
AI-baserad påvisning av *Toxocara*-ägg med hjälp av mobilkamera försedd med försättslins – en attraktiv modell för att påvisa maskinfektioner i resursfattig miljö?

EWERT LINDER

Artikeln beskriver hur AI-baserad bildanalys i kombination med mobiltelefonmikroskopi kan användas för att påvisa *Toxocara*-ägg i avföringsprov. Det är en metod som är särskilt relevant i resursfattiga miljöer där traditionell mikroskopi är svår att genomföra. *Toxocara* är en global zoonos där hundar och katter fungerar som reservoarer, och kontroll av infekterade djur kan minska risken för human toxocariasis. Eftersom diagnosen inte kräver humanprover lämpar sig *Toxocara* som modell för utveckling av enklare diagnostik av maskinfektioner ur ett One Health-perspektiv.

Min studie visar att mobilkameror utrustade med enkla försättslinser (5–10 gångers förstoring) kan generera bilder av tillräckligt god kvalitet för att AI ska kunna identifiera maskägg även när den visuella bedömningen är svår. Bildserier i olika fokalplan, exempelvis via Live Photo"- eller burst-funktion, förbättrar träffsäkerheten ytterligare. En algoritm tränades på digitala bilder från avföringsprov med verifierade *Toxocara*-ägg, och preliminära resultat visar god prestanda, särskilt med högkvalitativa makrolinser.

Metoden kräver minimal utrustning och utbildning och möjliggör fjärrbaserad diagnostik genom uppladdning av bilder till molnbaserade analysnoder. Den föreslagna modellen framstår därmed som ett kostnads- och resurseffektivt sätt att stärka kontrollen av maskinfektioner i låginkomstregioner.

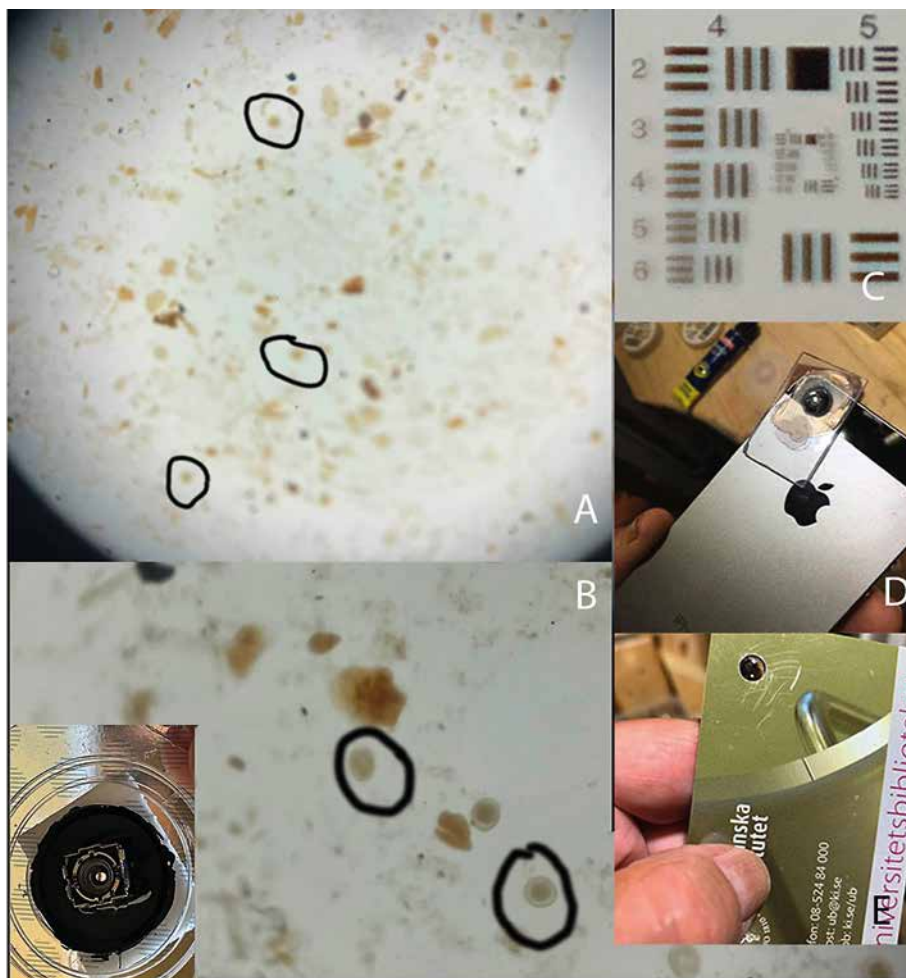
Inledning

Avsikten är att automatiskt identifiera *Toxocara*-ägg med hjälp av bildanalys. Konventionell diagnostik baserad på mikroskopi är tidskrävande och beroende av utbildad personal, vilket begränsar dess användning i resursfattiga miljöer. Nya tillämpningar av artificiell intelligens (AI) möjliggör däremot fjärrbaserad diagnostik baserad på digitala bilder tagna med mobilkamera och enkel försättslins.

Eftersom maskinfektioner hos människor i fattiga endemiska områden är ett mångfacetterat problem, som ofta är förknippat med djupt rotade vanor och sedvänjor, är det en

SKRIBENTEN

Ewert Linder, professor emeritus i parasitologi. Han var chef för parasitologiska avdelningen vid Statens bakteriologiska laboratorium (senare Smittskyddsinstitutet) i Stockholm 1982–2003 och adjungerad professor vid Karolinska Institutet där 1995–2003. Hans arbete har fokuserat på diagnostik av maskinfektioner, kvalitetssäkring av parasitologiska laboratorier samt utveckling av digitala och datorstödda metoder, ofta med global hälsa och resursfattiga miljöer i åtanke.



Figur 1A. Lågupplöst bild av avföringsprov från hund erhållit från ett laboratorium för veterinärmedicinsk diagnostik. Provet undersöktes med kameran på en mobiltelefon av märket Apple Iphone och kameran var försedd med en 7 gånger förstörande försättslins. *Toxocara*-ägg kunde – dock med viss osäkerhet – ses vid visuell inspektion (i bilden märkta med cirklar). Vid undersökning med en försättslins av högre kvalitet (inverterad kameramodul i en Nokia E71 placerad framför linsen i en Iphone med hjälp av dubbelsidigt te) kunde dock *Toxocara*-ägg med säkerhet påvisas. **Figur 1B.** Bilder tagna med dubbelkonvexa linser av olika ursprung med 5–10 gångers förstoring (visar två olika linser: dels i **figur 1D** limmad på en akrylskiva försedd med ett 6 millimeter stort hål för linsen, dels i **figur 1E** limmad på ett kreditkort som fästes med dubbelsidig tejp på mobilen) gav bilder med en upplösning på cirka 70 linjepar per millimeter (USAF 1951 resolution chart [grupp 5, element 5–9], **figur 1C**) motsvarande ungefär 1/100 mm. Dessa bilder utgjorde basen för den algoritm som presenteras i detta arbete.

fördel om interventionen i första hand riktar sig mot husdjur. *Toxocara*-infektioner kan därför tjänstgöra som modell för diagnostik av flera olika maskinfektioner hos människor.

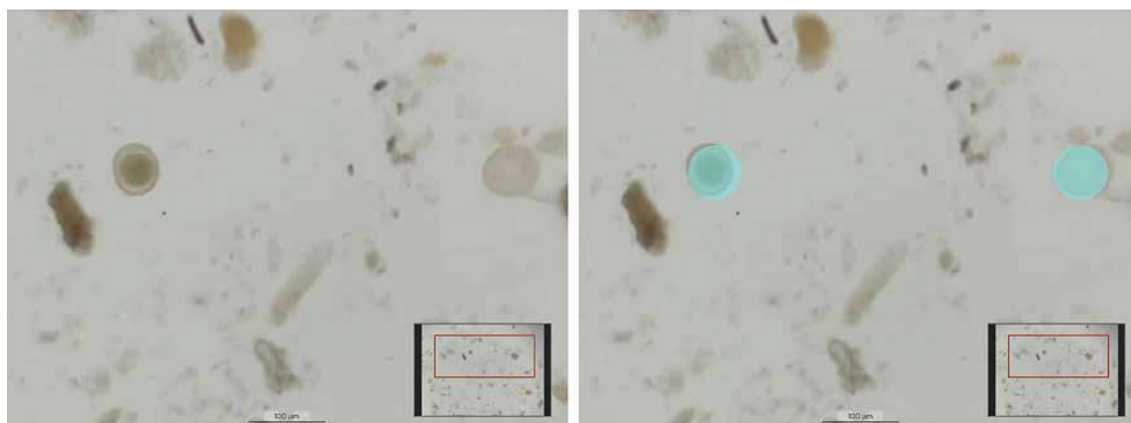
Toxocariasis är en av världens mest spridda zoonoser, där hundar och katter fungerar som parasitvärd och reservoar. Äggen som utsöndrats med avföringen mognar till ett infektiöst stadium, *larva migrans*, som hos infekterade människor bland annat kan söka sig till

ögonbotten. Kontroll av sjukdomen genom fokusering på smittkällan och effektivisering av diagnostiken kan minska förekomsten av humaninfektioner på ett kostnads- och resurseffektivt sätt.

Bakgrund

Toxocara-infektioner orsakas av rundmaskarna *Toxocara canis* och *Toxocara cati*, som

¹ Metoden att ta flera bilder av ett tredimensionellt objekt så gott som samtidigt kallas ofta för "focus stacking". Metoden möjliggör skarp avbildning både av större objekt och av händelser som befinner sig i olika fokalplan vid en viss tidpunkt.



Figur 2. Automatiserad detektion av *Toxocara*-ägg i bild tagen med mobilkamera försedd med enkel försättslins. Vänster panel visar originalbilden; höger panel visar AI-modellens prediktioner markerade med färgade överlägg. Modellen tränades med hjälp av djupinlärning för att identifiera ägg i bildserier tagna i olika fokalplan med kamerans Live-photo eller burst-funktion.

infekterar hundar respektive katter. Ägg som utsöndras med avföringen kan överleva länge i miljön och infektera människa som oavsiktlig värd och utveckla ett larvstadium, *larva migrans*, i kroppens vävnader. Infektionen är global och särskilt vanlig i tropiska och subtropiska områden med stora populationer av herrelösa djur och bristande sanitet (2–4). Kontroll av dessa infektioner kräver effektiva diagnostiska metoder för att identifiera infekterade djur. Traditionell mikroskopi är fortfarande standard men kräver omfattande utbildning och laboratorieresurser, vilket ofta saknas där sjukdomsbördan är störst.

Maskäggen har en storlek på 60–90 mikrometer, och storleken och de optiska egenskaperna motsvarar i stort sett dem man ser hos andra parasitära maskar. Trots att *larva migrans* är sällsynt och *Toxocara*-infektioner inte primärt drabbar människan, kan infektionen ha betydelse som modell för diagnostikutveckling för masinfektioner generellt. Att studera *Toxocara* verkar ha vissa fördelar ur ett "One Health"-perspektiv, utöver de som är direkt förknippade med just denna zoonos hos hundar och katter, eftersom man inte behöver involvera infekterade människor.

Metoder och tillämpning av AI-baserad bildanalys

Artificiell intelligens (AI) och bildanalys (*Image Analysis, IA*) kan tillämpas för att automatiskt känna igen *Toxocara*-ägg i digitala

mikroskopibilder. I resursbegränsade miljöer kan sådana bilder tas med mobiltelefon och en enkel försättslins som förstörar 4–10 gånger. Bildserier i olika fokalplan, till exempel tagna med mobilkamerans *Live Photo*-funktion, *focus stacking* eller *burst*-funktion², ökar mängden användbara bilddata och förbättrar modellens träffsäkerhet. Liknande metoder har tidigare framgångsrikt använts för att identifiera ägg av *Schistosoma haematobium* och andra helminter i fält (6). Kombinationen av mobilmikroskopi och AI gör det möjligt att överföra bilddata till molnbaserade analysnoder, där diagnostiken kan utföras automatiskt och på distans.

En algoritm utvecklades för att påvisa *Toxocara*-ägg utsöndrade i avföringen hos infekterade hundar. Material erhöles från det veterinärmedicinska laboratoriet *Vidilab* (<https://www.vidilab.se>). Avföringsprover med ägg av *Toxocara* påvisade med gängse parasitologisk metodik fotograferades med en kameraförsedd mobiltelefon. Kameran modifierades för makrofotografi genom att den försågs med en försättslins. Enkla bikonkava linser utvärderades med en högupplösande linsmodul som referensmetod.

För att utvärdera användbarheten av enkla dubbelkonvexa lågförstorande (510 gånger motsvarande ungefär 25–30 dioptrier) linser användes en högupplösande kameramodul från en mobiltelefon (Nokia E71, Nokia, Finland) som positiv kontroll. Digitala bilder annoterades för specifik påvisning av

² Metoden har varit känd sedan åtminstone tio år tillbaka och har publicerats i sociala medier som ett sätt att åstadkomma makrofotografier. (Se t.ex. Sharath Prakash. Reversed-Lens & Cellphone Macro Photograph, Amazing Macro Pictures on the Cheap! www.instructables.com)

Toxocara-ägg med hjälp av en molnbaserad tjänst för träning av AI (Aiforia Create, Aiforia Technologies, Helsingfors). Dessa annoterade bilder användes sedan för att träna ett neuralt nätverk, som automatiskt lärde sig att känna igen de visuella mönster som är typiska för *Toxocara*-ägg. Efter den initiala träningen testades modellen på nya bilder. Eventuella felklassificeringar ledde till ytterligare annotationer och omträning för att successivt förbättra precisionen. När modellen nått tillräckligt stor noggrannhet kunde den användas för att automatiskt identifiera *Toxocara*-ägg i nya prov, även i bilder med varierande kvalitet eller där äggen var svåra att urskilja visuellt.

Resultat och diskussion

Preliminära resultat tyder på att högupplösta bilder erhållna med makrolins bestående av en inverterad mobilkameramodul² gav bilder som enkelt kunde identifieras som *Toxocara*-ägg också visuellt, medan äggen i lågupplösta bilder ofta var svåra att identifiera dels på grund av att de inte låg i fokus, dels för att upplösningen gav mindre typiska bilder. Dessa kunde dock identifieras med ökad tillförlitlighet när bilderna analyserades med AI och när ett större material stod till förfogande i bildserier tagna i olika fokalplan med mobilkamerans *Live Photo*- eller *burst*-funktion. Den beskrivna modellen för påvisning av *Toxocara*-ägg är en preliminär

studie som stöder tanken på att enkel utrustning kan möjliggöra utveckling av rutiner för att kontrollera maskinfektioner i fattiga endemiska områden, speciellt om det sker i kombination med fjärrbaserad AI-diagnostik. Eftersom systemet kräver begränsad lokal utbildning och utrustning, kan det vara särskilt väl lämpat för låginkomstområden och diagnostik som inte är beroende av humanprov. Verksamheten kan bedrivas globalt ur ett "One Health"-perspektiv – från centraliserad laboratoriemiljö till fältbaserad, digital och automatiserad analys av stora provmängder.

Ewert Linder
ewertlinder@icloud.com

Inga bindningar

Referenser

1. Macpherson CNL. A walk on the wild side: A review of the epidemiology of *Toxocara* and the role of paratenic hosts. *Parasite Epidemiol Control*. 2023;23:e00312.
2. Holland CV, Smith HV. The epidemiology and control of *Toxocara canis* in puppies: A review. *Parasitology*. 2020;147(7):795–807.
3. Rostami A, Ma G, Wang T, et al. Dog and cat contact as risk factors for human toxocariasis: A global systematic review and meta-analysis. *Front Public Health*. 2022;10:854468.
4. Ma G, Holland CV, Wang T, Hofmann A, Fan CK, Maizels RM, et al. Toxocariasis: a silent threat with a progressive public health impact. *Infect Dis Poverty*. 2018;7(1):59.
5. Bogoch II, Lundin J, Lo NC, Andrews JR. Mobile phone and handheld microscopes for public health applications. *Lancet Public Health*. 2017;2(8):e355.
6. Holmström O, Linder N, Ngasala B, et al. Point-of-care mobile digital microscopy and deep learning for the detection of soil-transmitted helminths and *Schistosoma haematobium*. *Glob Health Action*. 2017;10(suppl 3):1337325.

Summary

AI-based detection of Toxocara eggs with a mobile phone camera equipped with a simple biconcave lens – a useful model to detect worm infections in low-resource regions

We here suggest that a simple biconcave lens allows for macro-photography with a standard mobile phone camera to generate images with a resolution sufficient for AI based detection of helminth eggs based on image analysis (IA).

As toxocariasis is a zoonotic infection and its control does not involve samples of human origin it appears to be a useful model to develop for control of worm infections in general in endemic low income regions.

Toxocara infections are among the most widespread zoonoses globally, with dogs and cats acting as reservoirs. Conventional microscopy-based diagnostics is time-consuming and requires skilled personnel, limiting access in low-resource settings.

Macro-photography using simple low power biconcave lenses give images having sufficient resolving power to allow for image analysis also in cases where visual inspection may be demanding. In addition, the "burst function" allows for an about tenfold increase in sample material for analysis in different focal planes of the samples. New applications of artificial intelligence (AI) enable remote diagnostics using mobile phone cameras with simple optical attachments. and automated image analysis can identify parasite eggs with high precision.