen (GAU och CRA) och en jämförelse gjordes dessutom mellan inaktivt och fysiskt aktiva deltagande. Samtliga svar gjordes muntligt och spelades in för att underlätta svarsmöjligheterna i samband med fysisk aktivitet. För att säkerställa att miljön inte hade någon inverkan på resultaten av de båda testen så genomfördes testen i en så steril miljö som möjligt. Denna miljö bestod av ett rum med vita väggar, endast innehållande en stol och ett skrivbord under den inaktiva delen, och därefter innehållandes endast ett löpband vid den fysiskt aktiva delen.



Figur 15. Resultat från delexperiment 2. Tread: Fysiskt aktivt läge. Sit: Inaktivt läge. Källa: (Opezzo and Schwartz, 2014)

Delexperiment resulterade i att 81% av de 48 deltagande uppvisade ett förbättrat divergent (kreativt) tänkande, medan endast 28% uppvisade förbättrade resultat på det konvergenta tänkandet (se figur 14).



Figur 16. Resultat från delexperiment 3. Sit: Inaktivt läge. Walk: Fysiskt aktivt läge. Källa: (Opezzo and Schwartz, 2014)

I det andra delexperimentet genomfördes endast GAU i tre olika variationer: på samma vis som i första delexperimentet, det vill säga först inaktivt och därefter fysiskt aktivt i en steril miljö. Därefter sittandes två gånger i rad och slutligen genom att deltagarna först var i ett fysiskt aktivt läge och därefter i ett inaktivt läge. Syftet var att undersöka om ordningen på de olika tillvägagångssätten hade någon inverkan på testresultaten. Även i detta delexperiment uppvisades de bästa resultaten i ett fysiskt aktivt läge, oberoende av i vilken ordning de två lägena (inaktiv och fysisk aktivt) intogs (se figur 15). Detta delexperiment hade även i avsikt att undersöka förkroppsligande kognition

(*embodied cognition*). Vilket enligt Opezzo och Schwartz (2014) är när kroppsliga rörelser påverkar vårt tänkande. Exempelvis kan en framåtriktad handrörelse främja tankebanor som inkluderar framåt och hämma tankebanor som inkluderar bakåt. I studien ansågs förkroppsligat tänkande kunna ha en positiv inverkan då rörelser framåt kunde främja tankebanor från en idé till en annan.

Delexperimentet resulterade i att de test som genomfördes under fysisk aktivitet gav de bästa resultaten. Dessutom påvisades förbättrade resultat på de inaktiva testen som genomfördes efter genomförd fysisk aktivitet. Detta i jämförelse med de efterföljande inaktiva test som genomfördes utan att först ha befunnit sig under fysisk aktivitet (se figur 16).

I delexperiment tre undersöktes huruvida miljön i sig påverkade utgången av GAU. Testet genomfördes på liknande vis som föregående delexperiment, med skillnaden att det fysiskt aktiva genomförandet gjordes i både den sterila miljön samt under en promenad på Stanford Universitys campus. Under den inaktiva delen genomfördes testet både i den sterila miljön och en andra gång i ett angränsande rum för att undersöka utgången av ett miljöombyte. Även detta delexperimentet resulterade i likvärdiga resultat som föregående tester, där det fysiskt aktiva läget var fördelaktigt i avseende till det divergenta tänkandet.

I det sista delexperiment genomfördes istället ”*Barron’s symbolic equivalence task*” (BRE). Detta experiment genomfördes i olika miljöer och faser: Inomhus och inaktivt, inomhus och fysisk aktivt, utomhus och inaktivt samt utomhus och fysisk aktivt. Även här uppvisades de bästa resultaten vid de två fysiskt aktiva lägena (Opezzo & Schwartz, 2014).

7 BDNF

”*Brain-derived neurotrophic factor*” (BDNF) är ett protein bestående av 119 aminosyror och som tillhör gruppen nervtillväxtfaktorer (NGF). BDNF-genen består av åtta exoner, där fem av dessa är knutna till promotorer, det vill säga de baspar som reglerar en gens uttryck. De övriga tre står för avkodning av det huvudsakliga BDNF-proteinet, pro-BDNF. BDNF binder till en eller flera tropomyosin-relaterade receptorer (trk), och specifikt den variant som heter trkB. Det finns även andra nervtillväxtfaktorer som binder till de övriga två varianterna, trkA och trkC.

Studier visar att BDNF lagras i så kallade vesikler (vätskefyllda blåsor) som skyddas av ett membran. Vesikler är den huvudsakliga lagringsplatsen för neuropeptider. Forskningsresultat visar även att BDNF transporteras från vesiklerna i hjärnan genom anterograd transport, som sker från cellkroppar till synapser och/eller cellmembran. Pro-BDNF transporteras från golgiapparatusens nätverk till frisläppta granula (små partiklar i cytoplasman). I granula delas BDNF av enzymet prohormon konvertas 1 (PC1) (Binder, 2004).

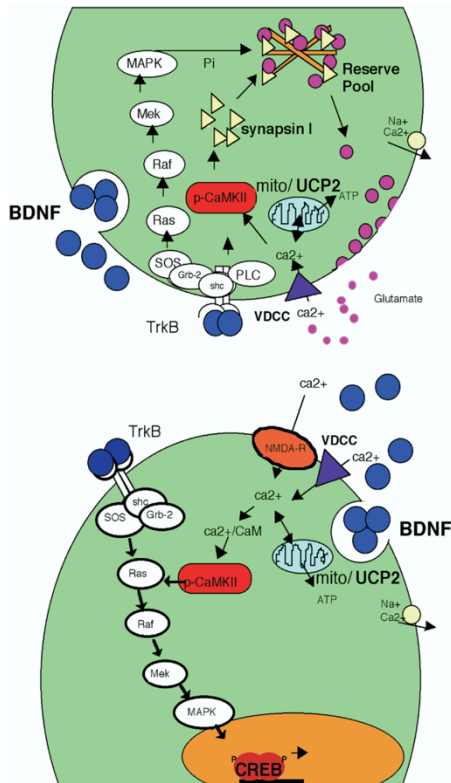
Enligt Castrén (1998) triggas olika sorters stimuli, BDNF i olika delar av hjärnan. Stimuli som härstammar från ljus triggas exempelvis BDNF-avkodning i syncentrum, medan osmotiskt tryck triggas av proteinet i hypotalamus, vilket Castrén (1998) och andra studier även visar att fysisk aktivitet gör. Castrén (1998) hävdar även att hippocampus är den del av hjärnan där BDNF-aktiviteten är allra störst. Likt tidigare nämnt är hippocampus en del av hjärnan där flera kognitiva förmågor, så som minnesbildning sker. Enligt Lista och Sorrentino (2010) och (Vaynman et al., 2006) ökar BDNF mängden ”*uncoupling protein 2*” (UCP2).

UCP2 transporterar anjoner från mitokondriens innermembran till mitokondriens matrix. Detta i syfte att främja framställningen av ATP via oxidativ fosforylering, som är det avslutande steget i cellandning. ATP ger i sin tur energi åt neurala processer. UCP2 verkar därutöver för att minska mängden fria radikaler som produceras i mitokondrien i samband med oxidativ stress (OS). OS är oönskade biprodukter vid cellandningen, som har visat sig i sin tur kunna hämma BDNF-nivåerna.

Vid minskad OS ökar möjligheten för transkriptionsfaktorn ”*cAMP response element-binding protein*” (CREB) att binda till specifika DNA-sekvenser och därmed påverka transkriptionen av bland annat BDNF samt c-Fos. Studier har även visat att CREB har en viktig roll vid inlärning samt vid lagring av långtidsminnen. BDNF ökar mängden UCP2, som utöver tidigare nämnda funktioner har en vital del i den homeostatiska regleringen. Att ATP bildas är en förutsättning för att neurala och synaptiska processer, så som plasticitet, ska få tillräckligt med energi (Vaynman et al., 2006).

Plasticitet innebär synapsernas förmåga att förändra sig, nybildas samt anpassa sig till vilken miljö som är rådande. Detta innebär att synapser som inte längre används har en tendens att försvinna för att ge plats åt nya synapser och neurala kopplingar i människans hjärna. BDNF kan enligt M. Ploughman (2008) även främja förgrening och tillväxten av antalet kopplingar mellan synapser i olika delar i hjärnan. Detta innebär i förlängningen att hjärnan fungerar snabbare och effektivare (Ploughman, 2008).

BDNF fungerar dessutom som en långtidspotentiering (LTP) vilket innebär att proteinet i fråga hjälper oss att bibehålla grundläggande funktioner så som inlärning och minne (Chan et al., 2008). Enligt S. Vaynman med flera, försvinner förmågan till LTP hos genmodifierade djur där BDNF-proteinet har avlägsnats (Vaynman et al., 2006).



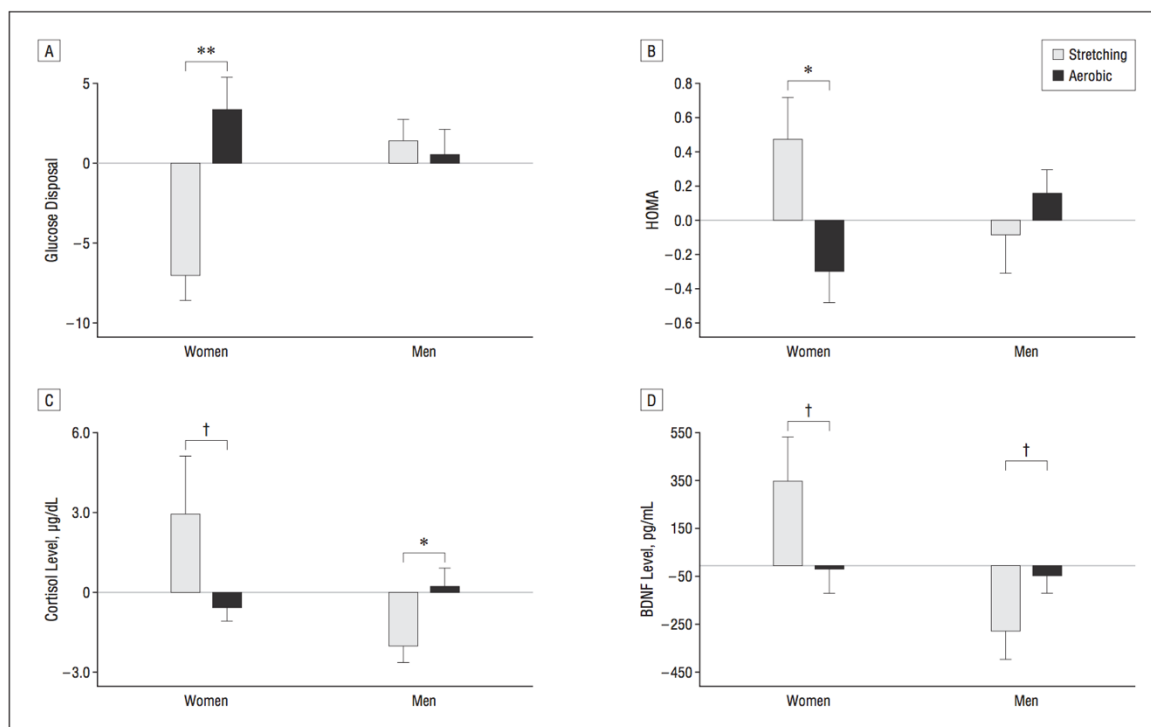
Figur 17. Illustration av en möjlig process vid frisättning av CREB genom BDNF vid energimetabolism. Källa: (Vaynman et al., 2006).

M. Ploughman (2008) hänvisar också till ett flertal studier där bland annat fysisk aktivitet har främjat mängden BDNF hos råttor (Ploughman, 2008). Studier har även gjorts med hjälp av mänskliga testdeltagare.

Ett exempel är i en studie där 17 kvinnor och 16 män i åldrarna 55 – 85 år gamla undersöktes (Baker, 2010). Dessa testpersoner led av lindrig kognitiv störning (MCI). testpersonerna i studien delades in i två grupper, där den ena gruppen genomförde olika stretchningsövningar och behöll därmed en låg hjärtfrekvens. Den andra gruppen genomförde aerobisk (syrerik) träning, i 45 – 60 minuter, fyra dagar i veckan under en sex månaders period, och uppnådde därmed en förhållandevis hög hjärtfrekvens. Därefter jämfördes de två olika gruppernas testvärden. De värden som undersöktes var kognition, glukosmetabolism, påverkan på HPA-axeln samt BDNF-nivåer. Utöver en jämförelse i

resultat mellan den stretchande och den tränande gruppen så undersöktes även huruvida dessa resultat var könsspecifika eller ej. Ett exempel på vad som skiljde sig mellan könen var att kortisolnivån för kvinnor under testperioden ökade för den stretchande gruppen medan den låg kvar på samma nivå för den tränande gruppen. I kontrast skedde det motsatta för män, där kortisolnivåerna sjönk hos den stretchande gruppen och låg kvar på samma nivå för den intensivt tränande gruppen. Överlag uppmättes hos den aerobiskt tränande gruppen en positiv korrelation för värden mellan BDNF och kortisol (se figur 18).

Laura D. Baker (2010) med flera skriver att en överaktivitet av HPA-axeln kan leda till minskad motståndskraft mot stress och därmed en högre känslighet för neurodegenerativa sjukdomar, exempelvis demens och Parkinsons sjukdom (Baker, 2010). De anser att dessa sjukdomar har en koppling till förändrade värden av BDNF och i enlighet med tidigare nämnd artikel (Ploughman, 2008) så tyder även denna studie på att fysisk aktivitet ger förhöjda nivåer av BDNF.

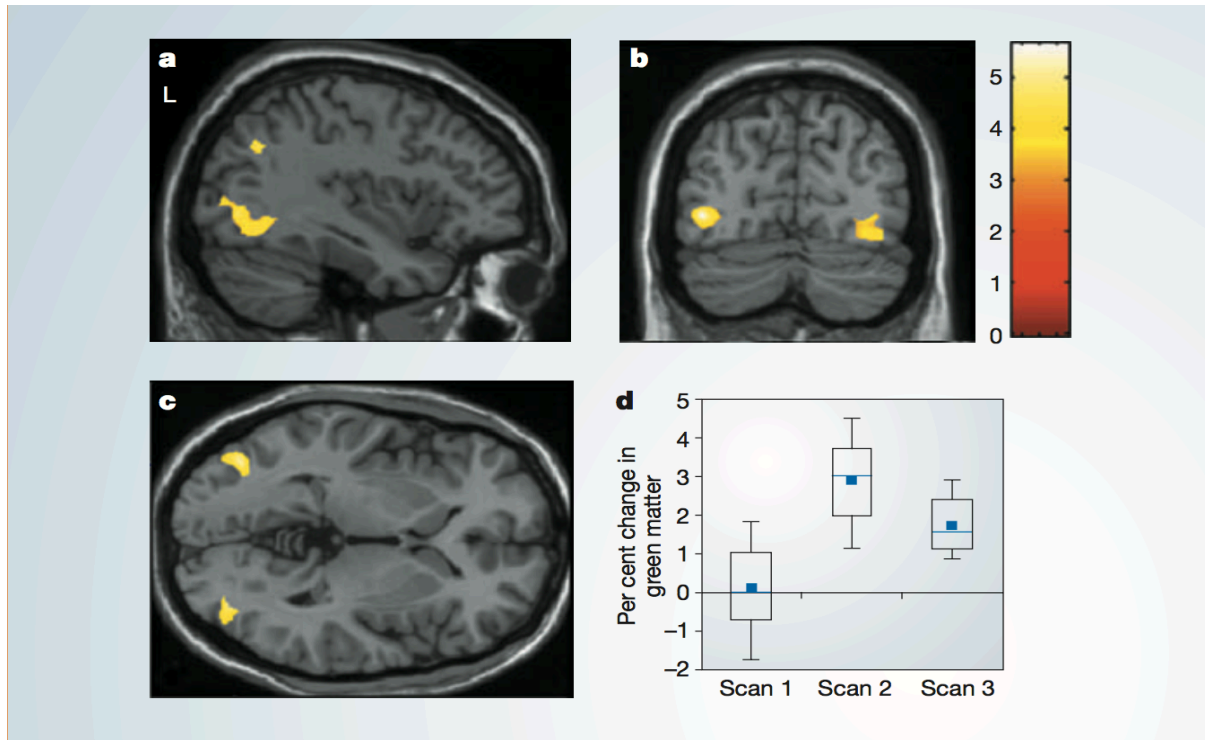


Figur 18. A. Mängd frisatt glykos vid aerob träning samt stretching uttryckt i ml/insulin mU/kg. B "Homeostasis assesment model" (HOMA). C. Plasma-nivå av kortisol uttryckt i µg/dl. D. BDNF-nivåer uttryckt i pg/ml. Källa: (Baker, 2010).

7.1 Plasticitet

likt ovan nämnt innebär plasticitet hjärnans förmåga till föränderlighet i form av att bilda nya och eliminera gamla hjärnceller. Detta är något som sker i exempelvis hippocampus och som främjas av tidigare nämnd nervtillväxtfaktor BDNF. Ett exempel på inverkan av fysisk aktivitet på hjärnans plasticitet är i den tidigare nämnda studien (Erickson et al., 2011) där hippocampus växte i snitt 2.12% i höger hjärnhalva, samt 1.97% i vänster hjärnhalvan för de fysiskt aktiva deltagarna, medan hippocampus istället krympte i båda hjärnhalvor hos den inaktiva kontrollgruppen.

I en annan studie undersöktes huruvida plasticiteten hos möss påverkades av olika yttre faktorer. De faktorer som undersöktes var: en berikad miljö, framtingad fysisk aktivitet i form av simning samt tillgång till frivillig fysisk aktivitet genom ett hjul som placerades i mössens burar. Studien resulterade i likartade resultat, där framförallt den frivilliga träningen var främjande för plasticiteten (van Praag, 1999).



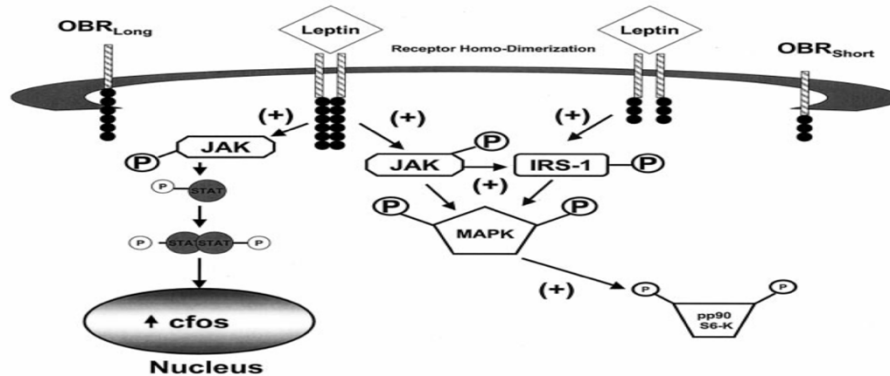
Figur 19. Storleksförändring i vissa delar av hjärnan hos deltagare i den jonglerande gruppen. a) sagittalplansvy. b) koronalplansvy. c) Axiell vy. d) relativ förändring i procentuell andel grå hjärnsubstans hos den jonglerande gruppen. Källa:(Draganski, 2004).

I ytterligare en studie delades frivilliga testpersoner in i homogena grupper, utefter ålder och kön. Den ena av dessa två grupper fick under en tre månaders period lära sig att jonglera tills de uppnått en tillräcklig kompetens för att problemfritt kunna behålla tre bollar i luften under minst 60 sekunder. Den andra gruppen, som agerade kontrollgrupp fick inte genomföra någon jonglerande aktivitet. Under tre separata tillfällen jämfördes de två gruppernas plastiska förändringar. Inledningsvis genomfördes en jämförelse innan jongleringsträningsperioden i fråga hade tagit vid. Följt av en jämförelse efter avslutad träningsperiod samt en avslutande jämförelse tre månader efter den slutförda träningsperioden. Under dessa tre månader efter avslutad träningsperiod fick ingen av studiens deltagande genomföra någon jonglerande aktivitet.

Mätningarna av de plastiska förändringarna hos deltagarna gjordes med hjälp av voxelbaserad morfometri (VBM) som är en teknik baserad på högupplöst tredimensionell MRI. Resultaten visade att den jonglerande gruppen uppvisade en markant storleksökning i den grå hjärnsubstansen i temporalloben, samt i den vänstra, bakre delen av parietalloben, vid den andra scanningen. I kontrast uppvisade ingen från den icke-jonglerande gruppen någon storleksförändring i dessa delar av hjärnan. Den tredje scanningen visade att samma områden hade krympt sedan den andra scanningen (Draganski, 2004). Vad som skiljer denna studie från ovan nämnd studie (Erickson et al., 2011) är att träningen hade en motorisk karaktär snarare än en aerobisk karaktär.

8 Leptin

Leptin är ett hormon som utsöndras från den vita fettvävnaden (adipocyt). Leptin kontrollerar människans behov av att intaga föda och har dessutom en roll i människans förbrukning av energi. Det har visat sig att leptin både kan begränsa våra motoriska förmågor och vår motivation att röra på oss. Frisättningen av Leptin styrs bland annat av de tidigare nämnda hormonerna insulin och kortisol. Leptin binder huvudsakligen till två olika receptorer, en kort och en lång. Studier indikerar att leptin via sin långa receptor (OB-R1) kan påverka frisättningen av c-Fos i det ventrala tegmentområdet genom en aktivering av "signal transducers and activators of transcription" (STAT) (se figur 20.)



Figur 20. Leptins påverkar på människan kropp genom antingen sin långa receptor eller sin korta receptor. Källa: (K.L. Houseknecht, 1998).

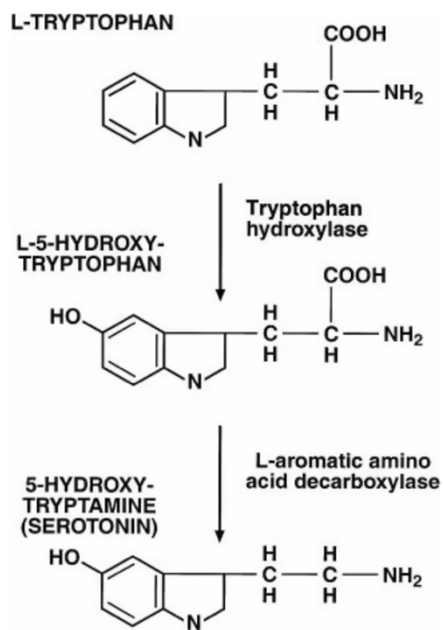
Leptin har ett flertal andra funktioner, däribland en frisättande tillämpning av proteinet UCP2 i våra muskler (K.L. Houseknecht, 1998). Som tidigare nämnt är UCP2 enligt Vaynman med flera (2006) ett protein som har en betydande roll vid fosfolyrering av ATP och har därutöver en begränsande effekt av fria radikaler vid oxidativ stress.

Enligt Booth med flera (2005) har leptin möjlighet att både begränsa och förhöja vår motivation till fysisk aktivitet genom bland annat sin inverkan på människans belöningssystem. Denna motiverande effekt hos leptin har framförallt upptäckts i samband med att vi har en begränsad tillgång till föda. Något som stöds vid studier av möss då mössens fysiska aktivitet ökade desto mer begränsad deras tillgång till föda var.

En förklaring till detta är enligt Fernandes med flera (2015) att vid begränsad tillgång till föda så signalerar leptin att ny föda efterfrågas och efterföljande reaktion blir att en motivation till att röra på oss uppstår i förhoppning om att öka chanserna att införskaffa ny föda, genom exempelvis jakt. Om det dock redan finns god tillgång till föda och en mättnadskänsla är infunnen, så minskar leptin genom STAT3 vår motivation till att röra på oss, för att helt enkelt spara på den energi som vi redan har. Denna teori har styrkts genom studier där man eliminerade STAT3 hos möss, vilket resulterade i att mössens motivation att spontant och frivilligt vara fysiskt aktiva ökade (Fernandes et al., 2015). Andra studier tyder även på att mängden av hormonet leptin ökar hos överviktiga då hormonet i fråga bildas i fettvävnaden. Konsekvensen av dessa förhöjda nivåer leptin kan enligt Booth med flera (2005) leda till hypoaktivitet. Det vill säga ett tillstånd som kännetecknas av initiativlöshet och inaktivitet (Booth et al., 2005).

9 Signalsubstanser

9.1 Serotonin



Figur 21. Syntes av 5-HT. Källa: (Mohammad-Zadeh. Et al., 2008):

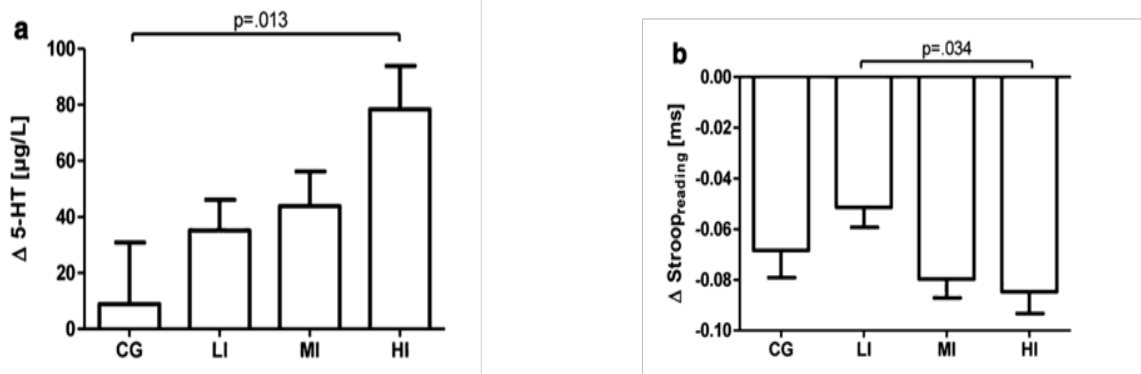
Serotonin, eller 5-Hydroxytryptamine (5-HT) är ett ämne som kan fungera som signalsubstans, hormon och som mitogen. Ämnet syntetiseras i två steg där det första av dessa två, sker när tryptophan hydroxyleras till 5-hydroxytryptophan (5-HTP). I Det efterföljande steget dekarboxyleras 5-HTP för att bilda 5-HT (se figur 21). Serotonin har ett flertal funktioner och återfinns i både det centrala samt perifera nervsystemet. Ämnet har visat sig påverka bland annat humöret, aptiten, sömncykeln samt beteendet. Serotonin hittas främst i specifika kluster av neuroner som utgör det serotogena systemet (Mohammad-Zadeh. Et al., 2008)

I en studie av Nichols (2008) delades 50 råttor av manligt kön in i fyra grupper, där den första gruppen bestående av tio råttor fick simma i 15 minuter, totalt fyra gånger, fördelat under två dagar. Efterföljande tredje dag fick samma råttor simma 60 minuter. I den andra gruppen, bestående av 20 råttor fick de istället simma i 30 minuter, sex dagar i veckan under en fyra

veckors period. Den tredje och fjärde gruppen, innehållandes tio råttor i vardera, fungerade som kontrollgrupper åt de två förstnämnda grupperna. I samband med att simningarna utfördes i de två grupperna så analyserades nivåerna av 5-HT samt nivåerna av 5HIAA. 5HIAA är den huvudsakliga nedbrytningsprodukten (metaboliten) från serotonin och går därmed att nyttja för att avmäta nivåerna av serotonin (Nichols, 2008).

Mätningarna av 5HT och 5HIAA hos råttorna uppvisade en 48% ökning av 5HIAA i hippocampus hos de fysiskt aktiva råttorna. Även en 36% ökning av 5HT-nivåerna i hjärnstammen kunde avmätas hos de råttor som hade varit fysiskt aktiva under en fyra veckors period. I de båda kontrollgrupperna kunde dock ingen förändring av varken 5HT- eller 5HIAA-nivåer påvisas (Dey, 1992).

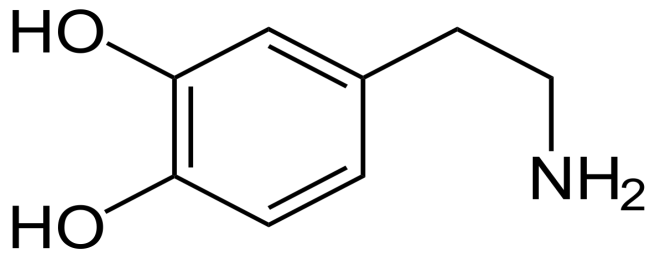
I en annan utförd av MacLeod (1992) undersöktes sambandet mellan diverse träningsvarianter av intensivare karaktär, med nivåerna av 5HT. Dessutom undersöktes samma testdeltagares resultat på ”*Stroop task*” parallellt med dessa träningsvarianter. ”*Stroop task*” utformas på så vis att namnet på en viss färg är skrivet i en annan färg. Exempelvis kan färgen ”röd” vara skriven i en gul färg. Denna utformning skapar en konflikt i den mänskliga hjärnan som har uppkallats ”stroopeffekten”. Testet avser att mäta reaktionstiden för testpersonen i fråga att besvara vilken färg det är som är angiven i skriven form, alltså inte i vilken färg den är skriven i (MacLeod, 1992).



Figur 22. CG: Kontrollgrupp. LI: Lågintensivt tränande grupp. MI: Medelintensivt tränande grupp. HI: Högintensivt tränande grupp. a: nivåer av 5-HT (ug/L) för de olika grupperna. b: svarstid på ”*Strooptask*” (ms). Källa: (Zimmer et al., 2016).

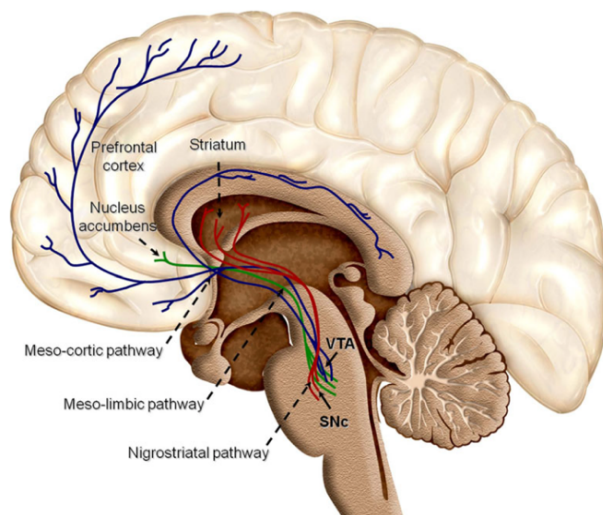
Testpersonerna bestod av 121 personer, som delades in i tre olika grupper. En grupp som genomförde lågintensiv träning (45% av maximal hjärtfrekvens), en grupp som genomförde medelintensiv träning (65% av maximal hjärtfrekvens) samt en grupp som genomförde högintensiv träning (85% av maximal hjärtfrekvens). Resultatet visade att den högintensivt tränande gruppen uppvisade högre 5HT-aktivitet när de analyserades direkt efter avslutad träning, i jämförelse med kontrollgruppen. Deltagarna tillhörande den medelintensiva samt lågintensivt tränande grupper uppvisade också en viss förhöjning av sina 5HT-värden, men inte i lika stor kvantitet som de högintensivt tränande individerna (se figur 22). Det var dessutom de individer tillhörande den högintensivt tränande gruppen som uppvisade de mest korrekta och de snabbaste svaren på ”*Stroop task*”. En av de slutsatser som Zimmer med flera (2016) gör från dessa resultat är att en fysisk aktivitet som upprätthåller en viss intensitet kan leda till ökade nivåer av 5HT och därmed förbättrade exekutiva funktioner samt förbättrad impuls kontroll (Zimmer et al., 2016).

9.2 Dopamin



Figur 23. strukturformel av Dopamin (Hydroxytyramin). $C_8H_{11}NO_2$. Källa: [Commons Wikimedia](#).

Dopamin eller Hydroxytyramin, är en signalsubstans som kan definieras som en biogen amin. De dopaminerga nerverna går i den vuxna människans hjärna att hitta i luktloben, mellanhjärnan och framförallt i mitthjärnan. De dopaminerga nerverna i mitthjärnan tillhör delarna ”*substantia nigra pars compacta*” (svart hjärnsubstans) (SNc), ventrala tagmentområdet (VTA) och retrobulbära fältet (RRB). Det dopaminerga systemet utgör huvudsakligen tre olika banor: den första som sträcker sig från SNc till det nigrostriala systemet, vilket har en huvudsaklig inverkan på vår motorik. Den andra banan är den som utgör det mesokortikala systemet, vilket har en betydande roll för våra exekutiva funktioner, och därmed kognition. Slutligen sträcker sig det dopaminerga systemet även till det mesolimbiska systemet som inverkar på belöningssystemet. De två sistnämnda har sitt ursprung i VTA och överlappar till viss del varandra och kallas ibland därför för det mesokortikolimbiska systemet. (se figur 24).



Figur 24. Illustration föreställande hjärnans belöningssystem. Källa: (Arias-Carrion et al., 2010)

De psykologiska funktioner som det dopaminerga systemet påverkar styrs via fem olika G-proteiner. Efter att dopaminet har avgetts från den synaptiska klyftan som en reaktion på ett stimuli, så diffunderar substansen in i den extracellulära vätskan och aktiverar de två olika varianterna av G-proteinproteinkopplade receptorer som finns där. Sammantaget består dessa receptorer av fem olika subtyper varav två är D1-receptorer (D1A-1D & D5) och tre stycken är D2-receptorer (D2, D3, D4). Dessa två sorters receptorer finns av varierande kvantitet i olika delar av hjärnan, där D1-receptorerna är de vanligast förekommande i exempelvis prefrontala cortex, medan D2 är den mest förekommande i accumbenskärnan. Dessutom har dessa två

olika sorters receptorer motsatta effekter, då D1 stimulerar frisättningen av cAMP, medan D2 hämmar frisättningen av cAMP. cAMP, eller cyklisk adenosinmonofosfat är en ”*second messenger*” som verkar vid signaltransduktion från signalsubstanser och hormoner till olika celler. I Cellerna påverkar cAMP bland annat proteinkinaser (Arias-Carrion et al., 2010).

En av de funktioner som påverkas genom D2-receptorn är enligt Huppertz med flera (2014) människans arbetsminne. Detta sker genom att ämnet Bromokryptin binder till D2-receptorn. (Kimberg, 1997). Enligt Arias-Carrión (2010) sjunker Dopamin-nivåerna generellt sätt med åldern, vilket enligt Arias-Carrión (2010) innebär att en stimulering av dopamin-neuronerna kan minimera risken för sjukdomar som Parkinson's sjukdom (Arias-Carrion et al., 2010).

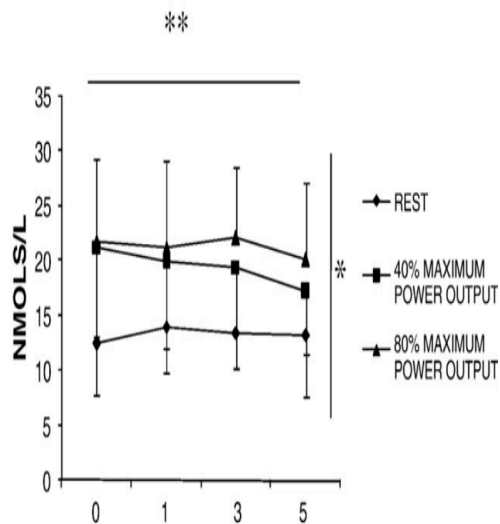
Dopaminnivåerna i kroppen ökar av vissa yttre faktorer, däribland intag av föda, sociala interaktioner, samlag och fysisk aktivitet.

När kroppen utsätts för fysisk aktivitet eller någon av de andra ovan nämnda yttre faktorer så aktiveras kroppens belöningssystem och därigenom tillhörande signalsubstanser. Denna reaktion uppstår bland annat för att öka vår motivation till att upprepa just detta specifika beteende. Anledningen till att det är fördelaktigt att återupprepa dessa beteenden är i mångt och mycket för att det går att knyta till vår överlevnad. Att kännas tillfreds med att inta föda gör att vi vill återupprepa detta beteende och därmed ökar våra chanser att överleva. Att interagera socialt gör att vi tenderar att vilja befinna oss i grupp vilket i ett historiskt perspektiv ökar våra chanser till överlevnad. Samlag ökar våra chanser till fortplantning och att föra våra gener vidare. Gällande fysisk aktivitet är det ett beteende som belönas, då det bland annat i ett historiskt perspektiv har ökat våra chanser att inta ny föda, då detta beteende kan förknippas med jakt (Arias-Carrion et al., 2010). Enligt Huppertz med flera (2014) finns det studier som tyder på att en viss ärftlig faktor påverkar i vilken grad belöningssystemet aktiveras vid fysisk aktivitet och att detta är en av de faktorer som gör att träningsvanor mellan olika individer skiljer sig (Huppertz et al., 2014).

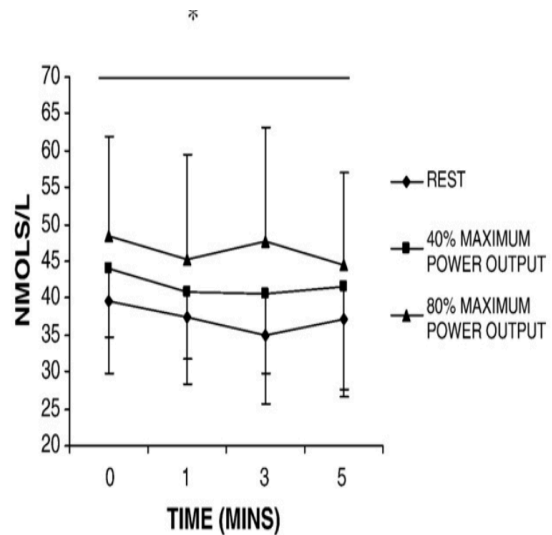
Enligt Huppertz med flera (2014) är det väletablerat att fysisk aktivitet har en inverkan på belöningssystemet. Vad de dock ansåg vara mindre etablerat och som de ville undersöka vidare var huruvida belöningssystemet påverkar ovan nämnda träningsvanor. Detta undersöktes i en studie med hjälp av ”*single nucleotid polymorphisms*” (SNP) vilket kan undersökas för att försöka påvisa att olika genuppsättningar påverkar på specifika beteenden och/eller egenskaper. Totalt undersöktes 11 olika genvarianter (8 SNP & 3 VNTR) som sedan tidigare var kända att på ett eller annat sätt ha en anknytning till det dopaminerga belöningssystemet. I studien deltog 1954 enäggstvillingar som frivilligt var aktiva inom schemalagd fysisk aktivitet. Huppertz med flera (2014) ansåg att det var en viktig del i studien att den fysiska aktiviteten utfördes på frivillig basis, då en framtvingad/obligatorisk sådan skulle kunna inverka på utslaget av signalsubstansnivåer.

Studien kunde dock inte uppvisa något samband mellan de undersökta generna och träningsvanor. Huppertz med flera (2014) vidhåller dock åsikten att ärftlighet har en viss inverkan på träningsvanor, men att det inte står klart vilka gener som är inkluderade (Huppertz et al., 2014)

Att ärftliga faktorer påverkar träningsbarhet och våra träningsvanor undersöktes även i en annan studie utförd av Bouchard med flera (2012). Mer specifikt undersöktes vilken inverkan genen ACE har på individens förmåga att öka sin maximala syreupptagningsförmåga. Studien resulterade i att en viss inverkan av ovan nämnd gen kunde påvisas och att de testdeltagande som innehade genen uppvisade en större storleksökning på hjärtats vänstra kammare, i jämförelse med de som saknade samma gen (Bouchard, 2012).



Figur 25. plasmavärden av MHPG vid 0, 1, 3 samt 5 minuter efter avslutad träning/vila. Källa: (McMorris et al., 2008)



Figur 26. plasmavärden av HVA vid 0, 1, 3 samt 5 minuter efter avslutad träning/vila. Källa: (McMorris et al., 2008)

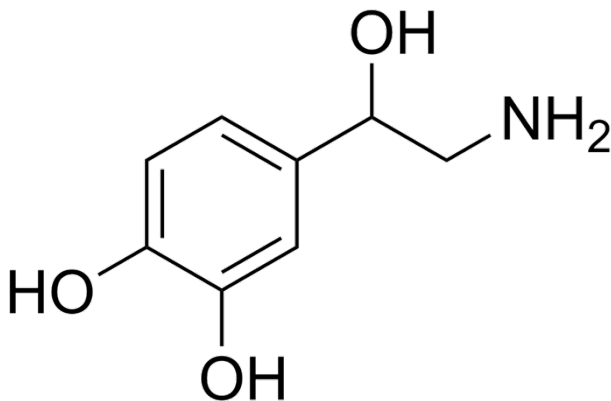
T. McMorris (2008) med flera formulerade en hypotes, där de ville undersöka huruvida signalsubstanserna dopamin och noradrenalin som frisattes i hjärnan, nyttjades i samband med kognitiva funktioner. T. McMorris (2008) med fleras studie tog stöd i den inverterade U-teorin som togs fram 1908 av Yerkes och Dodson's. Enligt teorin i fråga är den optimala träningsintensiteten för att främja kognitiva förmågor en måttlig intensitet, medan en för hög intensitet leder till försämrade kognitiva prestationer. Enligt T. McMorris (2008) med flera råder det delade meningar kring huruvida det finns ett likartat U-teoretiskt samband mellan ovan nämnda signalsubstanser och fysisk aktivitet.

Enligt T. McMorris finns det studier som har bekräftat denna teori och andra studier som har dementerat samma teori. Dessa varierande resultat anser de kunna bero på de varierande och icke-standardiserade tillvägagångssätten i de olika studierna. Därutöver anser T. McMorris (2008) med att bara för att en ökad mängd dopamin och noradrenalin kan uppvisas i hjärnan, är det inte säkert att dessa substanser nyttjas till kognition. Därför valde man i ovan nämnd studie att istället undersöka plasmavärdena av de båda signalsubstansernas metaboliter, snarare än substanserna i sig. De metaboliter som avmättes var 3-metoxi-4-hydroxy-fenylglykol (MHPG) som är den huvudsakliga metaboliten av noradrenalin, samt den huvudsakliga dopaminmetaboliten 4-hydroxy-3-metoxifynylkarboxylsyra (HVA). För att se hur dessa metaboliter påverkades av fysisk aktivitet valde T. McMorris (2008) med flera att mäta plasmanivåerna vid vila och vid träning som uppnådde en belastning på 40% av maxpuls, samt träning som innebar 80% av maxpuls. I studien jämfördes differensen mellan metaboliternas nivåer hos en grupp individer som endast ägnade sig åt fysisk aktivitet, med en grupp individer som ägnade sig åt fysisk aktivitet med likartade belastningar, men som därutöver även genomförde två kognitiva tester. Dessa tester avsåg att undersöka exekutiva förmågor samt uppmärksamhet. Detta av den anledning att det enligt T. McMorris (2008) med flera är känt sedan tidigare att dopamin har en betydande roll vid kognition, motorik samt dessutom har en inverkan vid känslomässiga beteenden. De hävdar dessutom att noradrenalin har en betydande roll vid kognition, uppmärksamhet samt vid upphetsning. Testen i fråga har visat sig aktivera samma delar i hjärnan som noradrenalin och dopamin aktiverar, det vill säga prefrontala cortex, främre gördelvindlingen, hippocampus, basala ganglierna samt lillhjärnan.

Plasmavärdena av de båda metaboliterna undersöktes 0, 1, 3 samt 5 minuter efter den genomförda fysiska aktiviteten.

Studien resulterade i att metaboliternas plasmavärden ökade linjärt från vila till 80% av maxpuls. Det vill säga, desto högre arbetsbelastning, desto högre metabolitvärden (se figur 25 & 26). Det kunde dock inte påvisas någon signifikant skillnad mellan plasmavärdena av metaboliterna för de individer som endast genomförde fysisk aktivitet i jämförelse med de individer som både genomförde fysisk aktivitet samt de två kognitiva testen. Resultaten dementerar även den inverterade U-teorin, då de högsta värdena av metaboliterna uppmättes vid en ansträngningsgrad på 80% av maxpuls, vilket överskrider en måttlig ansträngning (McMorris et al., 2008).

9.3 Noradrenalin.



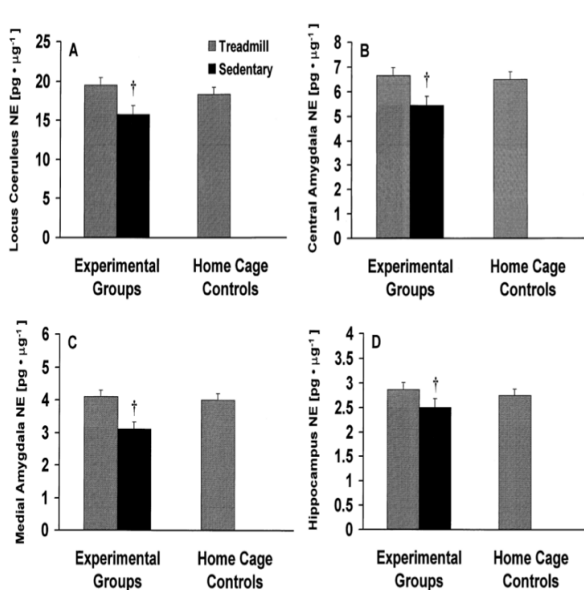
Figur 27. Illustration av Noradrenalin. Källa: : [Wikimedia](#)

Noradrenalin är ett ämne som bildas från att dopamin hydroxyleras av enzymet β -hydroxylas och som antingen kan fungera som en signalsubstans i hjärnan eller frisättas i blodet, där det verkar som ett hormon. Som signalsubstans frisätts ämnet framförallt i neuroner i locus coeruleus varifrån ämnet transporteras av monoaminer, via axoner, till det område där det avses att frisättas. Vid den avsedda lokaliseringen binder substansen till G-proteinkopplade receptorer av antingen sorten α eller β . Koppling till β -receptorer resulterar i en förhöjd nivå av

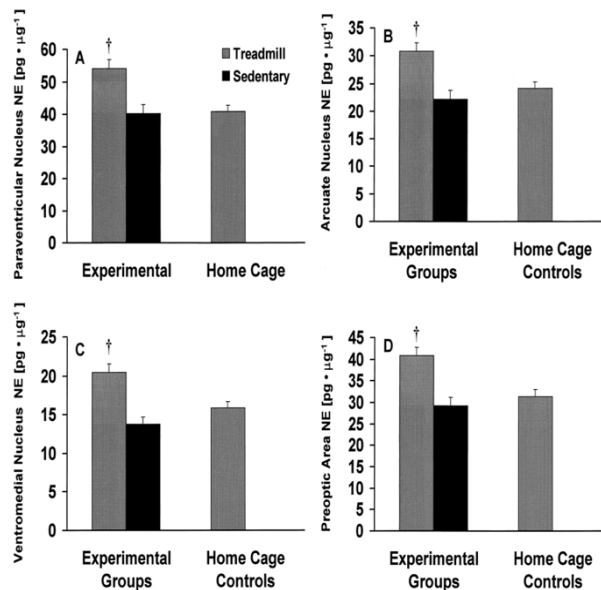
tidigare nämnd cAMP, som även höjs av dopaminreceptorn D1 (Bolshakov, 2010).

Enligt T Hatfield med flera (1999) kan noradrenalin påverkas av signalsubstansen GABA, då studier visar att injicering av GABA-antagonisten pikrotoxin leder till ökade nivåer av noradrenalin i amygdala, medan injicering av GABA-agonisten, muscimol kan minska frisättningen av noradrenalin (T Hatfield, 1999). Enligt Tully och Bolashkov (2010) har noradrenalin dessutom en betydande roll av hjärnans plasticitet, då signalsubstansen i fråga kan begränsa frisättningen av ovannämnda GABA. GABA har i sin tur, enligt Tully och Bolashkov en hämmande effekt på neuronaktivitet och därmed plasticitet. En begränsande effekt av frisättning av GABA skulle därmed kunna leda till en ökad plastisk förmåga. Enligt T.McMorris är Noradrenalin därutöver involverad i kognition och uppmärksamhet (McMorris et al., 2008).

Dessa resultat i kombination med studier där noradrenalin har injicerats hos råttor styrker tesen att noradrenalin kan främja minnesbildning, medan en blockering av noradrenalins β -receptorer har uppvisat en hämmande effekt vid minnesbildning i hippocampus. Framförallt gällande minnen som är av känslomässig karaktär, det vill säga anknutna till glädje eller skräck. Denna inverkan från signalsubstansen på minnesbildning beror enligt Tully och Bolashkov (2010) på att noradrenalin hämmar fosfater som i sin tur begränsar långtidspotentiering (LTP) (Bolshakov, 2010).



Figur 28. Nivåer av Noradrenalin i olika delar av hjärnan hos de olika grupperna. A. Locus coeruleus. B. Centrala amygdala. C. Mellersta amygdala. D. Hippocampus. Källa: (Dishman et al., 2000)



Figur 29. Nivåer av Noradrenalin i olika delar av hjärnan hos de olika grupperna. A. Paraventriculära kärnan. B. bågformiga kärnan (hypotalamus). C. Ventromediala kärnan. D. Preoptiska området. Källa: (Dishman et al., 2000)

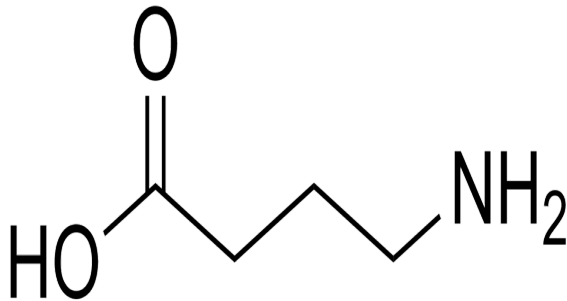
R.H Dishman (2000) med flera, rapporterar att fysisk aktivitet ska enligt tidigare studier hämma nivåerna av den stressrelaterade substansen ACTH. Därutöver ska inaktivitet enligt R-H Dishman (2000) med flera, leda till en ökad mängd av samma substans. R.H Dishman (2000) med flera ville därför undersöka hur hjullöpning hos råttor påverkar noradrenalin-nivåerna i de områden av råttornas hjärnor där ACTH vanligtvis är aktivt, närmre bestämt i paraventriculära kärnan, i bågformiga kärnan, i mittre preoptiska kärnan samt i de ventromediala områdena i hypotalamus. Hypotesen var att råttornas hjullöpning skulle begränsa noradrenalin-nivåerna i ovan nämnda områden av hjärnan.

Råttorna i fråga injicerades med antingen sesamolja eller hormonet estradiolbensoat var tredje dag i samband med hjullöpningen. Denna injektion avsåg att undersöka teorin att HPG-axeln har en samverkande roll med HPA-axeln vid stress, och att kvinnor upplever en högre grad stress jämfört med män vid utsättning för likvärdiga stressfaktorer på grund av frisättning av det kvinnliga hormonet estradiol. Studien visade att honmössens reproduktionscykel kan reglera värdena av noradrenalin i hjärnan som i sin tur påverkade reaktionen av stress. Totalt deltog 30 stycken råttor i studien varav hälften injicerades med estradiolbensoat, medan resterande hälft injicerades med sesamolja. Dessutom delades dessa råttor in i två grupper där den ena förhölls inaktiv och den andra fick genomföra hjullöpning sex dagar i veckan, med en ökande intensitet. Noradrenalin-nivåerna hos dessa råttor jämfördes dessutom med en kontrollgrupp bestående av råttor som inte injicerades alls. Råttornas noradrenalinvärden analyserades med hjälp av kromatografi efter avlivning.

Studien resulterade i att de fysisk aktiva råttorna uppvisade en högre nivå av noradrenalin jämfört med de inaktiva råttorna och jämfört med kontrollgruppen. Enligt R.H Dishman med flera (2000) tyder dessa resultat därutöver på att injektionen av estradiolbensoat inte hade någon effekt på nivåerna av noradrenalin eller ACTH. Analys visade dessutom att det sker en reglerande effekt av noradrenalin i de delar av hjärnan som påverkar ACTH-nivåerna när fysisk aktivitet tillämpas (se figur 28 & 29). Enligt R.H Dishman med flera (2000) har fysiskt

aktiva råttor uppvisat 50% högre ACTH-nivåer hos fysisk aktiva råttor i jämförelse med inaktiva råttor (Dishman et al., 2000)

9.4 GABA



Figur 30. Illustration av Gammaaminosmörtsyra (GABA).
Källa: [Wikimedia](#).

Ämnet gammaaminosmörtsyra (GABA) är en signalsubstans som har en hämmande effekt på det centrala nervsystemet. Denna hämning sker genom receptorerna $GABA_A$ samt $GABA_B$. $GABA_A$ -receptorerna är ligandstyrda jonkanaler som består av åtta olika subenheter (α , β , γ , δ , ϵ , π , θ och ρ) som i kombination utgör olika receptorer. Dessa olika receptorer förekommer i varierande mängd i olika delar av hjärnan. $GABA_B$ -receptorerna består av två subenheter: B1

och B2. GABA kan aktiveras genom antingen en agonist, eller via en av de ovannämnda signalsubstanserna, dopamin och/eller noradrenalin. GABA-receptorerna är dessutom mottagliga för både endogena och exogena regulatorer. Kalueff och Nutt (2007) hävdar att långvarigt låga GABA-nivåer kan vara en indikation på depression, medan höga GABA-nivåer kan ha en antidepressiv effekt och att indikationer kring att GABA-systemet ska kunna hämma ACTH- samt kortisolnivåer har påvisats.

Vidare påstår Kalueff och Nutt (2007) att ångest- samt depressionssymtom har en korrelation med minskande hippocampusvolym. De framhåller vidare att hippocampus är ett område som är rikt på GABA-neuroner och att detta kan vara anledningen till att GABA-systemet har en inverkan på minnesbildning.

Enligt Kalueff och Nutt (2007) är generellt sätt ämnen som har en positiv effekt på GABA-receptorer ångestdämpande, medan ämnen som har en negativ inverkan på GABA-receptorer ger en ångestframkallande effekt (Kalueff & Nutt, 2007).

Brain Region		Effect of Exercise on mRNA Expression							GAD67 mRNA
		GABA _A subunit mRNA expression						δ	
		α2	α5	β1	β2	β3	γ2		
PrL		-				↓	-		-
Pir		-			-	↓	↓		↓
IL		↓				-			-
NAcSh		↓				-			-
NAcC		↓				-			↑
CuP		↓				-			-
LS		↓				-			-
MC		-				-			↑
SC		-				-			-
BNST		-		-		-	↓		↑
Amygdala	BL	-				-	-		-
	CeM	-				-	-		-
PVN		↓					-		
Peri PVN									↑
Hippocampus	CA1	-	↑	↑		-	-	-	↑
	CA2	-	↑	↑		-	-	↑	↑
	CA3	↓	↑	-		-	-	-	↑
	DG	-	↑	↑		-	-	-	↑

Figur 31. Illustration av mRNA-uttryck av olika substanser i olika delar av hjärnan. ↑ indikerar ett ökat mRNA-uttryck vid fysisk aktivitet. ↓ indikerar ett minskat mRNA-uttryck vid fysisk aktivitet. PrL: Prelimbiska hjärnbarken. Pir: Piriforma hjärnbarken. IL: infralimbiska hjärnbarken. NAcSh: Accumbenskärnans skal. NAcC: Accumbenskärnans mitt. CuP: Striatum. LS: laterala septum. Motorcortex. SC: känslocortex. BNST: Bed Nucleus Stria terminalis. BL: Basolaterala Amygdala. CeM: Centrala Amygdala. PVN: Paraventrikulära kärnan. Peri PVN: Peri-paraventrikulära kärnan. CA: Cornu ammonis. DG: Gyrus dentatus. Källa: (Hill, 2010)

Ett av de sätt som GABA-nivåerna kan regleras på är enligt Le Hill med flera (2010) via frivillig fysisk aktivitet. De formulerade därför en hypotes där man antog att fysisk aktivitet skulle alternera aktiviteten hos GABA_A-receptorerna samt öka nivåerna hos det huvudsakliga GABA-enzymet GAD67. Mätningar av denna aktivitet samt dessa nivåer gjordes med hjälp av optisk densitometri på råttor som genomförde hjullöpning, med en distans mellan fem och nio kilometer per dag. Värdena jämfördes likt tidigare med en inaktiv kontrollgrupp. Resultaten påvisade en ökad nivå av GAD67 i flera delar av framhjärnan, framförallt i Hippocampus hos de fysiskt aktiva råttorna (se figur 31). I studien sammanfattas dessa resultat till slutsatsen att GABA är en av orsakerna till att fysisk aktivitet kan ha en ångestdämpande effekt. Författarna kunde i studien dock inte påvisa någon förändring av GABA eller GAD67-nivåerna i amygdala, vilken enligt Le Hill med flera (2010) är den del av hjärnan som huvudsakligen påverkas av ångest och depression (Hill, 2010).

10 Diskussion

10.1 Stresshantering.

De resultat som är publicerade i avsnitt 6.1 tyder på att fysisk aktivitet i stort har en positiv inverkan när det handlar om att hantera stress. Detta genom sin påverkan på HPA-axeln. Vad som framgår från bland annat studierna utförda av P. Schnohr (2005) och Biddle (2000) är att träningsperiodens längd samt den fysiska intensiteten har en betydande inverkan. Dessa slutsatser i enighet med de resultat som tyder på att noradrenalin kan påverka nivåerna av ACTH (avsnitt 9.3) samt GABA (avsnitt 9.4) anser jag kunna tyda på att fysisk aktivitet kan ha en effekt som är både positiv och negativ i avseende till stresshantering (Schnohr, 2005).

Vid en för hög intensitet och/eller för lång träningsperiod hävdar jag att detta kan leda till en stressfaktor i sig som snarare leder till en förhöjd och därmed skadlig mängd stress, snarare än den hämmande effekt som studiernas resultat visar att fysisk aktivitet kan ha på HPA-axeln.

Denna slutsats är i enlighet med vad Campeau med flera (2010) anser, då påverkan på HPA-axeln hos råttor vid utsättning för lågintensiva stressfaktorer kunde hämmas med hjälp av fysisk aktivitet, men inte vid påverkan av högintensiva stressfaktorer (se avsnitt 6.1). Jag anser vidare att det därför är av högsta relevans att intensiteten på den fysiska aktiviteten bör anpassas till en individuell nivå och stegras succesivt med stor försiktighet. Detta dementeras dock till viss del av T. McMorris med flera (2008) i den undersökning som genomfördes med anknytning till den så kallad inverterade U-teorin, där deras studie påvisade att en högre träningsintensitet var fördelaktig.

10.2 Minnesförmåga

Minnesförmågan i allmänhet och arbetsminnet i synnerhet verkar enligt ovan dokumenterade resultat i avsnitt 6.2 vara en av de största fördelarna gällande kognition i samband med fysisk aktivitet. Denna effekt kan i min mening härledas till den expansion av hippocampus som ovan nämnda studier har visat prov på. Detta är i enlighet med exempelvis Erickson med fleras (2010) studie som påvisar att hippocampus krymper med åldern och att arbetsminnet parallellt med denna förminskning försämras, men att fysisk aktivitet kan begränsa denna förminskning och till och med öka volymen på hippocampus (Erickson et al., 2011).

Detta fenomen som är associerat som plasticitet har enligt de studier som hänvisas i avsnitt 8 kunnat knytas till en ökad mängd nervtillväxtfaktorer, däribland BDNF. BDNF-nivåerna i sin tur har enligt de studier som delgivits i detta arbete (se avsnitt 7), ökat när både människor och råttor implementerat fysisk aktivitet. Flertaliga studier tyder dessutom på att denna effekt är påtaglig i flera olika åldrar och därmed kan vara av relevans både för kognitionen hos barn och ungdomar som är under utveckling, men även för äldre i en förebyggande effekt mot kognitivt påverkande sjukdomar så som demens och Parkinsons sjukdom.

Enligt studien utförd av Erickson med flera (2011) kunde dock ingen förbättring av arbetsminnet avläsas hos den fysiskt aktiva testgruppen, när den jämfördes med en inaktiv kontrollgrupp (se avsnitt 6.2). Vad som dock gick att se var att de som var i bäst fysisk form sedan tidigare, det vill säga innan påbörjad träningsperiod, var de som hade de bästa resultaten på ”*Sternberg Task*” (Erickson et al., 2011). Min hypotes är att det kan finnas tre olika faktorer som kan ha varit avgörande för dessa resultat. Den första möjliga faktorn är i min mening att det kan finnas en fördröjd effekt där träning som genomförs idag, inte har en direkt inverkan på plasticitet och arbetsminne, utan att en sådan effekt uppstår först senare. Den andra möjliga faktorn är i min mening att det kan finnas en genetisk faktor som påverkar denna utgång. Att vissa individer har lättare för att få en effekt av sin fysiska aktivitet är något som bland annat Bouchard (2012) och Huppertz (2014) påvisar i sina studier. En tredje faktor som jag anser kan ha en inverkan är att den fysiska aktivitetens intensitet var avgörande i just denna studie. Exempelvis tyder studien publicerade av M. Börjesson och I. Jonsdottir (2010) (se avsnitt 6.1) samt studien av Zimmer (2016) med flera (se avsnitt 9.1) på att intensiteten samt längden av träningsperioden vara en bidragande faktor för främjandet av kognitiva förmågor.

10.3 Koncentrationsförmåga

Även gällande koncentrationsförmåga verkar träningsmängden samt intensitet ha en påtaglig inverkan. Här är det dock svårare att påvisa någon biokemisk redogörelse kring varför den fysiska aktiviteten skulle ha en positiv inverkan. Möjligtvis är förklaringen även här en ökad mängd BDNF som bland annat bidrar till en effektivare koppling mellan hjärnans olika områden (Ploughman, 2008). Att intensitet och träningsmängd har en inverkan kan i min mening och i enlighet med publicerade studier tyda på att vid för hög intensitet blir den energikrävande träningen konkurrerande med den energi som krävs för ett framgångsrikt kognitivt genomförande, något som är etablerat ibland annat den så kallade inverterade U-teorin (McMorris et al., 2008). Denna teori har dock både bekräftats och dementerats, vilket gör att det råder en del oklarheter.

Enligt flera studier, däribland den tidigare nämnda studie som utfördes av Silva med flera (2015), kan fysisk aktivitet ha en kortsiktig effekt för individer med diagnoser så som ADHD. Att med relativt enkla medel ge utökade förutsättningar för elever med diagnoser likt denna anser jag vara av allra högsta relevans för skolans värld. Enligt Anders Hansen (2016) är dessa diagnoser dock ingenting som är svart på vitt, utan snarare en gråskala där vissa individer befinner sig högt upp och är påtagligt drabbade av denna diagnos, medan andra befinner sig långt ner på skalan och därmed inte är diagnostiserade alls. Med denna teori som Anders Hansen (2016) lyfter fram bör det i min mening innebära att fysisk aktivitet är främjande för koncentrationsförmågan oavsett uttalad diagnos eller ej.

10.4 Uppmärksamhet

I avsnitt 6.4 rörande uppmärksamhet hänvisades en studie där en så kallad ”*flank task*” samt ett ”WRAT3”-test användes. Dessa test undersöker svarstid samt antal korrekta svar. Det sistnämnda testet inkluderar skrivförmåga, läsförmåga och matematiska problemlösningsförmågor. Att anknyta resultatet i dessa test till endast uppmärksamhet anser jag vara svårt, då förmågor inom dessa tre områden inkluderar flera kognitiva områden, även om testen är utformade för att specifikt mäta uppmärksamhet. Återigen anser jag att de förbättrade resultaten på dessa test i anknytning till fysisk aktivitet går att härleda till plasticitet och nervtillväxtfaktorer. En förbättrad plasticitet innebär bland annat, likt tidigare nämnt (se avsnitt 7) fler och snabbare synapser mellan olika delar i vår hjärna (Ploughman, 2008), vilket i min mening borde innebära en snabbare reaktionstid bättre beslutsfattningsförmåga, samt ett utökat arbetsminne och således kanske även bättre uppmärksamhet.

10.5 Kreativitet

I den angivna studien i avsnitt 6.5 genomfördes tre olika test: CRA, GAU och BRE. Testen genomfördes i olika variationer där forskarna försäkrade sig om att yttre faktorer så som miljö och strukturella anordningar inte påverkade utgången av testen och att den betydande faktorn var den fysiska aktiviteten, vilket också var vad samtliga delexperiment tydde på. Jag anser att studien i fråga hade en hög pålitlighetsgrad, trots bristande biokemiska förklaringar samt bristen på tekniska hjälpmedel så som MRI. Det hade dock varit intressant att vid en snarlik återupprepande studie, kombinera tidigare tillvägagångssätt med MRI eller granskning av c-Fos-värden för att analysera den neurala aktiviteten. Jag anser dessutom att studien hade ökat sin pålitlighetsgrad ytterligare om man i kombination med de kognitiva testerna och den fysiska aktiviteten hade avmätt procentuell ansträngningsgrad i form av maxpuls för att likt många andra studier undersöka vilken påverkan träningsintensiteten har.

Vad som bör has i åtanke angående detta test från studien Schwartz av Opezzo och Schwartz (2014) är att det avmättes en direkt inverkan av fysisk aktivitet på det kreativa tänkandet och inte vilken effekt en bättre fysisk status kan ha på det kreativa tänkandet på lång sikt (se avsnitt 6.5).

10. 6 BDNF och plasticitet

I de flesta studier och forskningsresultat som är delgivna i ovanstående resultatdel finns det två gemensamma faktorer. Dessa är BDNF och plasticitet. I mångt och mycket tyder resultatet vid förbättrade kognitiva förmågor på ökade BDNF-nivåer samt ökade volymer i vitala delar av hjärnan, så som hippocampus.

Gällande BDNF och övriga nervtillväxtfaktorer finns det så långt min vetenskap sträcker sig mycket obruten mark som väntar på att undersökas. Det är exempelvis enligt Vaynman med flera (2006) inte helt klarlagt hur syntesen av ovan nämnda nervtillväxtfaktor fungerar. Att BDNF och andra nervtillväxtfaktorer har en betydande roll gällande kognition råder det inga tvivel om, då detta styrks av allt från observerande longitudinella studier, till MRI. Det går dessutom att fastställa att det är tack vare dessa nervtillväxtfaktorer som våra hjärnor är högst föränderliga i både lägre och högre åldrar. Studier tyder även på att dessa nervtillväxtfaktorer har en förebyggande funktion mot sjukdomar så som Alzheimers och Parkinsons sjukdom vilket ger ytterligare anledning att fokusera framtida forskning till dessa substanser (Ploughman, 2008) (Arias-Carrion et al., 2010).

Vad som dock är anmärkningsvärt och i min mening värt att undersöka vidare är den differens i frisättning av BDNF parallellt med kortisolnivåer som Laura D. Baker (2010) vittnar om. Resultaten i denna studie visar på en anmärkningsvärd skillnad mellan kvinnor och män i BDNF- och kortisolnivåer. Möjligtvis kan en förklaring vara den interaktion som påstås finnas mellan den så kallade HPG- och HPA-axeln. Där HPG-axeln bland annat är påverkad av det kvinnliga hormonet estradiol (Dishman, 1996). En annan förklaring kan vara att Laura D. Baker's (2010) studie i sig är bristfällig, vilket i min mening dessvärre inte kan uteslutas då jag inte har tagit del av några andra studier som är i enlighet med detta samband kring de kvinnliga kortisolnivåerna och BDNF.

Utöver denna påtagliga skillnad mellan kvinnor och mäns BDNF- samt kortisolvärden som Laura D. Bakers (2010) studie tyder på, anser jag att det vore av intresse att vidare undersöka hur genetiska och ärftliga förutsättningar kan påverka utgången av BDNF-nivåer och dess inverkan på kognitiva förmågor.

10.7 Avslutning

Signalsubstanserna serotonin, dopamin och noradrenalin tillhör det så kallade belöningssystemet, vilket får oss att känna tillfredställelse och glädje. Att belöningssystemet triggas av bland annat fysisk aktivitet anses härstamma från en tid då fysisk aktivitet var en nödvändighet för vår överlevnad. Genom att röra på sig ökade människans chanser att få tag på föda och därmed chansen att leva vidare (Arias-Carrion et al., 2010).

Många forskare är eniga om att de levnadsvanor som har utvecklats under det senaste årtiondet med ett ökat stillasittande och med fler dokumenterade fall av övervikt har lett till en

stor hälsorisk. Bland annat hävdar studier att övervikten hos ungdomar i USA har fördubblats (Hedley et al. 2004). Liknande siffror kan påvisas i Europa där majoriteten av invånarna inte når upp i den rekommenderade mängden fysisk aktivitet (Huppertz et al., 2014). Flera studier tyder på att denna förändrade levnadsvana har en negativ inverkan på de akademiska resultat som har uppvisats under de senaste årtiondena, med försämrade akademiska resultat. Dessutom verkar det finnas en form av accelererande effekt då Booth med flera (2005) påvisar ett samband mellan en ökad mängd fettvävnad som uppstår vid inaktivitet har en hämmande effekt på fysisk aktivitet. Detta enligt Booth med flera (2005) på grund av hormonet leptin, som kan leda till hypoaktivitet.

Trots dessa resultat har den kortsiktiga lösningen för de försämrade akademiska resultaten i många länder, inklusive Sverige, varit att minska antalet schemalagda timmar fysisk aktivitet i skolan, för att ge plats åt mer teoretiska ämnen. I min mening är denna förändring svår att förstå sig på, med de resultat som finns i ovan refererade studier i åtanke. En förklaring till detta kan i min mening bero på okunskap och/eller för dålig spridning av den forskning kring den fysiska aktivitetens positiva egenskaper som finns (Hillman et al., 2009), (Käll, 2013).

Av de studier som jag under arbetets gång har tagit del av har jag hittat ett flertal som ger vetenskapliga belägg för att en ökad mängd fysisk aktivitet snarare hade varit en bidragande faktor till förbättrade akademiska resultat. Vissa av de studier jag har tagit del av har inte kunnat påvisa någon koppling mellan akademiska resultat och mängden fysisk aktivitet, men ingen av de studier jag har tagit del av har kunnat påvisa någon negativ inverkan av ökad fysisk aktivitet och akademiska resultat. Detta är i min mening tillräckligt motiverande för att ifrågasätta de minskade antalet schemalagda timmar fysisk aktivitet som har tillämpats i skolor runt om i världen. Även Hillman med flera (2009) har denna uppfattning då de skriver att:

no published reports exist suggesting a negative relationship between these factors, indicating that, at the very least, time spent performing physical activity does not hinder academic performance and may lead to improved physical and mental health. (Hillman et al., 2009, s.1044)

Två områden som har exkluderats från detta arbete, men som jag anser bör undersökas vidare är huruvida anaerob (syrefattig) träning kan påverka de kognitiva förmågorna. Jag hade därutöver velat se en utvecklad teori kring vilken aerob intensitet och träningsmetod som är optimal för att främja dessa kognitiva förmågor.

Överlag verkar de studier som har analyserats i samband med detta arbete tyda på att träningsaktivitetens form i sig inte har någon betydande roll för kognition och plasticitet så länge den är av aerobisk och kardiovaskulär karaktär. Det verkar snarare vara intensitet och träningsperiod som är de avgörande faktorerna. Det som dessutom verkar vara av relevans är att den fysiska aktiviteten bör vara frivillig och tillfredsställande för att den ska vara gynnsam för frisättning av signalsubstanser och inte upplevas som en stressfaktor och föra med sig en negativ inverkan på HPA-axeln. Med detta i åtanke anser jag att det är av största vikt att den fysiska aktivitet som erbjuds i skolsammanhang och inom idrottsföreningar ska vara högst frivillig och ha en tillfredsställande karaktär, där det finns utrymme för valmöjligheter och

misstag. Detta för att undvika att den fysiska aktiviteten får en negativ association och för att undvika ovan nämnd negativ inverkan på HPA-axeln.

Sammantaget anser jag att det finns ett tydligt samband mellan fysisk aktivitet, psykiskt välmående samt kognitiva förmågor. De gemensamma nämnare som jag anser vara vitala för att hålla dessa komponenter i så gott skick som möjligt, är samspelet mellan belöningssystemet och HPA-axeln.

För att återkoppla till den longitudinella studie som gjordes i Mölndal 2003 (se avsnitt 4) anser jag att de resultat som har dokumenterats ovan ger en klar och tydligt förklaringsmodell till varför dessa förbättrade resultat inom de tre ämnena svenska, matematik och engelska kunde uppvisas och vara så påtagliga. Jag anser dessutom att de dokumenterade resultaten är tillräckligt med motiv för att ligga till grund för en utökad schemalagd mängd idrott & hälsa i den svenska skolan.

11 Referenslista

- Arias-Carrión, O. et al., 2010. Dopaminergic reward system: a short integrative review. *International Archives of Medicine*, 3, p.24.
- Baker, L.D. et al., 2010. Effects of Aerobic Exercise on Mild Cognitive Impairment: A Controlled Trial. *Archives of Neurology*, 67(1), pp.71–79.
- Ball, S.L., Gilbert, T.L.C. & Overly, C.C., 2012. The Human Brain Online: An Open Resource for Advancing Brain Research. *PLoS Biology*, 10(12), p.e1001453.
- Booth et al., 2005. Larger deficits in brain networks for response inhibition than for visual selective attention in attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Journal Of Child Psychology And Psychiatry*, 46(1), pp.94–111.
- Biddle, Stuart (2000) *Emotion, mood and physical activity*. In: Physical activity and psychological well-being. Biddle, Stuart and Fox, KR and Boutcher, SH, eds. Routledge, London, pp. 63-87.
- Binder, D. & Scharfman, H., 2004. Brain-derived neurotrophic factor. *Growth Factors*, 22(3), pp.123–131.
- Bouchard, C., 2012. Genomic predictors of trainability. *Experimental Physiology*, 97(3), pp.347–352.
- Börjesson, Mats & Jonsdottir, I., 2010. Fysisk aktivitet och stress. *Svensk Idrottsforskning*, 19, pp.10–12.
- Campeau, S. et al., 2010. Hypothalamic Pituitary Adrenal Axis Responses to Low-Intensity Stressors are Reduced After Voluntary Wheel Running in Rats. *Journal of Neuroendocrinology*, 22(8), pp.872–888.
- Castrén, E., Beringer, B., Leingartner, A. Lindholm D. 1998. *Regulation of brain-derived neurotrophic factor mRNA levels in hippocampus by neuronal activity*. *Prog Brain Res*, 117, 57-64. [PubMed: 9932400]
- Chaddock et al., 2010. A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain Research*, 1358, pp.172–183.
- Dey, Sangita, Singh, R.H. & Dey, P.K., 1992. Exercise training: Significance of regional alterations in serotonin metabolism of rat brain in relation to antidepressant effect of exercise. *Physiology & Behavior*, 52(6), pp.1095–1099.
- Dishman et al., 1996. Increased open field locomotion and decreased striatal GABA A binding after activity wheel running. *Physiology & Behavior*, 60(3), pp.699–705.

- Dishman et al., 2000. Treadmill exercise training augments brain norepinephrine response to familiar and novel stress. *Brain Research Bulletin*, 52(5), pp.337–342.
- Draganski, Bogdan., et al., 2004. Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(6972), pp.311–312.
- Du, Xin et al., 2014. UV-Triggered Dopamine Polymerization: Control of Polymerization, Surface Coating, and Photopatterning. *Advanced Materials*, 26(47), pp.8029–8033.
- Erickson, I., Kirk., et al., 2011. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), p.3017.
- Fernandes et al., 2015. Leptin Suppresses the Rewarding Effects of Running via STAT3 Signaling in Dopamine Neurons. *Cell Metabolism*, 22(4), pp.741–749.
- Hansen, A. 2016. *Hjärnstark – Hur motion och träning stärker din hjärna*. Stockholm: Fitnessförlaget
- Hatfield, Spanis & Mcgaugh, 1999. Response of amygdalar norepinephrine to footshock and GABAergic drugs using in vivo microdialysis and HPLC. *Brain Research*, 835(2), pp.340–345.
- Hedley, A.A. et al., 2004. Prevalence of Overweight and Obesity Among US Children, Adolescents, and Adults, 1999-2002. *JAMA*, 291(23), pp.2847–2850.
- Hill, L. et al., 2010. Voluntary exercise alters GABAA receptor subunit and glutamic acid decarboxylase-67 gene expression in the rat forebrain. *Journal of Psychopharmacology*, 24(5), pp.745–756.
- Hillman et al., 2009. The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), pp.1044–1054.
- Hong, S. et al., 2012. Non-Covalent Self-Assembly and Covalent Polymerization Co-Contribute to Polydopamine Formation. *Advanced Functional Materials*, 22(22), pp.4711–4717.
- Houseknecht, K.L. & Portocarrero, C.P., 1998. Leptin and its receptors: regulators of whole-body energy homeostasis. *Domestic animal endocrinology*, (6), pp.457–475.
- Huppertz, Charlotte et al., 2014. The dopaminergic reward system and leisure time exercise behavior: a candidate allele study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(5), pp.597–597.
- Jackson, A.F. & Bolger, D.J., 2014. The neurophysiological bases of EEG and EEG measurement: A review for the rest of us. *Psychophysiology*, 51(11), pp.1061–1071.

Jävervall., Sebastian & Magnus Henrekson. (red) 2016. *Svenska skolresultat rasar - vad vet vi?* Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA).

<https://www.iva.se/globalassets/info-trycksaker/iva/201609-iva-henrekson-javervall-i.pdf>

Kalueff, A.V. & Nutt, D.J., 2007. Role of GABA in anxiety and depression. *Depression and Anxiety*, 24(7), pp.495–517.

Kamijo, K. et al., 2011. The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children. *Developmental Science*, 14(5), pp.1046–1058.

Kimberg, D.Y., D'Esposito, M.J. & Farah, M., 1997. Effects of bromocriptine on human subjects depend on working memory capacity. *NeuroReport*, 8(16), pp.3581–3585.

Kopp, B., Rist, F. & Mattler, U., 1996. N200 in the flanker task as a neurobehavioral tool for investigating executive control. *Psychophysiology*, 33(3), pp.282–294.

Käll, L.B., Nilsson, M. & Lindén, T., 2014. The Impact of a Physical Activity Intervention Program on Academic Achievement in a Swedish Elementary School Setting. *Journal of School Health*, 84(8), pp.473–480.

MacLeod, Colin M., 1992. The Stroop task: the "gold standard" of attentional measures. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121(1), p.12.

Mcmorris et al., 2008. A test of the catecholamines hypothesis for an acute exercise–cognition interaction. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 89(1), pp.106–115.

McNaughten, D. & Gabbard, Carl P., 1993. The effects of physical exertion on immediate mathematical performance of sixth-grade students. *The effects of physical exertion on immediate mathematical performance of sixth-grade students*, pp.ProQuest Dissertations and Theses.

Mohammad-Zadeh, L.F., Moses, L. & Gwaltney-Brant, S.M., 2008. Serotonin: a review. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 31(3), pp.187–199.

Nichols, De & Nichols, CD, 2008. Serotonin receptors. *Chemical Reviews*, 108(5), pp.1614–1641.

Oppezzo, M., Schwartz, D.L. & Greene, Robert L., 2014. Give Your Ideas Some Legs: The Positive Effect of Walking on Creative Thinking. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(4), pp.1142–1152.

Ploughman, M., 2008. Exercise is brain food: the effects of physical activity on cognitive function. *Developmental neurorehabilitation*, 11(3), pp.236–40.

Polich, J., 2007. Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118(10), pp.2128–2148.

Robertson, G. J. 2010. Wide-Range Achievement Test. *The Corsini Encyclopedia of Psychology*. John Wiley & Sons, Inc.

Schnohr, P. et al., 2005. Stress and life dissatisfaction are inversely associated with jogging and other types of physical activity in leisure time—The Copenhagen City Heart Study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 15(2), pp.107–112.

Silva, A.P. et al., 2015. Measurement of the effect of physical exercise on the concentration of individuals with ADHD. *PloS one*, 10(3), p.e0122119.

Sternberg, S., 1966. High-Speed Scanning in Human Memory. *Science*, 153(3736), pp.652–654.

Tully, K. & Bolshakov, V.Y., 2010. Emotional enhancement of memory: how norepinephrine enables synaptic plasticity. *Molecular Brain*, 3(1), p.15.

Van Praag, H. Gerd Kempermann & Fred H. Gage, 1999. Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus. *Nature Neuroscience*, 2(3), pp.266–270.

Vaynman et al., 2006. Coupling energy metabolism with a mechanism to support brain-derived neurotrophic factor-mediated synaptic plasticity. *Neuroscience*, 139(4), pp.1221–1234.

Zimmer, P. et al., 2016. The effects of different aerobic exercise intensities on serum serotonin concentrations and their association with Stroop task performance: a randomized controlled trial. *European Journal of Applied Physiology*, 116(10), pp.2025–2034.

