

# Med accelerometrar kan fysisk aktivitet mätas objektivt

## SNABB METODUTVECKLING, MEN MER KOMPETENS KRÄVS FÖR ANVÄNDNING FULLT UT I KLINISK PRAXIS

**Daniel Arvidsson**, docent, Centrum för hälsa och prestation, institutionen för kost- och idrottsvetenskap, Göteborgs universitet  
 ● daniel.arvidsson@gu.se

**Daniel Berglind**, med dr, institutionen för folkhälsovetenskap, Karolinska institutet, Stockholm

**Patrick Bergman**, docent, institutionen för idrottsvetenskap, Linnéuniversitetet, Kalmar

**Örjan Ekblom**, docent, enheten för fysisk aktivitet och hälsa, Gymnastik- och idrottshögskolan, Stockholm

**Andreas Fröberg**, fil dr, institutionen för kost- och idrottsvetenskap, Göteborgs universitet

**Maria Hagströmer**, professor, institutionen för hälsofrämjande vetenskap, Sophiahemmet högskola, Stockholm

**Marie Löf**, professor, institutionen för medicin och hälsa, Linnéuniversitet; institutionen för biovetenskaper och näringslära, Karolinska institutet, Huddinge

**Gisela Nyberg**, med dr, institutionen för folkhälsovetenskap, Karolinska institutet; Gymnastik- och idrottshögskolan, Stockholm; samtliga för nätverket NORM

**Fysisk inaktivitet** är en av de största riskfaktorerna för sjukdom och förtida död [1]. Det är därför av stor vikt inom forskning, hälso- och sjukvård och i nationella undersökningar att mäta fysisk aktivitet med enkel och tillförlitlig metodik. Traditionellt har frågeformulär använts, men under 1990-talet revolutionerades möjligheten att använda kroppsburna sensorer som accelerometrar. Tack vare den snabba utvecklingen inom datavetenskap kan accelerometrarna i dag hantera stora mängder data över långa tidsperioder, som kan ingå i mer komplexa databearbetningar.

Detta innebär många nya möjligheter men ställer också större krav på användarna. Ett flertal faktorer påverkar utfallet vid användning av accelerometrar, varav några kan bedömas som kritiska för kvaliteten hos resultaten.

Nedan följer en översikt över mätning av fysisk aktivitet och stillasittande med accelerometrar samt kritiska faktorer att ta hänsyn till vid datainsamling och databearbetning för att uppnå så hög kvalitet som möjligt vid användning av accelerometrar inom forskning och klinisk verksamhet.

### Att mäta fysisk aktivitet – subjektivt och objektivt

Fysisk aktivitet definieras som all kroppsrörelse som ökar energiförbrukningen utöver vila [2]. Ett stillasittande beteende betyder att vara på en låg nivå av energiförbrukning (maximalt 1,5 gånger vila) i sittande, bakåtlutad eller liggande position, medan fysisk inaktivitet innebär att inte uppnå rekommenderad mängd fysisk aktivitet [3]. De komponenter av fysisk aktivitet som samvarierar med hälsoutfall är

- intensitet (delas ofta upp lätt, måttlig och hög)
- varaktighet
- frekvens
- typ av aktivitet.

Vid val av metod för att mäta fysisk aktivitet är det viktigt att den har hög precision (mäter samma sak om igen) och noggrannhet (mäter det som avses att mätas). Det betyder att kunna fånga variationen i fysisk aktivitet mellan individer och inom individer över tid. Metoderna delas upp i subjektiva och objektiva.

Till gruppen subjektiva metoder hör frågeformulär, intervju och dagbok. Dessa metoder är beroende av individens förmåga att minnas och korrekt uppskatta den fysiska aktiviteten. Subjektiva metoder uppvisar generellt hög mätosäkerhet (ett fåtal av dem uppnår acceptabel precision och noggrannhet), som kan variera beroende på gruppstillhörighet [4, 5]. Hur frågor-

### »Ett flertal faktorer påverkar utfallet vid användning av accelerometrar ...«

na ställs [6] liksom individens språkliga förståelse och kulturella bakgrund [7] påverkar också utfallet och begränsar därmed den generella tillämpbarheten av subjektiva metoder.

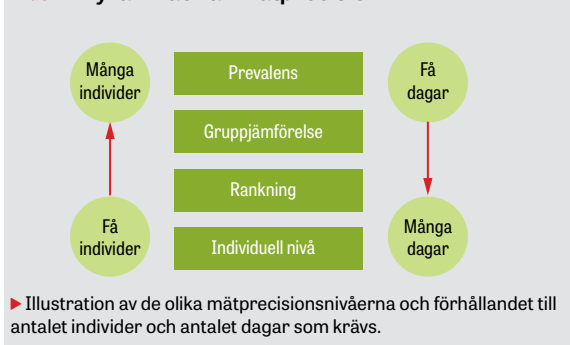
Accelerometrar tillhör gruppen objektiva metoder och kan fastställa intensitet, varaktighet, frekvens och typ av fysisk aktivitet utan att vara beroende av individens minne och förmåga att rapportera. En accelerometer bärs vid höften, handleden, fotleden eller på låret och fästs med hjälp av elastiska band eller hudvänlig tejp. Accelerometrar som ofta används är Actigraph, Activpal, Actiwatch, Geneactiv, Actical och Axivity. Actigraph är den vanligaste accelerometern och har bidragit stort till den metodologiska kunskapen inom fysisk aktivitetsforskning [8, 9]. Därmed är den också utgångspunkt för genomgången av fysisk aktivitetsmätning med accelerometrar i denna översikt.

Studier visar på stora skillnader i uppmätt fysisk aktivitet mellan subjektiva och objektiva metoder: subjektiva metoder tenderar att underskatta stillasit-

### HUVUDBUDSKAP

- Accelerometrar används i stor utsträckning inom forskning och i viss grad i klinisk verksamhet för att fastställa fysisk aktivitet, men de ställer krav på användarna.
- God kännedom krävs om utformning av mätprotokoll och bearbetning av rådata till användbara mått, som kan användas i lämpliga statistiska analyser för att undvika mätfel.
- Mätfel medför felskattning av den fysiska aktiviteten, uteblivna gruppskillnader, försvagade samband med hälsa och felaktiga slutsatser om interventionseffekter.
- Mätning av fysisk aktivitet i klinisk verksamhet främjas genom samarbete mellan kliniskt verksamma, kliniska forskare och forskare med metodologisk kompetens inom fysisk aktivitetsmätning.

**FIGUR 1. Fyra nivåer av mätprecision**



tande och överskatta måttlig och hög fysisk aktivitet [10]. Dessa skillnader påverkas av kön, ålder och socioekonomisk tillhörighet. Oftast visar objektiva metoder på en betydande större andel som är fysiskt inaktiva än vad subjektiva metoder gör [11]. Ytterligare betydande bidrag med objektiva metoder är att sambandet med olika hälsoutfall blir starkare [12].

Det är dock viktigt att påpeka att också objektiva metoder, även om de bedöms vara mer pålitliga än subjektiva har begränsningar vad gäller att fånga vissa aktiviteter, t ex styrketräning, cykling eller simning.

### Att fånga variationen vid datainsamling

Den fysiska aktivitetsnivån varierar från dag till dag runt en »sann« genomsnittsnivå. Denna »sanna« nivå kallas för individens vanemässiga fysiska aktivitetsnivå. På kort sikt påverkas variationen av väder eller veckodag. På längre sikt varierar aktivitetsnivån beroende på årstid. Denna naturliga variation medför mätosäkerhet, dvs slumpmässiga mätfel. Det är viktigt att minimera det slumpmässiga mätfel för att kunna fånga en individs sanna nivå.

Studier kan delas in i fyra nivåer beroende på kravet på mätprecision (Figur 1) [13]. På den första nivån befinner sig studier vilkas syfte är att undersöka medelvärdet av fysisk aktivitet i en grupp eller prevalens av tillräckligt fysiskt aktiva. På den andra nivån befinner sig studier där grupper jämförs, t ex randomiserade kontrollerade studier. Den tredje precisionsnivån handlar om att rangordna individer, och den fjärde nivån innebär att bestämma en individs vanemässiga aktivitetsnivå, vilket är målet för kliniska undersökningar.

På de två första nivåerna är det viktigt att minimera medelvärdets felskattning [14]. Medelvärdets felskattning ingår i beräkningarna av såväl konfidensintervall som testvärden (t ex t-test). En låg felskattning av medelvärdet innebär ett smalt konfidensintervall med minskad osäkerhet vid prevalensberäkningar eller ett högt t-värde, vilket ger en större statistisk styrka att upptäcka skillnader mellan grupper.

Inom accelerometerbaserad forskning finns det två sätt att minimera medelvärdets felskattning: antingen genom att genomföra upprepade observationer av varje individ eller genom att öka antalet individer. Information om vilket sätt som är bäst för att få en så låg

felskattning av medelvärdet som möjligt saknas inom fysisk aktivitetsforskning. Baserat på information från nutritionsepidemiologi är det sannolikt bättre att maximera antalet individer i studien [14].

Om intresset ligger i att rangordna individer och att felklassificeringen mellan grupperna ska vara så liten som möjligt gäller det i stället att öka antalet observationer av varje individ [15]. Detta är en vanlig situation vid epidemiologiska frågeställningar där man ofta vill skapa heterogena grupper (otillräckligt aktiv, tillräckligt aktiv och väldigt aktiv). En god tumregel kan vara att omkring 4-5 dagars mätning är tillräcklig för att korrekt ranka individer.

Studier som befinner sig på den fjärde nivån syftar till att analysera samband mellan fysisk aktivitet på individnivå och en annan variabel mätt på individnivå, exempelvis om man är intresserad av att undersöka sambandet mellan glukosmetabolism (t ex HbA<sub>1c</sub>) och fysisk aktivitet eller när man ger individuella råd som vid fysisk aktivitet på recept (FaR).

Undersökning av hur många dagar av upprepade observationer som krävs för att identifiera en individs vanemässiga fysiska aktivitetsnivå, dvs på nivå fyra, indikerar att det krävs betydligt fler dagar än för att kunna rangordna individerna.

Antalet dagar beror också på vilket mått man är intresserad av. Det kan behövas endast 3-4 dagar för att fastställa stillasittande, medan 1 månad kan krävas för att fastställa måttlig och hög fysisk aktivitet [16]. Vanligtvis tillämpas 7-dagarsmätning inom klinisk och epidemiologisk forskning.

Ytterligare en fråga som berör variationen av den fysiska aktiviteten handlar om i hur korta tidsintervaller (epoker) den fysiska aktiviteten fastställs. Barn har ett mer varierat aktivitetsmönster, där man kan se att hög fysisk aktivitet ofta utgör intervaller kortare än 10 sekunder [17]. Vuxna uppvisar ett mer kontinuerligt aktivitetsmönster. Det är vanligt att fastställa den fysiska aktiviteten hos vuxna i epoker på 60 sekunder [8], men man riskerar då att missa intermittent aktivitet (t ex fotboll, handboll, innebandy), som hos vissa individer utgör en betydande del av den fysiska aktiviteten. Korta epoker (<10 sekunder) fångar variationen av aktivitetsintensiteten bättre och är därmed att rekommendera för både barn och vuxna.

### Bearbetning av rådata till användbara mått

En accelerometer registrerar accelerationens riktning och storlek. Databearbetning genomförs i flera steg för att omvandla accelerationsdata till mått som kan representera rörelseintensitet, kroppsposition eller aktivitetstyp och kalibrera dessa mot referensmetoder

»Oftast visar objektiva metoder på en betydande större andel som är fysiskt inaktiva än vad subjektiva metoder gör ...«

## »Databearbetning genomförs i flera steg för att omvandla accelerationsdata till mått som kan representera rörelseintensitet, kroppsposition eller aktivitetstyp ...«

som indirekt kalorimetri eller direkt observation [9]. Informationen om dessa bearbetningssteg är inte alltid tillgänglig från producenten och kräver oftast teknisk kompetens för att förstå. Skillnader i dessa steg kan påverka precision och noggrannhet i skattningen av den fysiska aktiviteten.

Rådata från de tidigaste och mest etablerade accelerometrarna bearbetas till ett mått på aktivitetsintensitet som kallas »counts«. Detta mått har ingen enhet, vilket försvårar den kliniska tillämpningen. Det har medfört ett stort antal kalibreringsstudier för att fastställa energiförbrukning eller gränsvärden för olika intensitetsnivåer (t ex stillasittande, måttlig aktivitet, hög aktivitet). Detta har försvårat jämförbarheten mellan populationsstudier, eftersom distributionen mellan intensitetsnivåer liksom andelen fysiskt aktiva påverkas av vilka gränsvärden för aktivitetsintensitet som används [18].

Counts från accelerometern Actigraph med placering vid höften tillhör det mest tillämpade måttet på aktivitetsintensitet [8]. Under senare år har placering av accelerometer på handleden och låret rönt större intresse. Placering på handleden gör aktivitetsmätning mer bekväm, medan lårpaceringen syftar till att fånga kroppsposition och aktivitetstyp. Vid tillämpningen av Actigraph-counts har höftpositionen visats vara bättre för att fastställa stillasittande och fysisk aktivitet än placering på handleden [19].

Actigraph-counts har dock kritiserats för avsaknad av standardiserad enhet och brist på transparens i databearbetningen, vilket minskar möjligheten till jämförelse med andra metoder. Dessutom har ett mätfel observerats, vilket innebär att Actigraph-counts planar ut vid en löphastighet högre än ca 10 km/h, trots att rådatasignalen fortsätter att stiga [20]. Detta förklaras av en alltför snäv frekvensfiltrering med syfte att ta bort brus [21]. Mätfelet påverkar dock inte bara hög intensitet utan även måttlig intensitet. Mätfelet påverkas i högre grad vid högre stegfrekvens, som hos korta individer och barn. Mätfelet kan reduceras med bredare frekvensfilter [22].

Alternativa metoder för att fastställa rörelseintensitet med öppen källkod har utvecklats som svar på bristerna med Actigraph-counts och tillgängligheten av information. Exempel på metoder är »mean amplitude deviation« (MAD) [23] och »Euclidean norm minus one« (ENMO) [24]. Dessa mått på intensitet uttrycks med standardenheten milligravitation (mg) och uppvisar inte samma utplaning vid högre intensitet. MAD och ENMO genomför ingen frekvensfiltre-

ring av data, vilket kan innebära att en hel del brus registreras och därmed ge upphov till mätfel. Dessa metoder har ännu inte nått så stor utbredning, men med tiden kan de komma att påverka vår kunskap om fysisk aktivitet och hälsa.

Det är viktigt att påminna om att även om dessa metoder oftast benämns »råaccelerationsmetoder« samlar alla accelerometrar in råa accelerationsdata, och det som skiljer metoder åt är hur data bearbetas.

Vid kalibrering av accelerometrar har det varit vanligt att tillämpa enkel statistik som linjär regression för att relatera ett intensitetsmått, t ex counts, mot uppmätt energiförbrukning [8]. Denna metod begränsar möjligheten att fånga människors komplexa aktivitetsmönster.

Stillasittande har varit i fokus under senare år, och man har försökt fastställa detta beteende med accelerometerdata. De tidigaste studierna definierade stillasittande med ett godtyckligt gränsvärde på Actigraph-counts från data insamlade från höften [8]. Tillgången till råa accelerationsdata har dock bidragit till möjligheten att tillämpa mer avancerade metoder under den gemensamma benämningen maskininlärning [9].

Maskininlärning och mönsteranalys har bidragit specifikt till att fastställa aktivitetstyp, där flertalet olika mått framtagna från accelerometerdata analyseras samtidigt för att fastställa vilka kombinationer av mått eller värden som särskiljer aktivitetstyper [25, 26].

Utvärdering av maskininlärningsmetoder visar att prediktion av energiförbrukning med data från höftburna sensorer går lika bra med enkel linjär regression [27]. För mätare på handleden förbättras dock prediktionen av energiförbrukning med maskininlärningsmetoder [27]. Låret är att föredra för att fastställa kroppsposition, stillasittande och aktivitetstyp, även om mätare på handleden också kan bidra till acceptabla resultat [25, 26, 28, 29]. Prediktionen av aktivitetsintensitet är ungefär densamma för höft, handled och lår [28].

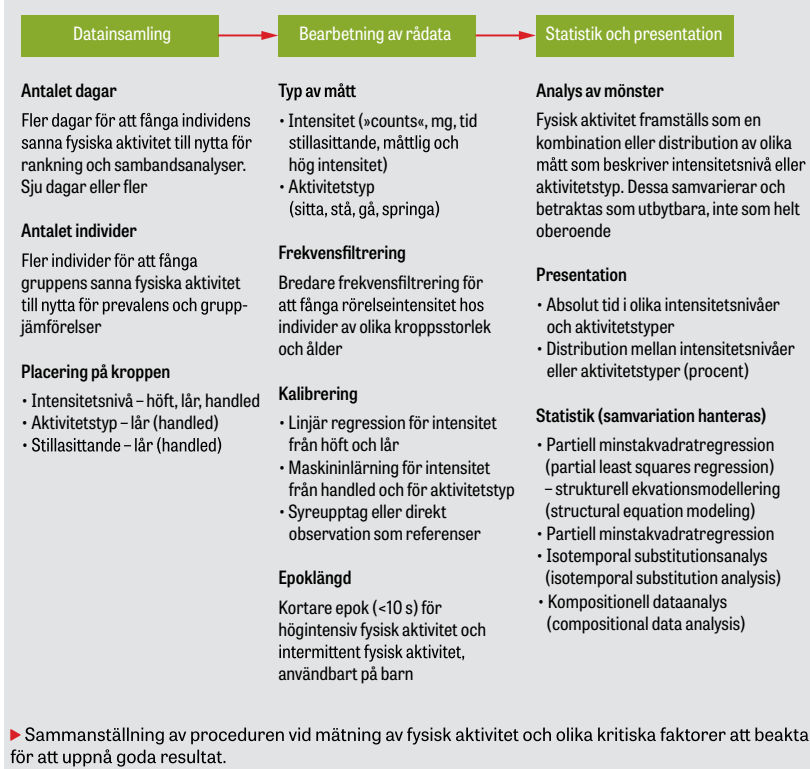
Dock kan maskininlärning vara svår att tillämpa i verkligheten, eftersom variationen i signalmönstret i vardagen är större än den som uppnås i laboratoriet vid kalibrering. Mätfelet blir oftast större vid tillämpning på en annan grupp individer och i ett annat sammanhang än den ursprungliga kalibreringsstudien [30, 31].

### Statistiska metoder för att studera beteendemönster

Efter det att data har bearbetats till olika mått på den fysiska aktiviteten kan dessa mått användas på olika sätt för att beskriva en individs beteende. Vid uppföljning av individens fysiska aktivitet och i forskning används vanligtvis enstaka mått för att fastställa om ett riskbeteende föreligger. I de fall då flera mått har analyserats samtidigt undersöks oftast deras oberoende association med hälsa.

Båda dessa metoder (analys av enstaka mått respektive av flera oberoende mått) förbiser dock att ett riskbeteende kan uppnås på flera olika sätt och att tid tillbringad med olika aktiviteter och på olika intensiteter är relaterade till varandra, dvs det finns en varierande grad av samvariation dem emellan (multikollinearitet). En individ som inte tränar eller inte går raska

**FIGUR 2. Kritiska faktorer**



promenader måste inte nödvändigtvis vara stillasittande under denna tid, och om man ökar tiden måttligt intensiv fysisk aktivitet måste tiden för någon annan aktivitet minska. I det senare fallet är frågan om det betyder att hälsoeffekten är summan av ökningen av måttligt intensiv fysisk aktivitet och minskningen av stillasittande eller om det handlar om att man byter ut tid och att effekten beror på vilken aktivitet man byter mot. Poängen är att analyser och slutsatser bör göras och dras ifrån individens totala aktivitetsmönster och inte från några enstaka mått och deras oberoende effekt.

Flertalet statistiska metoder finns i dag tillämpbara för mönsteranalys. Strukturell ekvationsmodellering är en samling av analysmodeller, där några kan tillämpas för att studera hela aktivitetsmönstret och komplexa samband och samtidigt hantera kollinearitet, t ex latent variabelanalys och partiell minstakvadratregression [17, 32].

Två andra närbesläktade metoder är isotemporal substitutionsanalys [33, 34] och kompositionell dataanalys [35]. Dessa metoder har bidragit till intressanta fynd, t ex betydelsen för hälsan av att byta ut ett beteende (stillasittande) mot ett annat (aktivitet på minst måttlig intensitetsnivå), vilken aktivitetsintensitet som är starkast associerad med hälsa (stillasittande versus högintensiv fysisk aktivitet), vilket mönster av olika aktivitetsmått eller fördelning i olika intensitetsnivåer som är starkast associerade med hälsa. Om man t ex ersätter perioder av stillasittan-

## »Implementering av accelerometermätning i klinisk verksamhet skulle kunna bidra stort till utvecklingen av fysisk aktivitet som behandlingsmetod.«

de med aktiviteter på måttlig intensitetsnivå kan risken för metabola syndromet minska med 10 procent, medan 60 procents riskreduktion kan uppnås när tiden i stället ersätts med aktiviteter på hög intensitetsnivå [33].

Dessa statistiska metoder har ännu inte fått så stor spridning, och de har framför allt tillämpats på tvärsnittsdata. Även om de ger nya möjligheter att arbeta med tvärsnittsdata betyder inte »byta ut ett beteende« samma sak som i en interventionsstudie, eftersom det i tvärsnittstudier är variationen mellan individer snarare än inom individen som används för att predicera hälsa.

### Accelerometermätning i klinisk verksamhet

Fysisk aktivitet ses som en allt viktigare del i behandlingen av olika patientgrupper, där enkla mått kan kopplas till journalsystemet för uppföljning. Som texten ovan belyser ger dessa enkla mått sällan den mätprecision och noggrannhet som behövs för att tillämpas på enskilda patienter.

Implementering av accelerometermätning i klinisk verksamhet skulle kunna bidra stort till utvecklingen av fysisk aktivitet som behandlingsmetod. Dock kräver det ett mer omfattande samarbete mellan kliniskt verksamma läkare, kliniska forskare och forskare med metodologisk kompetens inom fysisk aktivitetsmätning för att göra korrekt val av metod, hantering av data och tolkning av resultat.

Optimalt vore ett automatiserat system där patienten får bära en liten accelerometer med lämplig placering på kroppen under en period på minst 7 dagar. Data överförs till klinikens datorer och bearbetas till mått på patientens beteendemönster. Detta kopplas till journalsystemet för direkt återkoppling och utvärdering i form av grafer eller siffror.

Den metodologiska forskningen visar att ett fortsatt utvecklingsarbete krävs för att kunna tillhandahålla praktiskt användbara accelerometerbaserade metoder med tillräcklig mätprecision och noggrannhet för att kunna uttala sig om enskilda patienter. Utökad kunskap om fysisk aktivitet och fysisk aktivitetsmätning bland kliniskt verksamma och kliniska forskare är viktigt för att förstå dess betydelse för hälsan.

Figur 2 sammanställer kritiska faktorer för hög mätkvalitet att ta hänsyn till vid datainsamling och databearbetning.

### NORM – för kompetensutveckling

Det kan konstateras att metodutvecklingen inom

mätning av fysisk aktivitet med accelerometrar har gått fort framåt. Datainsamling och bearbetning av accelerometerdata kräver i dag kompetens inom flera områden, vilken inte alltid finns i enskilda forskargrupper eller inom hälso- och sjukvården.

Vi som har skrivit denna artikel har därför startat Nätverket för objektiv rörelsemätning (NORM) ([www.lnu.se/norm](http://www.lnu.se/norm)). Med NORM vill vi skapa förut-

sättningar för ett samarbete mellan forskare och andra aktörer engagerade inom objektiv mätning av fysisk aktivitet. ○

- Potentiella bindningar eller jävsförhållanden: Inga uppgivna.
- Centrum för idrottsforskning, Stockholm, finansierar nätverket NORM (Nätverket för objektiv rörelsemätning).

Citera som: *Läkartidningen. 2019;116:FPZW*

## REFERENSER

- Lear SA, Hu W, Rangarajan S, et al. The effect of physical activity on mortality and cardiovascular disease in 130 000 people from 17 high-income, middle-income, and low-income countries: the PURE study. *Lancet*. 2017;390(10113):2643-54.
- Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep*. 1985;100(2):126-31.
- Tremblay MS, Aubert S, Barnes JD, et al; SBRN Terminology Consensus Project Participants. Sedentary Behavior Research Network (SBRN) – Terminology Consensus Project process and outcome. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2017;14(1):75.
- Prince SA, Adamo KB, Hamel ME, et al. A comparison of direct versus self-report measures for assessing physical activity in adults: a systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2008;5:56.
- Helmerhorst HJ, Brage S, Warren J, et al. A systematic review of reliability and objective criterion-related validity of physical activity questionnaires. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2012;9:103.
- Eklblom Ö, Eklblom-Bak E, Bolam KA, et al. Concurrent and predictive validity of physical activity measurement items commonly used in clinical settings – data from SCAPIS pilot study. *BMC Public Health*. 2015;15:978.
- Arvidsson D, Leijon M, Sundquist J, et al. Cross-cultural validation of a simple self-report instrument of physical activity in immigrants from the Middle East and native Swedes. *Scand J Public Health*. 2014;42(3):255-62.
- Migueles JH, Cadenas-Sanchez C, Ekelund U, et al. Accelerometer data collection and processing criteria to assess physical activity and other outcomes: a systematic review and practical considerations. *Sports Med*. 2017;47(9):1821-45.
- Almeida Mendes M, da Silva A, Ramires V, et al. Calibration of raw accelerometer data to measure physical activity: a systematic review. *Gait Posture*. 2018;61:98-110.
- Dyrstad SM, Hansen BH, Holme IM, et al. Comparison of self-reported versus accelerometer-measured physical activity. *Med Sci Sports Exerc*. 2014;46(1):99-106.
- Eklblom-Bak E, Olsson G, Eklblom Ö, et al. The daily movement pattern and fulfilment of physical activity recommendations in Swedish middle-aged adults: the SCAPIS pilot study. *PLoS One*. 2015;10(5):e0126336.
- Atienza AA, Moser RP, Perna F, et al. Self-reported and objectively measured activity related to biomarkers using NHANES. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(5):815-21.
- Gibson R. Principles of nutritional assessment. New York: Oxford University Press; 2005.
- Cole T, Black A. Statistical aspects in the design of dietary surveys. Scientific report 4. Southampton: MRC Environmental Epidemiological Unit; 1984.
- Mattocks C, Ness A, Leary S, et al. Use of accelerometers in a large field-based study of children: protocols, design issues, and effects on precision. *J Phys Act Health*. 2008;5(Suppl 1):S98-111.
- Bergman P. The number of repeated observations needed to estimate the habitual physical activity of an individual to a given level of precision. *PLoS One*. 2018;13(2):e0192117.
- Aadland E, Andersen LB, Anderssen SA, et al. Associations of volumes and patterns of physical activity with metabolic health in children: a multivariate pattern analysis approach. *Prev Med*. 2018;115:12-8.
- Migueles JH, Cadenas-Sanchez C, Tudor-Locke C, et al. Comparability of published cut-points for the assessment of physical activity: Implications for data harmonization. *Scand J Med Sci Sports*. 2019;29(4):566-74.
- Rosenberger ME, Haskell WL, Albinelli F, et al. Estimating activity and sedentary behavior from an accelerometer on the hip or wrist. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(5):964-75.
- John D, Miller R, Kozey-Keadle S, et al. Biomechanical examination of the »plateau phenomenon« in ActiGraph vertical activity counts. *Physiol Meas*. 2012;33(2):219-30.
- Brønd JC, Andersen LB, Arvidsson D. Generating ActiGraph counts from raw acceleration recorded by an alternative monitor. *Med Sci Sports Exerc*. 2017;49(11):2351-60.
- Fridolfsson J, Börjesson M, Arvidsson D. A Biomechanical re-examination of physical activity measurement with accelerometers. *Sensors (Basel)*. 2018;18(10).
- Vähä-Yppä H, Vasankari T, Husu P, et al. Validation of cut-points for evaluating the intensity of physical activity with accelerometer-based mean amplitude deviation (MAD). *PLoS One*. 2015;10(8):e0134813.
- Hildebrand M, van Hees VT, Hansen BH, et al. Age group comparability of raw accelerometer output from wrist- and hip-worn monitors. *Med Sci Sports Exerc*. 2014;46(9):1816-24.
- Skotte J, Korshøj M, Kristiansen J, et al. Detection of physical activity types using triaxial accelerometers. *J Phys Act Health*. 2014;11(1):76-84.
- Montoye A, Pivarnik J, Mudd L, et al. Comparison of activity type classification accuracy from accelerometers worn on the hip, wrist and thigh in young, apparently healthy adults. *Meas Phys Educ Exerc Sci*. 2016;20(3):173-83.
- Montoye AHK, Begum M, Henning Z, et al. Comparison of linear and non-linear models for predicting energy expenditure from raw accelerometer data. *Physiol Meas*. 2017;38(2):343-57.
- Montoye AHK, Pivarnik JM, Mudd LM, et al. Validation and comparison of accelerometers worn on the hip, thigh, and wrists for measuring physical activity and sedentary behavior. *AIMS Public Health*. 2016;3(2):298-312.
- Edwardson CL, Rowlands AV, Bunnell S, et al. Accuracy of posture allocation algorithms for thigh- and waist-worn accelerometers. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(6):1085-90.
- Montoye AHK, Westgate BS, Fonley MR, et al. Cross-validation and out-of-sample testing of physical activity intensity predictions with a wrist-worn accelerometer. *J Appl Physiol* (1985). 2018;124(5):1284-93.
- Stemland I, Ingebrigtsen J, Christiansen CS, et al. Validity of the Acti4 method for detection of physical activity types in free-living settings: comparison with video analysis. *Ergonomics*. 2015;58(6):953-65.
- Evenson KR, Herring AH, Wen F. Accelerometry-assessed latent class patterns of physical activity and sedentary behavior with mortality. *Am J Prev Med*. 2017;52(2):135-43.
- Eklblom-Bak E, Eklblom Ö, Bergström G, et al. Isotemporal substitution of sedentary time by physical activity of different intensities and bout lengths, and its associations with metabolic risk. *Eur J Prev Cardiol*. 2016;23(9):967-74.
- Mekary RA, Willett WC, Hu FB, et al. Isotemporal substitution paradigm for physical activity epidemiology and weight change. *Am J Epidemiol*. 2009;170(4):519-27.
- Chastin SF, Palarea-Albaladejo J, Dontje ML, et al. Combined effects of time spent in physical activity, sedentary behaviors and sleep on obesity and cardio-metabolic health markers: a novel compositional data analysis approach. *PLoS One*. 2015;10(10):e0139984.

## SUMMARY

### Physical activity measured with accelerometers

The development of accelerometers has revolutionized measurement of physical activity, and they are used to a large extent in research and have started to be implemented into clinical settings. However, achievement of reliable outcomes requires good methodological knowledge and skills by the user. Otherwise, significant

measurement errors may occur, interfering with assessment of the physical activity level in the population, group differences, associations with health parameters or effect of treatments. This paper by the Swedish Network for Objective Measurement of Movement (NORM) provides an overview of physical

activity measurement including sections of data collection, processing of raw data into useful metrics and statistical analysis. It targets users of accelerometer in research, health care and national surveys.