



9.-luokkalaisten kokemuksia pakohuoneesta kemian työtapana

HANNU MOILANEN¹, JULIA SAARIMÄKI², JANNE SARKKINEN³, RIINA SIIVOLA⁴ JA SAMI ÄYRÄMÖ³

hannu.moilanen@norssi.jyu.fi

¹Jyväskylän yliopisto, Kasvatustieteiden ja psykologian tiedekunta, Jyväskylän normaalikoulu, ²Nuolialan koulu, Pirkkala, ³Jyväskylän yliopisto, Informaatioteknologian tiedekunta, ⁴Ranuan yhtenäiskoulu

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin pakohuonepelin käyttöä kemian työtapana yläkoulun oppisisältöjen kertauksessa. Tutkimus toteutettiin empiirisenä tapaustutkimuksena kahdella yhdeksännen luokan ryhmällä (N = 38). Aineistoa kerättiin kyselylomakkeilla ja Firstbeat-antureilla, jotka mittasivat fysiologisia muuttujia, kuten sykettä ja stressitasoa. Tulokset osoittavat, että oppilaat kokivat pakohuoneen mielekkäänä ja sitouttavana työtapana kerrata peruskoulun oppisisältöjä. Molempien luokkien oppilaiden keskimääräinen syke ja stressitaso olivat korkeammat pakohuonepelin aikana tavalliseen luonnontieteen tuntiin verrattuna. Toinen luokka koki työtavan positiivisempänä ja hyödynsi yhteistoiminnallista oppimista tehokkaammin ensimmäiseen luokkaan verrattuna. Toisen luokan kohdalla keskimääräinen syke, stressi ja energian kulutus olivat korkeampia kuin ensimmäisellä luokalla. Tulokset osoittavat, että positiivinen oppimiskokemus ja yhteistoiminnallisuus näkyvät näiden fysiologisten suureiden virittymisenä. Tutkimus korostaa pakohuoneen potentiaalia opiskeluun sitouttamisessa ja osoittaa, että fysiologisilla mittauksilla voidaan saada uutta tietoa oppimisprosessiin liittyvistä ilmiöistä.

Avainsanat

oppimiskokemus, fysiologinen mittaaminen, työtavat, pakohuonepelit

9th Graders' Experiences with an Escape Room as a Chemistry Teaching Method

Abstract

This study examined the use of an escape room game as a teaching method for reviewing lower secondary school chemistry content. The research was conducted as an empirical case study with two ninth-grade classes (N = 38). Data were collected using questionnaires and Firstbeat sensors, which measured physiological variables such as heart rate and stress levels. The results indicate that students found the escape room engaging and meaningful for reviewing core curriculum content. In both groups, students' average heart rate and stress levels were higher during the escape room activity than in a standard science lesson. One group perceived the method more positively and utilized collaborative learning more effectively than the other. The group with a more positive experience also showed higher average heart rate, stress, and energy expenditure than the first group. These findings suggest that a positive learning experience and collaboration manifest as heightened physiological responses. Overall, the study highlights the potential of escape rooms for promoting student engagement and demonstrates that physiological measurements can provide new insights into phenomena related to the learning process.

Keywords

learning experience, physiological measurement, teaching methods, escape room

Johdanto

PISA-tutkimusten mukaan nuorten mielenkiinto luonnontieteitä kohtaan sekä luonnontieteiden osaaminen on laskussa (Hiltunen ym. 2023). Tämän vuoksi myös suomalaisessa ainedidaktiikan tutkimuksessa on tärkeää tutkia uusien työtapojen mahdollisia vaikutuksia luonnontieteiden opetukseen sitoutumiseen, mielekkyyteen ja oppimiseen sekä kehittää uusia tutkimusmenetelmiä oppimiskokemusten mittaamiseen.

Viimeisen vuosikymmenen aikana opetuksen pelillistäminen on saanut kasvavaa huomiota didaktiikassa ja erityisesti luonnontieteiden opetuksessa (Alahmari ym. 2023). Pakohuonetta on käytetty työtapana luonnontieteiden opetuksessa. Pakopelillä tarkoitetaan yleisesti peliä, jossa pieninä joukkueina ratkotaan tiettyä juonta tai teemaa mukailevia arvoituksia, tehtäviä ja pulmia annetussa ajassa. Perinteisesti pakopeli toteutetaan lukitussa huoneessa, josta tehtäviä ratkomalla saa palkinnoksi vihjeitä tai avaimia seuraavien pulmien tai lukkojen avaamiseen ja siten päästään ulos huoneesta. Pulmien ratkaisemiseen joukkue tarvitsee yhteistyökykyä ja loogista päättelyä. Pakopelit ovat lisääntyneet opetuskäytössä viime vuosien aikana. Ne ovat toteutettavissa erilaisilla variaatioilla joko fyysisenä luokkahuoneeseen rakennettavana pakohuoneena tai pienempänä pulmapelinä osana oppituntia esimerkiksi omilla pulpeteilla. Opetuskäytössä pakopelin tehtävät pystytään rinnastamaan opittuun asiaan, jolloin yhteistyön ja loogisen päättelykyvyn lisäksi tarvitaan myös asiaosaamista. Opettajat ovat käyttäneet pakohuoneita lähinnä uudenlaisena aktivoivana työtapana ja oppimisympäristönä, mutta tavoitteina on ollut myös motivaation lisääminen ja tiimityötaitojen harjoittelu ja kehittäminen. (Nicholson 2015; Veldkamp ym. 2020).

Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu, että pakohuoneet voivat kehittää eri taitoja, kuten kriittistä ajattelua, tiimityötä, luovuutta (Fotaris & Mastoras 2019) sekä ongelmanratkaisutaitoja (Manzano-León ym. 2021). Niiden käytön on havaittu myös parantavan oppimistuloksia ja motivaatiota (López-Pernas ym. 2021; Taraldsen ym. 2020).

Pakohuonepelin käyttöä kemian työtapana on tutkittu aikaisemmissa tutkimuksissa ja sen käytöstä on saatu pääosin positiivisia tuloksia. Lathwesenin ja Belovan (2021) mukaan pakohuoneet vaikuttavat olevan innostava ja mukaansatempaava tapa pelillistää luonnontieteiden opetusta, mutta niiden tutkimiseen tarvitaan

paljon systemaattisempi lähestymistapa sekä enemmän empiiristä näyttöä niiden todellisista vaikutuksista oppimiseen. Pakohuonepelillä on havaittu olevan potentiaalia edistää opiskelijoiden sitoutumista ja motivaatiota (Ang ym. 2020; Clapson ym. 2020; Naumoska ym. 2022; Schimpf ym. 2023; Yayon ym. 2020). Kemian asiasisällön ja käsitteiden oppimiseen pakohuonepelin on havaittu vaikuttavan positiivisesti (mm. Clapson ym. 2020; Naumoska ym. 2022; Schimpf ym. 2023; Yayon ym. 2020). Watermeier ja Salzameda (2019) sekä Dietrich (2018) havaitsivat ryhmätyötaitojen kehittyvän pakohuonepeleissä. Lisäksi pakohuonepelin on havaittu olevan tehokas tapa kerrata kemian oppisisältöjä (Clapson ym. 2020) ja oppia kemian työskentelytaitoja (Ferreiro-González ym. 2019).

Selvityksemme mukaan tähänastisissa tutkimuksissa oppilaiden kokemuksia pakohuonepelistä on selvitetty erilaisilla kyselylomakkeilla. Tässä tutkimuksessa uutuusarvona on se, että subjektiivisten kokemusten lisäksi mitataan fysiologisia suureita oppilaiden kehoista puettavalla teknologialla. Tämä pilottitutkimus on Suomessa peruskoulun aineopetuksen saralla ensimmäinen, jossa hyödynnetään sekä fysiologisia mittauksia että kyselydataa. Tutkimuksessa käytettiin kehoon kiinnitettäviä Firsbeatin BG2-antureita, jotka mittaavat muun muassa sykevälivaihtelua, sykettä, stressiä, ihon sähkönjohtavuutta ja hengitystiheyttä. Aikaisemmista tutkimuksista (mm. Haug ym. 2009; Kreibig 2010) tiedetään, että eri tunnetilat vaikuttavat esimerkiksi sykevälivaihteluun, sykkeeseen, ihon sähkönjohtavuuteen ja hengitystiheyteen. Tunteet ja ajatukset vaikuttavat autonomisen hermoston toimintaan ja aktivoivat autonomista hermostoa eri tavoin aiheuttaen mitattavissa olevia fysiologisia muutoksia (Kreibig 2010).

Oppimisprosessiin sitoutumisen (engagement) tai kiinnittymisen on havaittu olevan yksi tärkeimmistä oppimiseen vaikuttavista tekijöistä. Sitoutuminen on moniulotteinen ilmiö, johon vaikuttavat esimerkiksi oppijan henkilökohtaiset tunnereaktiot, motivaatio, oppimisympäristö, sosiaalinen vuorovaikutus sekä tehtävän ominaisuudet kuten relevanssi ja haastavuus. Viimeaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että fysiologiset suuret, kuten syke (Heart Rate, HR), sykevälivaihtelu (Heart Rate Variability, HRV) ja ihon sähkönjohtavuus (Electrodermal activity, EDA) voivat tarjota uutta tietoa esimerkiksi opiskelijan oppimiskokemuksesta ja sitoutumisesta. (Xie ym. 2023). Esimerkiksi Bustos-López ja kollegat (2022) havaitsivat, että sykevälivaihtelulla ja ihonsähköjohtavuudella oli yhteyksiä oppilaiden sitoutumisasteeseen oppimisprosessissa.

Kehon fysiologisella virittymisellä on havaittu yhteyksiä tunneperäiseen sitoutumiseen oppimisprosessissa. Ketonen ja kumppanit (2023) havaitsivat tarkasteltaessa opiskelijoiden itse raportoitujen tunteiden yhteyksiä sykkeeseen, että innostus on yhteydessä korkeampaan sykkeeseen. Lisäksi sykkeen arvo voi ennustaa tunteiden voimakkuutta (Du ym. 2020). Hachenberger ym. (2023) osoittivat, että HRV oli johdonmukaisesti yhteydessä positiiviseen tunteeseen, kuten innostukseen ja onnellisuuteen. Myös Giannakos ym. (2020) ja Sharma ym. (2022) havaitsivat molemmat, että puettavien sensoreiden avulla mitatut fysiologiset suureet, kuten HRV, voivat ennustaa oppimiskokemusta, sitoutumista ja suorituskyyä oppimisprosessissa.

Oppimistilanteessa kohonnut positiivinen stressi eli eustressi on oppimisen kannalta positiivinen asia (Bienertova-Vasku ym. 2020). Esimerkiksi positiivisesti stressaavat tilanteet, kuten kilpailu, paineen alla työskentely tai sopivien haasteiden kohtaaminen, voivat lisätä sykettä ja stressiä, mikä parantaa suorituskyyä. Tämä on yleensä lyhytaikaista ja liittyy kehon luonnolliseen valmistautumiseen kohdata haasteita tai suoriutua tehokkaasti tehtävistä, mikä voi johtaa parempiin suorituksiin (Wen ym. 2017; Weng ym. 2019). Vastaavasti liian haastava tehtävä voi laukaista niin kutsutun estostressi-reaktion, joka vaikuttaa negatiivisesti opiskelijan motivaatioon ja kognitioon tehtävää suorittaessa (LePine ym. 2004).

Pakohuoneessa oppilaat työskentelevät yhdessä yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi ja se kuuluu yhteistoiminnallisen oppimisen työtapoihin (Laal & Laal 2012). Yhteistoiminnallisuus voi aikaansaada oppimista edesauttavien positiivisten tunteiden syntymistä (Siegel, 1999) ja lisätä sosiaalista sitoutumista (Hellström ym. 2015). Eräissä tutkimuksissa on havaittu, että yhteistoiminnallisuus voi virittää kehoa (Liu ym. 2021) ja oppimista edistäviä positiivisia tunteita (Sharma ym. 2019; Siegel, 1999). Suomessa luonnontieteiden oppimisen kontekstissa Pijeira-Díaz (2019) mittasi väitöstutkimuksessaan lukiolaisten sympaattisen hermoston viireystilaa ihon sähköjohtavuuden muutosten avulla. Hän havaitsi, että ryhmässä toimiminen virittää opiskelijoiden sympaattista hermostoa ja että fysiikan kurssikokeen aikana mitattu sympaattisen hermoston korkeampi viireystila ennusti kokeen arvosanoja. Lisäksi oppilasparien elektrodermaalisen aktiivisuuden (EDA, ihon sähkönjohtavuus) samansuuntaisuus korreloi positiivisesti oppimistulosten kanssa. Myös Silvennoinen ym. (2019) havaitsivat, että ryhmätyö, jota ohjaa opettaja, oli sitouttavampaa ja fysiologisesti stimuloivampaa kuin luennot, mikä näkyi HRV-tiedoissa.

Vaikka pakohuonepelin pedagogista potentiaalia on tutkittu aiemmin, tämä pilot-tutkimus keskittyy erityisesti sen käyttöön kemian opetuksessa suomalaisessa peruskoulussa ja pyrkii kartoittamaan oppilaiden kokemuksia pakohuonepelistä kemian työtapana. Lisäksi tutkimus pyrkii tuomaan uutta tietoa oppilaiden kokemuksista pakohuonepelistä kemian työtapana hyödyntämällä kyselylomakkeen lisäksi fysiologista dataa. Tämä avaa uusia mahdollisuuksia tutkia oppimiskokemuksia objektiivisemmin. Verrattuna aikaisempiin tutkimuksiin tässä tutkimuksessa kerättiin laajempi neljän fysiologisen muuttujan aineisto, mikä tuo uutuusarvoa tutkimukselle. Xiu ym. (2023) mukaan tulevaisuudessa voidaan rakentaa laskennallisia malleja kognitiivisen ja emotionaalisen sitoutumisen arviointiin oppimistilanteissa käyttämällä fysiologista dataa tai yhdistelmää psykologisesta ja fysiologisesta datasta. Tämän tutkimuksen yhtenä tavoitteena on edistää psyko-fysiologisten menetelmien pilotointia suomalaisen luonnontieteiden opetuksen kontekstissa.

Tutkimuksen tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Miten 9.-luokkalaiset kokivat pakohuonepelin kemian työtapana?
2. Havaittiinko fysiologisissa suureissa (Stressi, Syke, Hengitystiheys, Energiankulutus) virittymistä tavalliseen luonnontieteiden oppituntiin verrattuna ja oliko ryhmien välillä eroja?

Menetelmät

Tässä artikkelissa kuvataan opetuskokeilua, joka toteutettiin empiirisenä tapaus-tutkimuksena vuonna 2021 Jyväskylän normaalikoulun yläkoulussa.

Aineisto

Tutkimukseen osallistui kaksi yläkoulun yhdeksättä luokkaa, jotka olivat jo suorittaneet peruskoulun kemian opinnot. Kumpikin luokka jaettiin sattumanvaraisesti kolmeen 6–7 oppilaan pienryhmään, jotka osallistuivat pakohuoneeseen eri päivinä saman viikon aikana. Ensimmäiseen luokkaan kuului 19 oppilasta ja toiseen luokkaan myös 19 oppilasta. Tutkittaville oppilaille lähetettiin tieto tutkimuksesta ja tutkimuslupadokumentit kaksi viikkoa ennen tutkimusta sähköpostitse ja Wilman kautta. Tutkimukseen osallistuminen oli vapaaehtoista.

Tutkimuksen aineisto kerättiin kahdella tavalla: kyselylomakkeilla ja Firstbeat-antureilla. Tutkimuksen aikana kerätty data käsiteltiin anonymisti ja sitä käytettiin ainoastaan tutkimustarkoituksiin. Kyselyyn vastasivat molemmista luokista kaikki 19 oppilasta, mutta kaikki eivät halunneet osallistua fysiologisen datan mittaamiseen. Ensimmäisestä luokasta saatiin kerättyä 13 oppilaan dataa ja toisesta 10 oppilasta antoi luvan kerätä fysiologista dataa.

Kyselytutkimus toteutettiin sähköisesti Webropol-alustalla. Se sisälsi sekä kuusi Likert-asteikollista kysymystä että neljä avointa kysymystä. Kyselyyn vastattiin välittömästi pakohuoneen jälkeen. Kyselyllä kartoitettiin oppilaiden kokemuksia pakohuoneen pulmista, ryhmätyöskentelystä, tunnekokemuksista sekä yleisestä kokemuksesta pakohuoneesta työtapana. Kysymykset löytyvät artikkelin kappaleen 3 taulukoista 1 ja 2.

Fysiologista dataa kerättiin Firstbeatin BG2-antureilla. Firstbeat-anturit mittaavat käyttäjältä muun muassa sykettä (HR) ja sykevaihteluväliä (HRV), joista lasketaan hengitystiheys (Respiration Rate, RR), energiankulutus ja stressitaso. HRV on autonomisen hermoston (autonomous nervous system, ANS) toiminnan mittari, ja HRV-pohjaisia menetelmiä voidaan käyttää oppilaiden stressin ja palautumisen mittaamiseen (Myllymäki 2014). Tässä tutkimuksessa data on tietosuojasystistä anonymisoitu eli oppilaan nimeä ja sähköpostia ei voi yhdistää hänen mittaustuloksiinsa.

Pakohuoneen toteutus

Pakohuoneen sisällöllisenä tavoitteena oli kerrata yläkoulun kemiaa. Tutkimus liittyi kemian aineenopettajaharjoittelijoiden Tutkiva ote -opintokokonaisuuteen. Opetusharjoittelijat suunnittelivat pulmat käyttäen Titaani-kemia 7–9-kirjaa (Muilu & Virtanen 2016). Pulmia oli yhteensä kahdeksan ja niiden tavoitteena oli kerrata peruskoulun kemian oppisisältöjä. Pulmien aiheina olivat ravintoaineet, erotusmenetelmät, hapot ja emäkset, sähkökemiallinen, olomuodonmuutokset, jaksollinen järjestelmä ja liekkikokeet. Huolelliseen etukäteissuunnitteluun käytettiin aikaa ja pakohuonetta testattiin kaksi kertaa. Koeponnistuksissa oli testaajina sekä kemistejä että luonnontieteiden opettajaopiskelijoita kattavien kehitysideoiden mahdollistamiseksi. Pakohuoneen pulmatehtävien kuvaus ja toteutus löytyy linkistä <https://doi.org/10.5281/zenodo.16889546>

Tutkimukset kummankin luokan osalta toteutettiin saman viikon aikana, kuitenkin eri päivinä. Luokat asensivat Firstbeat-mittarit opettajan ohjeistuksen mukaisesti ennen klo 9.45–11.00 pidettyä verrokkituntia. Verrokkituntina molemmilla luokilla oli saman opettajan pitämä biologian tunti, sillä lukujärjestysteknisistä syistä verrokkitunniksi ei ollut mahdollista järjestää kemian tuntia. Aiheena oli ihmisen biologia. Biologian opettajalle annettiin ohjeeksi pitää tunti, joka sisältäisi perinteistä opettajajohtoista opetusta, muistiinpanojen kirjoittamista ja itsenäistä tehtävien tekemistä. Verrokkitunnilla ei käytetty yhteistoiminnallisia työtapoja tai kokeellista työskentelyä. Pakuhuone pidettiin molemmilla luokilla klo 13.15 alkavalla tunnilla. Pakuhuoneen ratkaisuun oli varattu aikaa 60 minuuttia. Ensimmäisestä pakohuonetoteutuksesta huomattiin muutama haastava kohta, jonka perusteella päätettiin helpottaa toista pakohuonetta antamalla heille kaksi oppikirjaa käyttöön. Ensimmäisen luokan kohdalla myös havaittiin, että tunteiden nimeäminen osoittautui avoimissa kysymyksissä haastavaksi. Jälkimmäiselle luokalle lisättiin kysymykseen esimerkkitunteita, kuten ilo, jännitys, ärsytys, stressi, innokkuus, toiveikkuus, onnistumisen fiilis jne.

Tilastolliset analyysit

Kumpikin luokka jaettiin pakohuonepelissä kolmeen 6–7 oppilaan pienryhmään. Kyselydata luokiteltiin aluksi pienryhmittäin, jolloin jokaiselle opetusharjoittelijalle muodostui sama työmäärä. Asteikkokysymykset (Likert-asteikko 1–7) analysoitiin tilastollisin menetelmin laskemalla asteikkokysymysten keskiarvot ja keskihajonnat. Avoimien kysymysten vastaukset luokiteltiin ja kunkin kategorian esiintyvyydet laskettiin luokkakohtaisesti. Firstbeatin BG2-mittareilla kerättiin neljä mittausaineistoa: stressi, hengitystiheys, energian kulutus ja syke, kunkin opiskelijan osalta erikseen. Tämän jälkeen pienryhmien asteikolliset muuttujat koottiin luokkakohtaiseen ($N = 19$) excel-tiedostoon ja opetusharjoittelijat laskivat luokkakohtaiset keskiarvot ja keskihajonnat. Seuraavaksi Likert-kysymysten vastausten keskiarvoille ja keskihajonnoille suoritettiin riippumaton t-testi, jotta nähdään luokkakohtaisia eroja oppilaiden vastauksissa. Lasketuille p-arvoille tehtiin vielä Bonferroni-monivertailukorjaus. Tämän jälkeen voitiin arvioida, oliko luokkien välisissä vastauksissa systemaattisia tilastollisesti merkittäviä eroja ($p < 0.05$).

Fysiologisten muuttujien tilastollisessa vertailussa molempien luokkien 1 ja 2 fysiologisista arvoista verrokkitunnilla (NORM) ja pakohuoneinterventiossa

(INT) suoritetuista mittauksista (syke, energian kulutus, hengitystiheys ja stressi) laskettiin keskiarvot ja -hajonnat (ks. taulukot 3 ja 4). Muuttujien normaalijakautuneisuus testattiin Kolmogorov-Smirnov testillä. Luokkien sisäisten NORM- ja INT-mittausten välisten erojen merkitsevyys analysoitiin Wilcoxonin testillä (engl. Wilcoxon Signed-Rank -testi) ja Bonferroni-monivertailukorjauksella. Kaikki analyysit suoritettiin käyttäen Pythonin Pandas (versio 1.3.4) ja SciPy-kirjastojen (versio 1.7.1) standardifunktioita.

Tulokset

Alla olevaan taulukkoon on koottu kyselylomakkeen asteikolliset kysymykset sekä molempien luokkien vastausten keskiarvot ja keskihajonnat. Viimeisessä sarakkeessa on vastauksille tehdyn vertailevan t-testin bonferroni-korjattu p-arvo, mikä osoittaa, onko ero tilastollisesti merkittävä ($p < 0.05$).

Taulukko 1. Kyselylomakkeen kysymykset, asteikko ja vastausten keskiarvot ja keskihajonnat

<i>Kysymys</i>	<i>Asteikko</i>	<i>Luokka1 KA (KH)</i>	<i>Luokka2 KA (KH)</i>	<i>Bonfer- roni- korjattu p-arvo</i>
1. Arvosana pako- huoneelle	1=en pitänyt yhtään – 7=huippu!	4.29 (1.60)	5.53 (1.19)	0.063
2. Opitko uutta kemiasta?	1= en yhtään/osasin kaikki – 4=Jonkin verran/hy- vää kertausta – 7=kaikki oli uutta	3.29 (1.67)	4.11 (0.64)	0.345
3. Kuinka mielekkääksi koit pakohuoneen työtapana?	1=ei mielekäs, istun mieluummin tavallisilla tunneilla – 7=huippu!	4.65 (1.78)	5.84 (1.09)	0.113
4. Arvosana omalle työskentelyllesi	1=en tehnyt mitään/ passiivinen työskentely –7=annoin kaikkeni/ aktiivinen työskentely	4.53 (2.00)	5.47 (1.14)	0.514
5. Arvosana ryhmäsi työskentelylle	1=ryhmätyöskentely ei toiminut yhtään – 7=puhalsimme hienosti yhteen hiileen	5.06 (1.30)	6.32 (0.86)	0.008
6. Toivoisitko vastaavia oppitun- teja lisää	1=en, tavalliset tunnit kunniaan! – 7=ehdotto- mast näitä lisää!	5.18 (1.89)	6.68 (0.73)	0.022

Tuloksista nähdään, että molemmat luokat kokivat pakohuoneen keskimäärin mielekkäänä työtapana. Kaikissa kysymyksissä toista kysymystä lukuun ottamatta luokkien keskiarvot olivat positiivisia. Tässä tutkimuksessa pakohuoneen tavoitteena oli kerrata yläkoulun kemiaa, eikä varsinaisesti oppia uutta, joten tämä selittää osaltaan toisen kysymyksen vastausten neutraalia tulosta. Luokka 2 arvioi yleisesti työtavan positiivisempänä kuin luokka 1, erityisesti ryhmätyöskentelyn onnistumisen ja tulevien vastaavien tuntien toivottavuuden osalta. Tilastollisesti merkittävät erot löytyivät ryhmätyöskentelyn toimivuuden osalta (kysymys 5) sekä siinä, että ryhmä 2 toivoisi lisää vastaavia oppitunteja ($p < 0.05$). Muut kysymykset (pakohuoneen arvio, uuden oppiminen kemiasta, työtavan mielekkyys ja oman työskentelyn arviointi) eivät osoittaneet tilastollisesti merkitseviä eroja, mutta luokka 2 arvioi ne kaikki korkeammiksi.

Kyselyn avoimien kysymysten vastaukset luokiteltiin kategorioihin, joista laskettiin kunkin kategorian osumat. Ensimmäiseen kysymykseen pakohuoneen pulmista suurin osa vastasi positiivisesti (15 kpl) kutsuen niitä esimerkiksi kivoiksi ja hauskoiksi. Neutraaleihin (14 kpl) luokiteltiin myös vastaukset, joissa ensin kutsuttiin pulmia vaikeiksi tai huonoiksi, mutta lopussa ymmärrettiin pulmia ja niiden ratkomistapoja kutsumatta niitä erityisen kivoiksi tai hauskoiksi. Esimerkiksi yksi vastaaja luonnehti pulmia näin

Oli vähän vaikeita mutta sitten kun sai kiinni ideasta nii tosi kivoja.

Toisessa kysymyksessä kysyttiin ryhmätyöskentelyn hyödyntämisestä. Tässä suurin osa hyödynsi ryhmätyöskentelyä jollain tavalla. Suurimmalla osalla jakautettiin pienempiin ryhmiin (16 kpl), jotka suorittivat omia tehtäviään ja välillä kommunikoivat muiden kanssa tekemisistään. Osa oppilaista ilmoitti (8 kpl), että ryhmätyötä ei hyödynnetty. Lopuissa (10 kpl) vastauksissa vastaajien mukaan toimittiin koko 6–7 oppilaan ryhmänä. Yksi vastaaja kuvaili näin ryhmiin jakautumista

tehtiin eri juttuja mut tehtiin kuitenkin kaikki ni kaikkien ajatukset tuli esille.

Kolmanneksi kysyttiin pakohuoneesta heränneitä tunteita. Luokalla 1 kyselyssä ei ollut esimerkkitunteita, ja oppilaat eivät osanneet nimetä tunteitaan kovin helposti. Luokalle 2 annettiin muutamia esimerkkitunteita: ilo, jännitys, ärsytys,

stressi, innokkuus, toiveikkuus ja onnistumisen fiilis. Näiden avulla tunteita saatiin runsaammin kuin ensimmäisellä ryhmällä.

Eniten esiintyi positiivisia tunteita (14 kpl) kuten innokkuutta, iloa ja onnistumisen tunnetta. Myös negatiivisia tunteita (12 kpl) esiintyi, mutta ne eivät olleet vastauksissa ainoita tunteita. Yksi vastaaja kuvailee tunteitaan näin

Onnistumisen iloa, turhautumista ja itsekriittisyyttä :)))

Viimeiseksi oli vapaan sanan vuoro, johon vastasi 24 oppilasta. Suurimmassa osasta näissä (12 kpl) oli jotain positiivista, kuten *oli kivaa* tai *hauskaa vaihtelua*. Muutamassa oli myös kommentteja pakohuoneesta oppimiskeinona. Yksi analysoi suoritustaan seuraavasti:

Oli tosi kiva varsinkin, kun oltiin loppusuoralla ja saatiin koko homma selvitettyä.

Toinen oppilas piti siitä, että pakohuone toi vaihtelua normaaleihin tunteihin:

oli kiva oppimistapa, hyvää vaihtelua normi tunteihin

Molempien luokkien vastaukset on esitetty alla olevassa taulukossa 2

Taulukko 2. Avoimien kysymysten vastausten luokittelu

<i>Avoim kysymys</i>	<i>Luokittelu</i>	<i>Ensimmäinen luokka (lukumäärä)</i>	<i>Toinen luokka (lukumäärä)</i>
1. Mitä mieltä olit pakohuoneen pulmista?	Neg.	10	2
	Neutr.	4	10
	Pos.	3	12
2. Miten hyödynsitte ryhmätyöskentelyä pakohuoneessa?	Ei hyödynnetty	6	2
	Yhdessä	2	8
	Jakauduttiin	6	10
3. Millaisia tunteita pakohuone-työskentely herätti?	Neg.	4	2
	Neutr.	6	2
	Jännitys	2	4
	Pos.	4	12
4. Vapaa sana	Neg.	2	2
	Pos.	2	10

Verrattaessa ensimmäisen ja toisen luokan kyselyn avoimien kysymysten vastauksia keskenään, huomataan, että luokalla 2 vastaukset olivat positiivisempia sekä pidempiä. Esimerkiksi pulmista kysyttäessä luokalla 1 ainoastaan viidesosa ensimmäisen luokan vastauksista oli positiivisia. Luokalla 2 positiivisia vastauksia oli nelinkertainen määrä, puolet vastauksista. Toisella luokalla hyödynnettiin myös enemmän ryhmätyöskentelyä, kun melkein kolminkertainen määrä ensimmäiseen luokkaan verrattuna ilmoitti ryhmätyöskentelyn hyödyntämisestä. Kolmannessa kysymyksessä olleista esimerkkিতunteista toisen luokan kohdalla oli todennäköisesti vaikutusta suuremman vastausfrekvenssin saamiseen. Toisen luokan vapaassa sanassa oli huomattavan enemmän positiivisia kommentteja

verrattuna ensimmäiseen luokkaan, jolla positiivisia ja negatiivisia kommentteja oli sama määrä.

Erot fysiologisissa muuttujissa tavallisen oppitunnin ja pakohuonepelin välillä

Toinen tutkimuskysymys tarkastelee, havaittiinko fysiologisissa suureissa viritymistä tavalliseen luonnontieteiden oppituntiin verrattuna. Alla oleviin taulukoihin 3 ja 4 on koottu ryhmien fysiologisten suureiden keskiarvot tavallisen biologian tunnin (NORM) ja kemian pakohuonepelin (INT) välillä.

Taulukko 3. Luokan 1 keskiarvot ja -hajonnat mitatuille muuttujille normaalissa luokahuonetilanteessa (NORM) ja pakohuoneinterventiossa (INT). HR = syke; EE = energian kulutus; RR = hengitystiheys; STRESS=Stressi.

<i>Luokka 1</i>				
	HR	EE	RR	STRESS
NORM	85.3 ± 10.1	14.8 ± 3.9	16.6 ± 1.3	95.7 ± 24.1
INT	93.8 ± 10.7***	17.0 ± 5.4	17.4 ± 3.6	116.2 ± 27.9*

Luokalla 1 keskimääräinen syke (HR) nousi merkittävästi ($p < 0,001$) pakohuoneessa ($93,8 \pm 10,7$) verrattuna tavalliseen oppituntiin ($85,3 \pm 10,1$). Myös stressitasot (STRESS) olivat merkittävästi korkeammat interventiossa ($116,2 \pm 27,9$; $p < 0,05$).

Taulukko 4. Luokan 2 keskiarvot ja -hajonnat mitatuille muuttujille normaalissa luokkahuonetilanteessa (NORM) ja pakohuoneinterventiossa (INT). HR = syke; EE = energian kulu-tus; RR = hengitystiheys; STRESS=Stressi.

Luokka 2				
	HR	EE	RR	STRESS
NORM	75.8 ± 4.7	12.0 ± 2.5	16.6 ± 2.0	73.1 ± 14.2
INT	87.9 ± 8.4**	15.4 ± 3.6**	16.9 ± 2.0	106.1 ± 22.0*

Luokalla 2 havaittiin vastaavia muutoksia, joissa syke (HR) nousi merkittävästi ($p < 0,01$) interventiossa ($87,9 \pm 8,4$) verrattuna tavalliseen tuntiin ($75,8 \pm 4,7$). Energian kulutus (EE) kasvoi myös merkittävästi ($p < 0,01$) ryhmällä 2 pakohuoneessa ($15,4 \pm 3,6$) verrattuna tavallisella oppitunnilla mitattuihin arvoihin ($12,0 \pm 2,5$). Molemmissa ryhmissä hengitystiheyden (RR) nousu oli vähäistä eikä tilastollisesti merkitsevää. On huomattavaa, että toisella luokalla keskimääräinen syke ja stressi nousivat enemmän pakohuonepelissä verrokkituntiin verrattuna. Ensimmäisellä luokalla keskimääräinen syke oli pakohuonepelissä 10,0 prosenttia korkeampi ja stressi 21,4 prosenttia korkeampi kuin biologian tunnilla. Toisella luokalla syke nousi 16,0 prosenttia ja stressi 45,1 prosenttia verrokkituntiin verrattuna.

Pohdinta ja johtopäätökset

Tutkimuksen asteikollisten kysymysten vastausten tulokset osoittavat, että pakohuone koettiin mielekkääksi ja sitouttavaksi kemian työtavaksi kerrata kemian peruskoulun oppisisältöjä. Tämä tukee aikaisempia tutkimuksia, joissa pakohuoneiden on havaittu lisäävän opiskelumotivaatiota ja oppimisen mielekkyyttä (Ang ym. 2020; Clapson ym. 2020; Naumoska ym. 2022; Schimpf ym. 2023 ja Yayon ym. 2020). Avoimien tehtävien vastausten analysoinnissa ilmeni, että ensimmäinen luokka, joka ratkaisi pulmia ilman oppikirjaa, koki itse pulmat negatiivisempana kuin kirjaa apuna käyttänyt toinen luokka. Ensimmäisellä luo-

kalla myös yhteistyön hyödyntäminen ja positiivisten tunteiden esiintyminen oli vähäisempää avoimissa vastauksissa. Jälkimmäiseen saattoi vaikuttaa se, että toiselle luokalle annettiin esimerkkintunteita avoimen kysymyksen avuksi. Ryhmytyön toimivuuden tiedetään vaikuttavan positiivisten tunteiden esiintymiseen ja sitoutumiseen (Laal & Ghodsi 2012) ja tämä osaltaan selittää paremmin yhteistoiminnallista oppimista hyödyntäneen toisen luokan positiivisempia vastauksia. Toisaalta näyttää myös siltä, että osalle ensimmäisen luokan oppilaista ilman kirjaa tehtynä pakohuoneen tehtävät olivat liian haastavia, mikä saattoi aiheuttaa negatiivisia tunteita ja negatiivista estostressiä (LePine ym. 2004; Xie ym. 2023).

Tulokset osoittavat, että molemmilla ryhmillä tapahtui tilastollisesti merkitseviä fysiologisia muutoksia pakohuoneinterventiossa normaaliin biologian oppituntiin verrattuna. Molempien ryhmien keskimääräinen syke ja stressi olivat koholla verrattuna verrokkituntiin. Tulokset tukevat aikaisempia tutkimuksia, joiden mukaan emotionaalinen sitoutuminen oppimisprosessissa ja positiiviset tunteet näkyvät kehon fysiologisessa virittymisessä (Bustos-López ym. 2022; Du ym. 2020; Giannakos ym. 2020; Hachenberger ym. 2023; Ketonen ym. 2023; Sharma ym. 2022). Lisäksi toisen luokan energian kulutus oli pakohuoneessa koholla verrattuna tavallisella oppitunnilla mitattuihin arvoihin. Tämä perustuu pääosin kohonneeseen sykkeeseen ja sykevälivaihteluun (Myllymäki 2014). Toinen luokka koki työtavan positiivisempänä ja hyödynsi yhteistoiminnallista oppimista tehokkaammin ensimmäiseen luokkaan verrattuna. Toisella luokalla fysiologinen virittyminen sykkeen ja stressin kohdalla oli merkittävästi ensimmäistä luokkaa suurempi. Tämä tukee muun muassa Pijeira-Díazin (2019) ja Silvennoisen ym. (2019) havaintoja, joiden mukaan ryhmässä toimiminen ja sosiaalinen sitoutuminen virittää sympaattista hermostoa. Toinen luokka koki työtavan keskimäärin positiivisempänä, mikä saattoi myös vaikuttaa korkeampaan virittymiseen (Du ym. 2020).

Vastaavasti hengitystiheydellä (RR) ei ollut merkittävää eroa kummallakaan luokalla kummankaan tunnin välillä, mikä osoittaa, että pakohuonetunti ei ollut merkittävästi fyysisesti aktiivisempi biologian tuntiin verrattuna.

Jatkotutkimuksessa olisi mielenkiintoista saada mittauksiin lisää muuttujia, kuten aivosähköjä mittaavaa EEG-dataa, jotta saataisiin tarkempaa tietoa, miten merkitykselliset ja mielekkäät oppimiskokemukset näkyvät kehon ja aivojen virittymisessä.

Pakohuoneen toteuttaminen vaatii opettajalta merkittäviä resursseja, kuten materiaalihankintoja, tilavarauksia ja useamman valvojan läsnäoloa, joten sen viikoittainen toteutus on haastavaa tavallisessa koulussa. Toki uudet immersioiviset XR-teknologiaan perustuvat oppimistilat, joissa luokkahuoneen seinille voidaan luoda erilaisia tiloja ja huoneita, voivat helpottaa tulevaisuudessa pakohuonepelien pedagogista hyödyntämistä. Aikaisemmissa tutkimuksissa kemian pakohuonepeli oli normaalin kemian opetuksen rutiinia rikkova kertaluontoinen opetuskokeilu ja näin ollen uutuudenviehätyksellä saattaa olla vaikutusta oppilaiden positiivisiin kokemuksiin ja keholliseen virittymiseen. Jatkotutkimuksessa pakohuonepelin vaikutuksia oppimiskokemukseen ja oppimiseen pitäisikin tarkastella pidemmällä aikavälillä.

Jatkotutkimuksessa anturidatan sekä kyselyvastausten väliset yhteydet kaipaavat syvällisempää oppilaskohtaista analyysia. Tässä tutkimuksessa tulokset analysoitiin ryhmäkohtaisesti anonymisoituna datana, jossa yksittäisen oppilaan fysiologista dataa ja kyselydataa ei voitu yhdistää. Jatkotutkimuksissa tavoitteena on näiden yhdistäminen. Jyväskylän normaalikoululle on rakennettu järjestelmä, joka mahdollistaa fysiologisen datan ja reaaliaikaisen kyselydatan yhdistämisen tietoturvasyistä ja eettisesti. Tämä tarjoaa lisää mahdollisuuksia selvittää, miten esimerkiksi yksittäinen työtapu tunnilla näkyy tutkimusdatassa ja tarjoaa tarkempaa tietoa, miten positiivinen tai negatiivinen oppimiskokemus näkyy oppilaskohtaisissa muuttujissa. Tutkimuksessa ei myöskään saatu vastausta siihen, onko pakohuone oppimismenetelmänä hyödyllinen itse kemian sisältöoppimisen kannalta. Jatkossa olisi mielenkiintoista kartoittaa oppilaiden sisältöoppimisen kehittämisestä pakohuonepelissä.

Teknologian kehittyminen haastaa myös perinteisen oppimisen tutkimuksen ja uusien työtapojen kehitystyön. Esimerkiksi oppimiskokemuksen ja sitoutumisen mittaaminen oppimistilanteissa voidaan toteuttaa yhdistämällä itsearviointit, havainnointi, fysiologiset mittaukset ja moderni teknologia. Tulevaisuudessa erilaista dataa voidaan kerätä helpommin ja monipuolisemmin sekä tilannesidonnaisesti, pitkittäisesti että moniulotteisesti. Uusien menetelmien avulla voidaan kerätä tarkempaa ja kattavampaa dataa, joka voi auttaa ymmärtämään oppimisprosessia sekä kehittämään sitouttavampia ja mielekkäämpiä työtapoja.

Lähteet

- Alahmari, M., Jdaitawi, M. T., Rasheed, A., Abduljawad, R., Hussein, E., Alzahrani, M., & Awad, N. (2023). Trends and gaps in empirical research n gamification in science education: A systematic review of the literature. *Contemporary Educational Technology*, 15(3). <https://doi.org/10.30935/cedtech/13177>
- Ang, J. W. J., Ng, Y. N. A., & Liew, R. S. (2020). Physical and digital educational escape room for teaching chemical bonding. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 2849–2856. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00612>
- Bienertova-Vasku, J., Lenart, P., & Scheringer, M. (2020). Eustress and distress: Neither good nor bad, but rather the same? *BioEssays*, 42(7), 1900238. <https://doi.org/10.1002/bies.201900238>
- Bustos-López, M., Cruz-Ramírez, N., Guerra-Hernández, A., Sánchez-Morales, L. N., Cruz-Ramos, N. A., & Alor-Hernández, G. (2022). Wearables for engagement detection in learning environments: A review. *Biosensors*, 12(7), 509. <https://doi.org/10.3390/bios12070509>
- Clapson, M. L., Gilbert, B., Mozol, V. J., Schechtel, S., Tran, J., & White (2019). ChemEscape: Educational battle box puzzle activities for engaging outreach and active learning in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 125–131. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00612>
- Dietrich, N. (2018). Escape classroom: The LeBlanc process—An educational “escape game.” *Journal of Chemical Education*, 95(6), 996–999. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00690>
- Du, G., Long, S., & Yuan, H. (2020). Non-contact emotion recognition combining heart rate and facial expression for interactive gaming environments. *IEEE Access*, 8, 11896–11906. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964794>
- Ferreiro-González, M., Amores-Arrocha, A., Espada-Bellido, E., Aliaño-Gonzalez, M. J., Vázquez-Espinosa, M., González-de-Peredo, A. V., Sancho-Galán, P., Álvarez-Saura, J. Á., Barbero, G. F., & Cejudo-Bastante, C. (2019). Escape Classroom: Can you solve a crime using the analytical process? *Journal of Chemical Education*, 96(2), 267–273. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00601>
- Fotaris, P., & Mastoras, T. (2019, October). Escape rooms for learning: A systematic review. In: *Proceedings of the European Conference on Games Based Learning* (235–243). <https://www.scopus.com/pages/publications/85075315054>

- Giannakos, M. N., Sharma, K., Papavlasopoulou, S., Pappas, I. O., & Kostakos, V. (2020). Fitbit for learning: Towards capturing the learning experience using wearable sensing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 136, 102384. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.102384>
- Hachenberger, N., Baethge, A., Junker, N., & Rigotti, T. (2023). Does work engagement physiologically deplete? Results from a daily diary study. *Work & Stress*, 37(1), 1–20. <https://doi.org/10.1080/02678373.2020.1857466>
- Haug, E., Sand, O., Sjaastad, Ø. V., Toverud, K. C., & Sillman, K. (1995). *Ihmisen fysiologia*. WSOY.
- Hellström, M., Johnson, P., Leppilampi, A., & Sahlberg, P. (2015). *Yhdessä oppiminen: Yhteistoiminnallisuuden käytäntö ja perusteet*. Into.
- Hiltunen, J., Ahonen, A., Hienonen, N., Kauppinen, H., Kotila, J., Lehtola, P., ... & Vettenranta, J. (2023). *PISA 2022 ensituloksia*.
- Ketonen, E. E., Salonen, V., Lonka, K., & Salmela-Aro, K. (2023). Can you feel the excitement? Physiological correlates of students' self-reported emotions. *British Journal of Educational Psychology*, 93(1), 113–129. <https://doi.org/10.1111/bjep.12534>
- Kreibig D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: A review. *Biological Psychology*, 84(3), 394–421. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.03.010>
- Laal, M., & Ghodsi M. (2012). Benefits of collaborative learning. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 31, 486–490. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.091>
- Laal, M., & Laal, M. (2012). Collaborative learning: What is it? *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 31, 491–495. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.092>
- Lathwesen, C., & Belova, N. (2021). Escape rooms in STEM teaching and learning—Prospective field or declining trend? A literature review. *Education Sciences*, 11(6), 308. <https://doi.org/10.3390/educsci11060308>
- LePine, J. A., LePine, M. A., & Jackson, C. L. (2004). Challenge and hindrance stress: Relationships with exhaustion, motivation to learn, and learning performance. *Journal of Applied Psychology*, 89(5), 883–891. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.89.5.883>
- Liu, T., Lin, Y., Tsai, M., & Paas, F. (2012). Split-attention and redundancy effects on mobile learning in physical environments. *Computers & Education*, 58(1), 172–180. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.08.007>

- López-Pernas, S., Gordillo, A., Barra, E., & Quemada, J. (2019). Examining the use of an educational escape room for teaching programming in a higher education setting. *IEEE Access*, 7, 31723–31737. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2902976>
- Manzano-León, A., Rodríguez-Ferrer, J. M., Aguilar-Parra, J. M., Martínez Martínez, A. M., Luque de la Rosa, A., Salguero García, D., & Fernández Campoy, J. M. (2021). Escape rooms as a learning strategy for special education master's degree students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14), 7304. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147304>
- Muilu, H., & Virtanen, T. (2016). *Titaani kemia* 7–9. Otava.
- Myllymäki, T. (2014). *Stress and recovery analysis method based on 24-hour heart rate variability*. Firstbeat Technologies Ltd.
- Naumoska, A., Dimeski, H., & Stojanovska, M. (2023). Using the escape room game-based approach in chemistry teaching. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 88(5), 563–575. <https://doi.org/10.2298/JSC211228088N>
- Nicholson (2015). *Peeking behind the locked door: A survey of escape room facilities*. <http://scottnicholson.com/pubs/erfacwhite.pdf> [Luettu 14.8.2025.]
- Pijera Díaz, H. J. (2019). *Electrodermal activity and sympathetic arousal during collaborative learning* (Väitöskirja). <https://urn.fi/URN:ISBN:9789526222196>
- Schimpf, C., Lachmann, J., Wetzels, M. H., Fischer, P. D., Leineweber, A., & Rafaja, D. (2023). Escape our Lab: Creating an escape room game in the field of materials science and crystallography. *Journal of Applied Crystallography*, 56(5), 1544–1556. <https://doi.org/10.1107/S1600576723006714>
- Sharma, K., Pappas, I., Papavaslopoulou, S., & Giannakos, M. (2022, July). Wearable sensing and quantified-self to explain learning experience. Teoksessa 2022 *International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (136–138). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICALT55010.2022.00048>
- Siegel, D. J. (1999). *The developing mind*. Guilford Press.
- Silvennoinen, M., Mikkonen, J., Manu, M., Malinen, A., Parviainen, T., & Vesisenaho, M. (2019). New methods deepening understanding of students' experiences and their relation to physiological alertness variations during learning. Teoksessa L. Gómez Chova, A. López Martínez, & C. Torres (toim.), *EDULEARN19 Proceedings. 11th International Conference on Education and New Learning Technologies* (pp. 9219–9228). IATED Academy. *EDULEARN Proceedings*. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.2290>

- Taraldsen, L. H., Haara, F. O., Lysne, M. S., Jensen, P. R., & Jenssen, E. S. (2022). A review on use of escape rooms in education—Touching the void. *Education Inquiry*, 13(2), 169–184. <https://doi.org/10.1080/20004508.2020.1860284>
- Veldkamp, A., van de Grint, L., Knippels, M. C. P., & van Joolingen, W. R. (2020). Escape education: A systematic review on escape rooms in education. *Educational Research Review*, 31, 100364. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100364>
- Watermeier, D., & Salzameda, B. (2019). Escaping boredom in first semester general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 96(5), 961–964. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00831>
- Wen, W., Tomoi, D., Yamakawa, H., Hamasaki, S., Takakusaki, K., An, Q., ... & Asama, H. (2017). Continuous estimation of stress using physiological signals during a car race. *Psychology*, 8(7), 978–986. <https://doi.org/10.4236/psych.2017.87064>
- Weng, Y., Zheng, B., & Dong, Y. (2022). Time pressure in translation: Psychological and physiological measures. *Target*, 34(4), 601–626. <https://doi.org/10.1075/target.20148.wen>
- Xie, K., Vongkulluksn, V. W., Heddy, B. C., & Jiang, Z. (2023). Experience sampling methodology and technology: An approach for examining situational, longitudinal, and multi-dimensional characteristics of engagement. *Educational Technology Research and Development*. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10259-4>
- Yayon, M., Rap, S., Adler, V., Haimovich, I., Levy, H., & Blonder, R. (2019). Do-it-yourself: Creating and implementing a periodic table of the elements chemical escape room. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 132–136. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00660>