



UPPSALA
UNIVERSITET

Har *Homo sapiens* behållit en anatomi
anpassad till vertikal klättring?

Benjamin Lars Pettersson

Independent Project in Biology

Självständigt arbete i biologi, 15 hp, vårterminen 2014

Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

Sammandrag

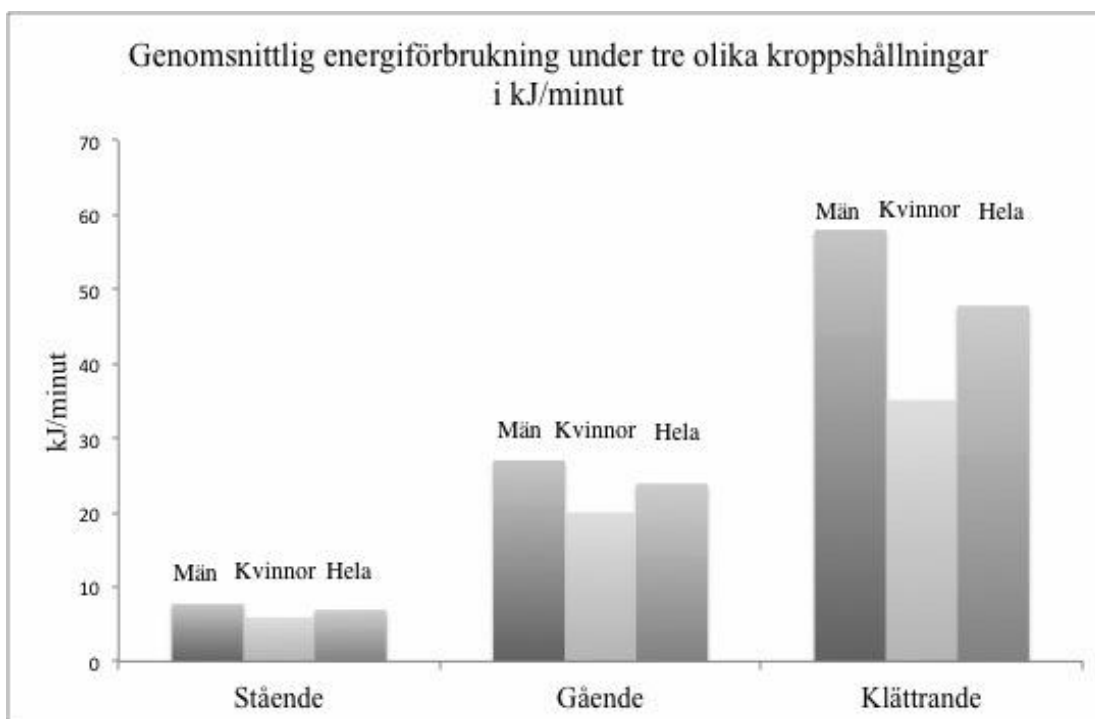
För 4-6 miljoner år sedan lämnade ursprungsmänniskan träden i skogen för att starta utvecklingen mot en upprättgående livsstil. Under dessa 4-6 miljoner år, som inom evolutionen anses vara en mycket kort period, har människan utvecklat den anatomi vi ser idag, en anatomi till synes anpassad till en upprättgående livsstil. Studier har dock visat att det finns folkslag som är anpassade till en klättrande livsstil. En studie av pygméfolket Efe i republiken Kongo visade att männen använder 39% av sin dagliga energiförbrukning till att klättra upp i träd på jakt efter honung. Det är bland Efe högst fördelaktigt, och till och med livsviktigt, att vara en bra klättrare då förmågan att klättra leder till en större möjlighet att samla in kaloririk mat på hög höjd. Har denna typ av folkslag annorlunda ben- och muskelstrukturer jämfört med den industrialiserade människan? Kan det vara så att människan (*Homo sapiens*) har kvar anatomiska anpassningar för vertikal klättring? I denna rapport jämförs den nutida människan med de tre människoaporna schimpanser (*Pan troglodytes*), bonoboer (*Pan paniscus*) och orangutanger (*Pongo pygmaeus*). De är människans närmaste släktingar och har en tillsynes annorlunda kroppsuppbyggnad än människan. Det som gör dessa människoartade aporna till goda klättrare är utvecklade fotleder, ryggmuskulatur, skuldror och händer som är välanpassade till vertikal klättring. Människor saknar denna välanpassade anatomi, som man har funnit hos apor, vilket leder till en begränsning i de rörelser som är involverade i klättring hos människan. Bland annat har människan en fotled med en rörlighet på endast 15° till 20°, jämfört med schimpansens extremt flexibla fotled som har en rörlighet på upp till 46°. Denna böjning på 46° skulle hos människan leda till allvarliga fotledsskador. Intressanta fynd har gjorts i en studie som ämnade jämföra fotleden mellan människor som lever en klättrande livsstil och folk i det industrialiserade samhället där klättring inte utgör en livsviktig del i livsstilen. Denna jämförelse indikerar att den klättrande folkslag har liknande fotledsflexibilitet som påvisats hos schimpanser. Detta är ett resultat av exponering mot klättring redan från tidig ålder hos dessa folkslag och därmed en mycket välanpassad kroppsanatomi till miljön på individnivå. Människor besitter fortfarande förmågan att vänja sin kropp till en klättrande livsstil, dock är människan inte född med en anatomi anpassad till klättring.

Inledning

Vertikal klättring ger tillgång till kaloririk mat, bland annat frukt och honung som finns högt upp i träden. Det är också ett bra sätt att undvika predatorer samt för att hålla sig torr och därmed undvika sjukdomar på grund av svamp. Klättring är alltså en högst fördelaktig förmåga som kan ha använts under alla år av människans utveckling, dessutom är det en viktig kunskap som kan lösa frågor om hur människans släkt levde och såg ut. Det finns i stort sett inga arkeologiska bevis för honungsinsamlande (Laden 1992), trots att det är en viktig komponent i födosöksstrategier hos dagens och äldre jägare-samlarefolk och möjligen också för de äldre hominiderna (Wrangham 2011). Den typiska bilden av människans utveckling är en utveckling mot en mer upprättgående och rak kroppsuppbyggnad, där resultatet är löpning som det centrala förflyttningssättet. Denna uppsats dock ämnar undersöka den omvända bilden – att människor (*Homo sapiens*) har utvecklats från att vara en god klättrare till en sämre och mer upprättgående art.

Löpning och vertikal klättring är två olika förflyttningssätt som kräver skilda morfologier. Hunt et al. (1996) beskriver vertikal klättring som ett sätt att röra sig uppåt på växter och andra underlag med en vertikal lutning på mer än 45°. En människas anatomi verkar anpassad för långdistanslöpning och inte till vertikal klättring. Till exempel har våra fötter ingen motsatt tå vilket apor har. Det gör apors fötter mer lika en mänsklig hand och att människans fötter inte kan gripa kring grenar som apfötter gör. Då klättring och löpning kräver två olika morfologier, leder det till att en anpassning till den ena verkar ha en antagonistisk effekt på anpassningen till den andra. Apor visar på så sätt en dålig förmåga att springa på grund av sina ben- och övriga muskelstrukturer. Pontzer och Wrangham (2004) har visat att schimpanser, som är människans närmaste släkting har en relativt lik ben- och muskelstruktur.

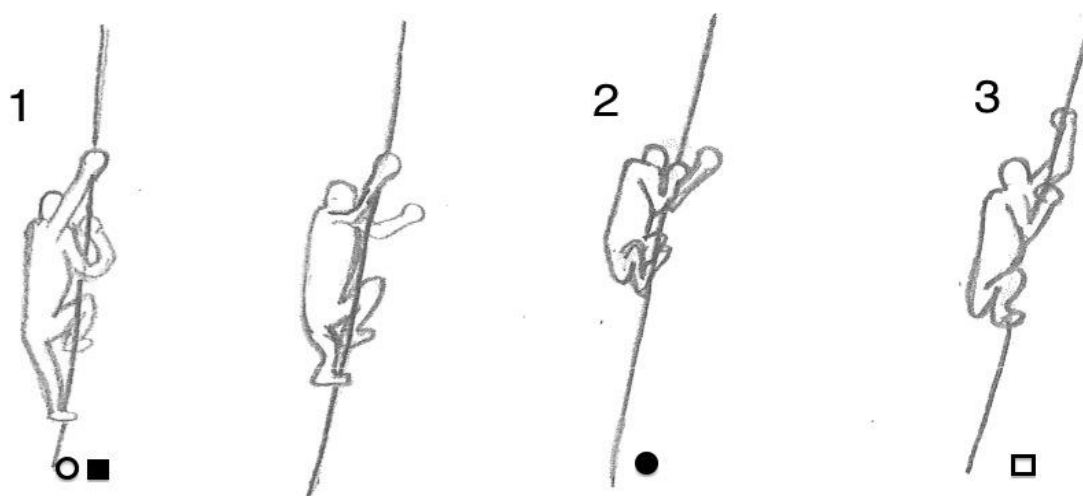
Elton et al. (1998) genomförde en studie av ämnesomsättningen under klättring och löpning (Figur 1) där urvalet utgjordes av 29 frivilliga försöksdeltagare mellan åldrarna 19 och 26 år, både män och kvinnor. Ingen av volontärerna var överviktig och alla tränade regelbundet till vardags. Flera mätningssystem användes; experimentet mätte syreupptag och fettmängd som förbrändes under klättringen och löpningen. Slutsatsen (se Figur 1) var att det tog mer energi att klättra än vad det gjorde när individerna promenerade eller stod stilla. Till skillnad från människor, som använder mest energi till klättring, visar resultat från studier av schimpanser att de använder mest energi till markbunden vandring och minst energi till klättring (Hunt 1994). Detta har sin grund i att schimpansers muskel- och benstruktur är mer anpassad till vertikal klättring. Att gå och löpa hos schimpanser kräver därför mer energi. Hunt (1994) upptäckte dock att vandring hos schimpanser är en viktig egenskap för överlevnad då de på så sätt kan förflytta sig från ett område till ett annat i jakt på föda och andra resurser, även om det kräver mer energi än klättringen.



Figur 1. Genomsnittlig energiförbrukning av gående, stående och klättrande kroppshållningar i kJ/minut. De ståendes förbrukning mättes i syreförbrukning, medan de gåendes och klättrandes är kopplade till hjärtats hastighet. Omritad efter data i tabell 2 i Elton et al. (1998).

Isler (2005) beskriver bonoboer (*Pan paniscus*), som skickligare klättrare än gorillor (*Gorilla*). Bonoboer är tillräckligt lättviktiga för att anpassa sina långa ben till olika miljöer och använder därför många olika sorters klättringsstilar. Gorillor är sämre klättrare men dock effektivare vandrare jämfört med schimpanser. Gorillor är tyngre och använder sin vikt för att uppnå ett perfekt kinetiskt förhållande mellan stegets längd och hastighet, vilket gör dem till goda vandrare. För att undersöka om människan har behållit en anatomi anpassad till klättring har jag valt att jämföra människans klättringskapacitet med bonoboer, schimpanser (*Pan troglodytes*) och orangutanger (*Pongo pygmaeus*). Alla tre människoaporna kan ses som djungelns vertikala klättermästare.

Figur 2 visar en schimpans rörelsemönster vid vertikal klättring. Den klättrar med motsatt arm och ben för att hålla sin mittpunkt stabilare till stammen. Om schimpansen placerar vänster fot på en stam följs den samtidigt av en höger arm för att behålla kroppen stadigt mot stammen. Om schimpansen placerar både vänster fot och vänster hand på stammen riskerar den att tappa balansen. Balansen är kopplad till belastning av de andra kroppsdelarna och det krävs extra energi för att skapa stabilitet igen om apan hamnar ur balans. Genom att klättra med motsatta armar och ben kan schimpansen spara energi och klättra både snabbare och effektivare.



Figur 2. Schimpansens rörelsemönster vid klättring. Bilden visar när kontakt med stammen hos fot och hand uppstår. 1) Öppen cirkel: kontakt med vänster fot. Fylld ruta: kontakt med höger hand. 2) Fylld cirkel: kontakt med höger fot. 3) Öppen ruta: kontakt med vänster hand. Klättringen börjar antingen med höger eller vänster fot. I bilden använder schimpansen vänster fot samtidigt som höger hand. När schimpansen har balans lyfter den upp höger fot samtidigt som vänster hand. Omritad efter Figur 2 i Isler (2005).

Människan har utvecklats ur en förfader som hade en trädlevande livsstil för att senare bli mer markbunden för cirka fem miljoner år sedan. Ett exempel är det utdöda släktet *Australopithecus* som var både aplikt och troligen stod på två fötter likt människan. Detta släkte var ett viktigt fynd då det representerar en mellanart, en "felande länk", i forskningen av människans utveckling (Kaye et al. 2013). Utifrån detta fynd har man funnit att skelettstrukturen hos *Australopithecus* indikerar att mer tid spenderades gåendes på två ben och mindre tid klättrandes. Det verkar som att det under denna tidsperiod fanns det ett högre selektionstryck på en gående livsstil. Utvecklingen från *Australopithecus* till *Homo erectus* (arten före *H. sapiens*) skapade förutsättningar för snabbhet och uthållighet samt en naturlig selektion av en passande kroppsstorlek för löpning (Reed et al. 2013). En hypotes till att *Australopithecus* lämnade en

trädleivande livsstil var den därmed kunde bära olika ting över längre distanser och använda verktyg (Ward 2013). En annan hypotes i utvecklingen till en gående mer upprätt position är att vatten har påverkat människans evolution. När skaldjur blev en viktig energikälla behövde individer egenskaper som att kunna stå, hålla andan under vatten och leva utan päls (Verhaegen et al. 2002).

Eftersom klättring har haft en stor betydelse i människans långa utveckling är det en intressant fråga hur människor som klättrar ser ut idag. En studie av pygméfolket Efe i republiken Kongo visade att män bland Efe använde 33,8% av sin dagliga energiförbrukning för att klättra upp i träd på jakt efter honung, vilket är den mest kaloritäta energikällan i djungeln (Venkataraman 2013). Efemän kan klättra upp till extrema höjder, närmare 52 meter. Eftersom klättring sker på farliga höjder är det fördelaktigt med en anatomisk anpassning till klättring. Efe, som lever på att jaga och samla, har den genomsnittligt kortaste kroppslängden bland icke industrialiserade människor. Män bland Efe är i genomsnitt 143 cm långa medan kvinnorna i genomsnitt är 136 cm. En kortare kroppslängd kan ha en stor betydelse för förmågan att klättra mer effektivt upp till extrema höjder. Risken att dö av ett långt fall till marken påverkas också av längden, då en kortare längd minskar risken att dö vid nedslaget. Dessutom är en kortare längd kopplat till en mindre vikt, vilket ytterligare minskar risken att för dö vid markfall. Kraften en individ slår i marken med står i proportion till vikten enligt formeln: $e = mgh$ där e är lägesenergin, m är massan, g är gravitationskraften och h är höjden. Enligt denna formel ger en fördubbling av massan samma energiökning som en fördubbling av höjden. En studie i Nordöstra Luzon på Filippinerna visar att hos Agtafolket (också av pygméfenotypen) dog endast 1,7% av de vuxna männen (>17 år gamla) av höga trädfall mellan årtalen 1962 och 2010 (Venkataraman 2013). Kroppslängden hos Efe- och Agtafolket skulle därför kunna vara en anpassning till vertikal klättring. Är det då möjligt att andra kroppsdelar hos pygméfolk också har utvecklats för att vara anpassade till effektiv klättring?

Anatomiska anpassningar som underlättar klättring

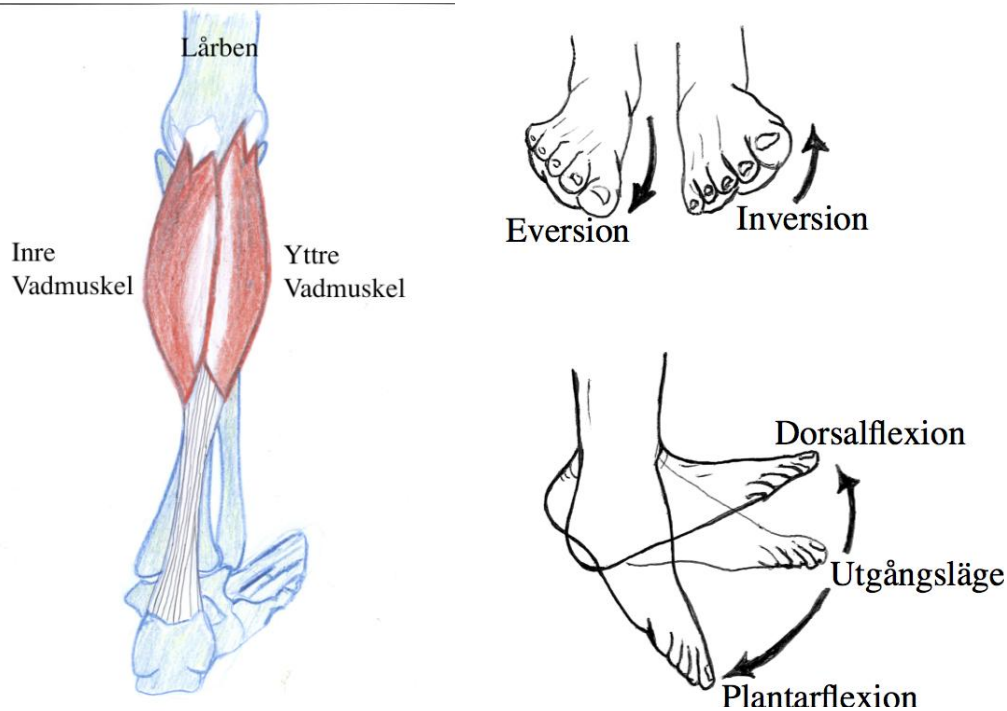
Förutom en motsatt tå och en kortare kroppslängd finns det en rad andra anatomiska anpassningar som visat sig vara mindre fördelaktiga för att en individ ska kunna vara effektiv i sin klättring. Andra anatomiska anpassningar har däremot visat sig vara högst avgörande, både när det gäller smidighet och snabbhet, och när det gäller energiförbrukning. Det är dessa anpassningar som skiljer apen och människan åt när det gäller effektivitet i klättring som transportmedel. I denna rapport jämförs olika kroppsdelar som är av stor betydelse vid klättring mellan den industrialiserade människan, klättrande människan, schimpansen samt orangutangen för att få en klarare bild av vad det är som gör en individ till en god klättrare.

Fotleden

Fotledsflexibilitet, även kallad fotledsflexion, är en starkt bidragande faktor till mer effektiv klättring. Det har visats att hos jägare-samlarefolk (Twa och Agta) som lever i Uganda och Filippinerna ger en flexibel fotled stora fördelar vid klättring (Venkataraman et al. 2013). En individ som klättrar och har mer flexibla fotleder kan förminska avståndet mellan stammen och kroppscentrum, vilket minskar belastningen på armar och ben. Med tyngdpunkten närmare centrum blir klättringen alltså mer energibesparande. Flexibla fotleder har också stora fördelar

när en klättrare ska förflytta sig mellan trädstammar då en större fotledsdorsiflexion innebär att man kan stå mellan två träd som står längre ifrån varandra utan att skada fotleden (DeSilva 2009).

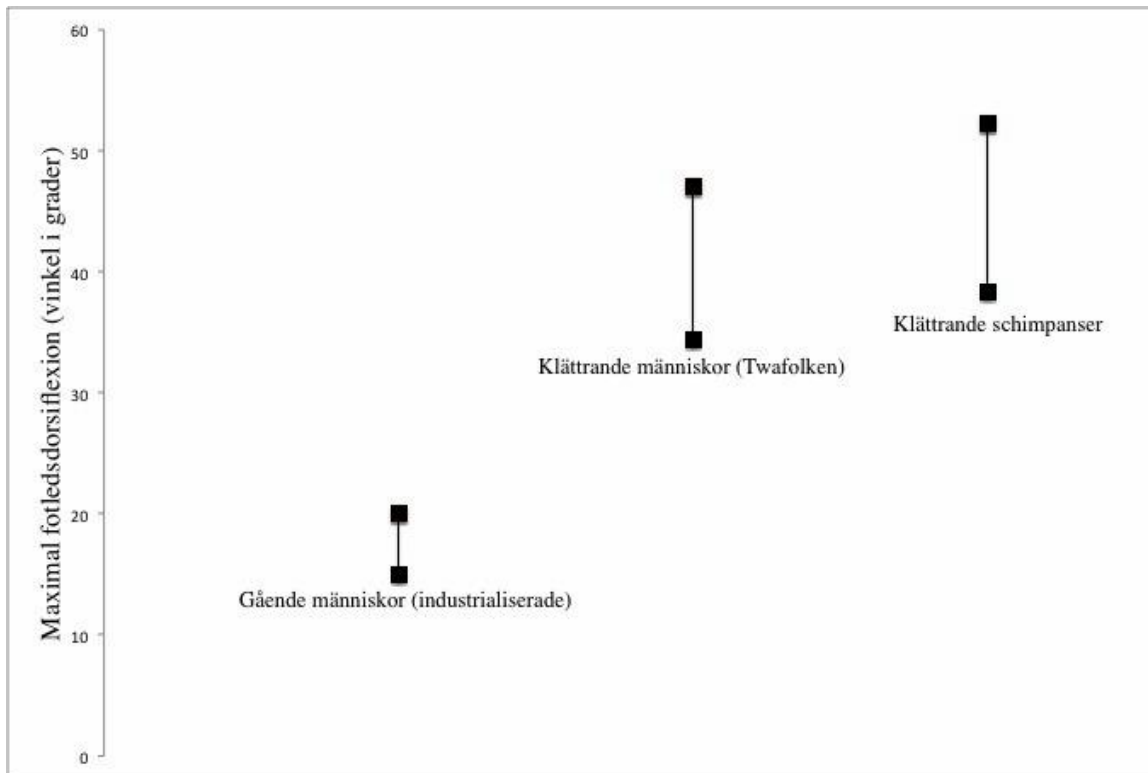
Högre flexibilitet åstadkoms genom placering av hela undersidan av foten mot trädstammen samtidigt som individen motarbetar med armar och ben i ett rörelsemönster uppåt. Detta sätt att klättra liknar schimpansers och kan även ha liknat hur *Australopithecus* kan ha klättrat. Den regelbunden placering av undersidan av foten mot stammen som Twa- och Agtafolk gör ökar deras fotledsböjlighet. Denna dorsiflexion i fotlederna uppnås dock endast vid rutinmässigt utförande av rörelsen. Människor som inte klättrar på detta sätt dagligen har därför mycket mindre flexibilitet i fotlederna och därför inte samma förmåga att klättra effektivt.



Figur 3. Vänster bild visar vadmuskeln position i relation till benet hos människor. Bilden omritad efter figur 1 i Kent (2011). Höger bild visar rörelseutslag hos människans fotled och fot med eversion, inversion, dorsalflexion och plantarflexion. Omritad efter figur 4.9a och b i Budowick (1993).

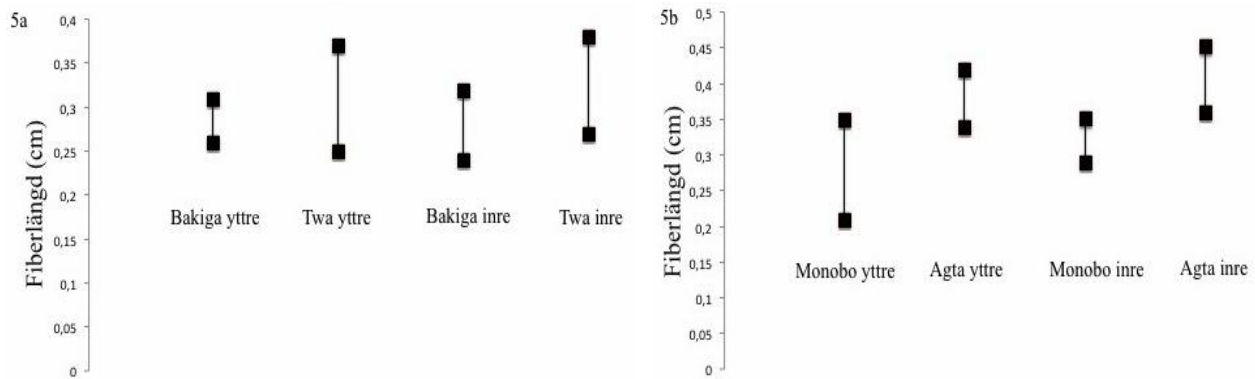
Venkatarman et al. (2013) gjorde en undersökning av hur mycket fotledsdorsiflexion som kunde uppnås hos klättrande jägare-samlarefolk, industrialiserade befolkningar och hos schimpanser. Twafolket använder klättring som en överlevnadsstrategi. I deras kultur är det endast män som klättrar efter resurser. Resultaten av undersökningen visade att när Twamän klättrade hade de en fotledsdorsiflexion på 34,4° - 47,0°. Schimpanser hade en fotledsdorsiflexion på 38,4° - 52,6° (Figur 4). Hur kan det komma sig att Twamän har en fotled som visar nästan samma fotledsböjlighet som schimpanser och varför har inte den industrialiserade människan den förmågan? Själva fotledsmuskulaturen och fotbenstrukturen hos Twamän visade sig vara lik den hos industrialiserade människan, det vill säga muskulaturen och benen är fästa och placerade på samma ställe som hos alla människor. Men i och med att Twamän börjar klättra i en tidig ålder

blir vadmuskulerna betydligt mer utvecklade och bland Twamän är vadmuskelfibrerna betydligt starkare och längre än hos människor som inte lever en klättrande livsstil.



Figur 4. Olika vinklar av fotleder när en industrialiserad människa går, Twamän klättrar och när schimpanser klättrar. Bland industrialiserade folkslag uppnås fotledsdorsiflexion när en människa går vid 15,0°- 20,0°. Bland Twamän (n = 7) som klättrar är rörlighet mellan 34,4°- 47,0°. Fotledsdorsiflexion bland vilda schimpanser är mellan 38,4°- 52,6°. Omritad efter figur 2 i Venkataraman et al. (2013).

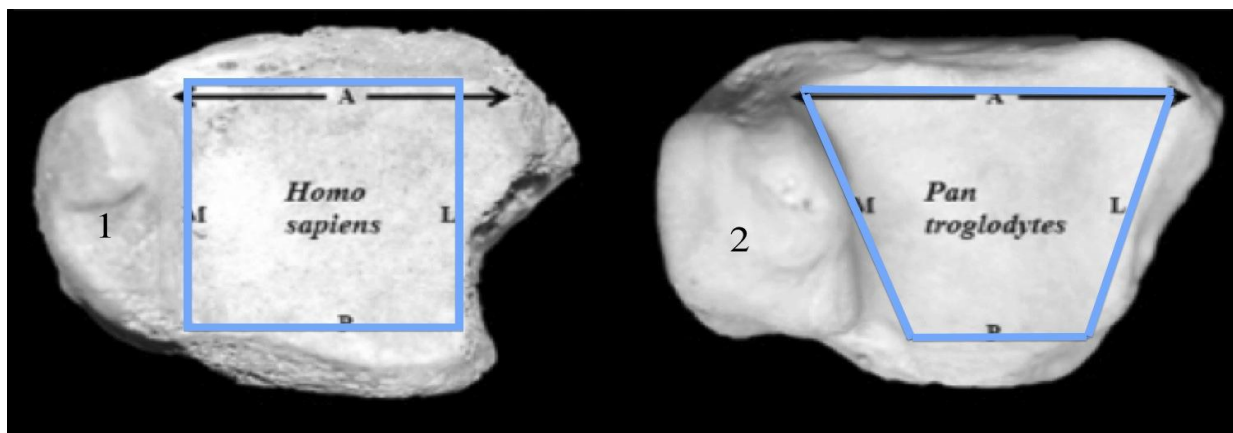
Om klättring leder till en utsträckt vadmuskul så borde klättrande folkslag visa längre vadmuskelfibrer än de som inte klättrar. Storleken på vadmuskelfibrerna undersöktes med hjälp av ultraljud hos två folkslag som klättrar och två folkslag som inte klättrar (Venkataraman et al. 2013). Folkslagen som undersöktes var Twa och Agta och Bakiga som lever i Uganda samt Monobo som lever på Filippinerna. Både Bakiga- och Monobofolket är lantbrukare och klättrar sällan eller aldrig. Vadmuskeln hos Twafolket var betydligt större och längre till skillnad från den hos Bakigafolket (figur 5). Venkataraman et al. (2013) märkte samma förhållande mellan Agta- och Monobofolket. Agta visade större fibrer i vadmuskeln än Monoboer (figur 6). Att studien visar samma resultat trots att individerna kommer från skilda världsdelar tyder på att folkslag som har haft en klättrande livsstil utvecklar längre och starkare vadmuskler än icke klättrande folkslag.



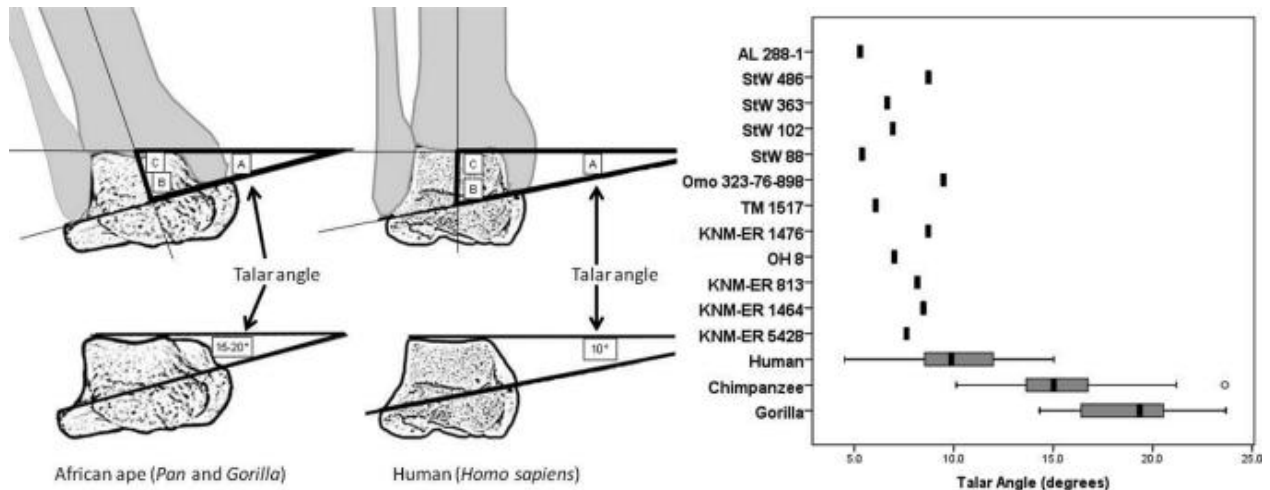
Figur 5a och b. Den yttre och inre vadmuskelns fiberlängd hos två afrikanska folkslag (a: Bakiga och Twa) och hos två filippinska (b: Monobo och Agta). Bakigamän (n= 9); Twamän (n = 29); Monobomän (n= 34) och Agtamän (n= 47). Omritad efter figur 2 i Venkataraman et al. (2013).

Den grad av fotledsdorsiflexion som nås vid placering av foten mot stammen påverkas också av en unik benstruktur på det nedre skenbenet. Mönstret på ytan av det nedre skenbenet ger också olika slags rörlighet av fotleden och påverkar kroppshållningen. Ståendes har schimpanser böjda lårben och knäna sitter utanför kroppscentrum, medan deras fötter alltid är utåtvinklade. Däremot placerar människor sina fötter och knän är raka under kroppscentrum. När människor går är foten placerad platt på marken med tårna pekande framåt. När det gäller fotledens rörlighet har schimpanser ett större rörelseutslag än hos människan.

DeSilva (2009) undersökte benstrukturen på det nedre skenbenet hos människor, människoapor samt några utdöda hominider (*Australopithecus* bland andra). Figur 7 visar hur det nedre skenbenet hos schimpanser är bredare i den främre aspekten och har ett parallelltrapetsmönster (högra bilden). Människan har ett mer fyrkantigt mönster på det nedre skenbenet (vänstra bilden). Alla utdöda hominiders nedre skenben som studerades (n = 12) liknar det mänskliga nedre skenbenet och saknar den långa främre aspekten och ett parallelltrapetsmönster som har funnits hos alla människoapor (DeSilva 2009). Mönstret uppstår på grund av en särskild infästning av språngbenet och vadbenet, vilket ger olika grader av fotledsdorsiflexion. Ett parallelltrapetsmönster är anpassat till klättring. Figur 8 visar hur annorlunda strukturer på det nedre skenbenet leder till olika grader av dorsiflexion bland människoapor och människor. Fotledsdorsiflexion och den vinkel som kan nås på grund av skenbenets, vadbenets och språngbenets uppbyggnad kallas för talarvinkeln. Talarvinkeln bland schimpanser och gorillor ligger mellan 15 och 20°, medan en människas talarvinkel endast är 10° (DeSilva 2009).



Figur 7. Bredden på den främre aspekten av det nedre skenbenet hos 1) människor och 2) schimpanser. Bokstäver på skenbenet indikerar främre (främre (A)), bakre (P), yttre (M), and inre (L) aspekten på det nedre skenbenet. Reproducerat efter figur 2 i DeSilva (2009).



Figur 8. Vinkeln från den långa axeln på skenbenet och fotledens rotationsaxel undersöktes bland industrialiserade människor och två arter av apor (schimpans och gorilla). I figuren till höger jämförs talarvinkeln hos gorillor, schimpanser, människor och utrotade hominider. Reproducerat efter figur 4 i DeSilva (2009).

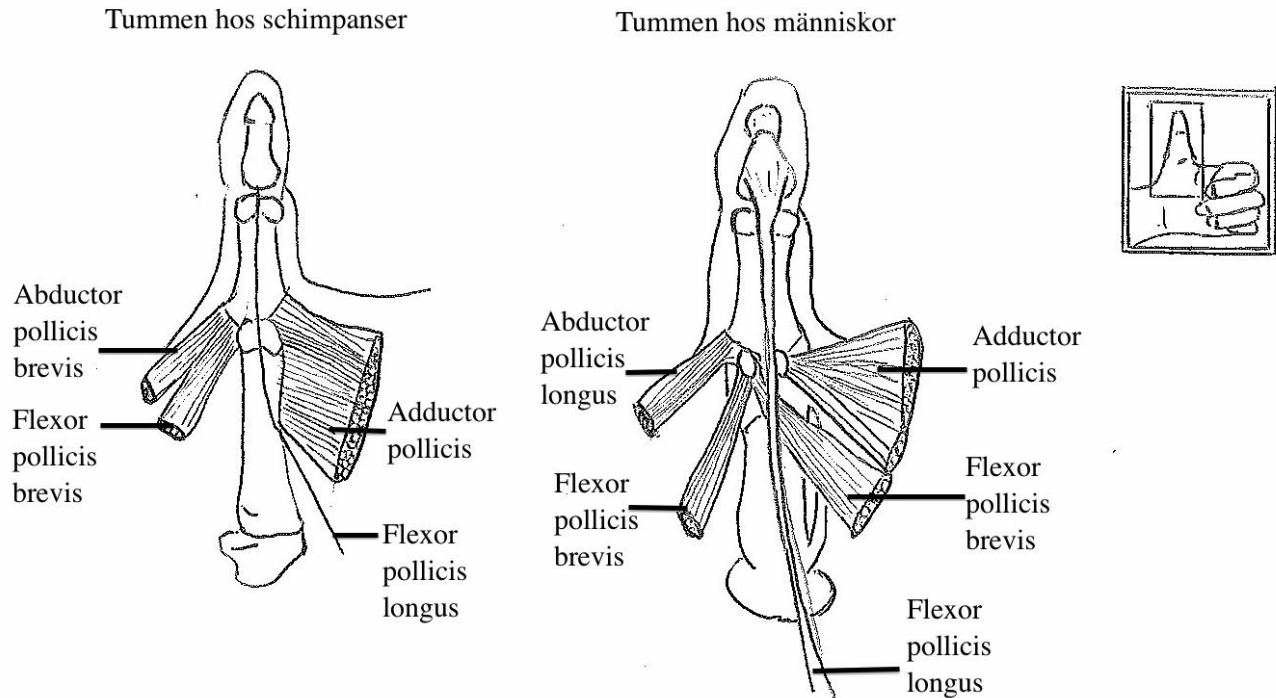
Den fotledsdorsalflexion som män uppnådde bland Twa berodde inte på en större talarvinkel, utan istället på en fenotypisk förändring av vadmuskeln. Fotleden hos människor skiljer sig från människoapor och har behållit sin fyrkantiga struktur för att bibehålla stabiliteten i fotleden vid löpning och upprättgående. *Australopithecus* har en likadan struktur på nedre skenbenet distalt som den man hittar hos människor. Det innebär att människans stabila fotleder, som vid stående position ligger mitt under kroppscentrum, är anpassade för att minimera energiförluster när vi vandrar långa sträckor. Det vill säga, fotleden hos människor och *Australopithecus* är inte anpassad till vertikal klättring även om djungellevande människor visar en liknande flexibilitet som man ser hos schimpanser (DeSilva 2009).

Handen

Samtliga arm- och handmuskler hos människan finns också hos alla nulevande människoapor. Det som skiljer musklerna åt är hur de är kombinerade och placerade i armen och i handen. En specifik kombination av fyra underarmsmuskler och tre handmuskler finns dock bara hos människan (Diogo et al. 2012). Människan har också fler underarmsmuskler än någon annan människoapa, samt den största tummen jämfört med *Homo erectus* och *Australopithecus*. Fler underarmsmuskler skulle vara fördelaktigt för människan för att kunna gripa med händerna kring trädstammar, fast människans händer är sammankopplade i falanger två till fem på ett annorlunda sätt än vad andra människoapors är. Jämfört med människor är falangerna två till fem hos schimpanser och orangutanger nästan hopväxta (Diogo et al. 2012). Detta gör att människor har mer rörlighet och händighet i de falangerna. Apor har dock mer styrka när de griper kring grenar och stammar.

Till en viss grad är människans muskelstrukturkoppling på tummen likadan som hos schimpansen. Människans FPL-sena (flexor pollicis longus) i tummen är dock mer utvecklad än hos schimpansen. En utvecklad FPL-sena hos människor resulterar också i en större FBL (flexor pollicis brevis-muskel). Schimpanser saknar en lika utvecklad FBL men har en sena som liknar människans FPL-sena (Figur 9).

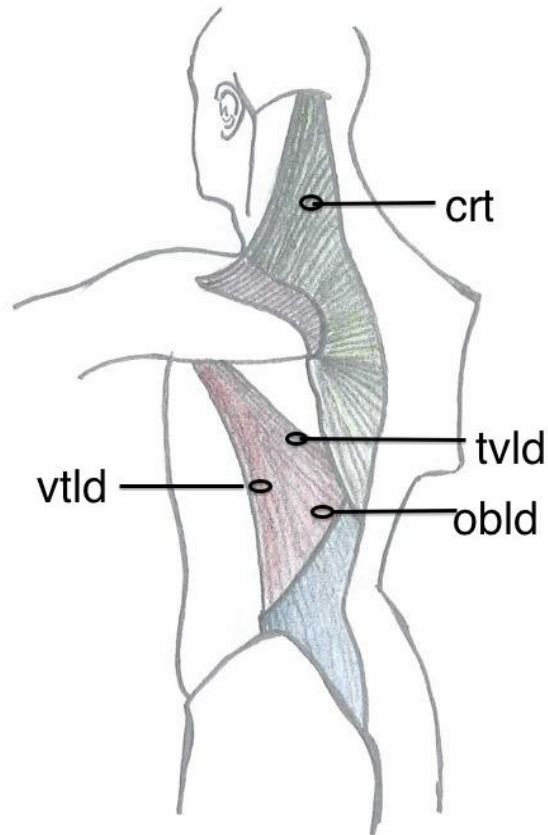
Den mer utvecklade tummuskulaturen hos människor är resultatet av att människan har en större rörlighet i tummen och därmed är mer händig. Det är dock oklart om en utvecklat FPL-sena i samband med en större tumme kan räknas som en fördel vid klättring. En annorlunda tumanatomi kan också ge människan en bättre förmåga att använda olika slags verktyg (Susman 1994).



Figur 9. Insidan på tummen hos människor och schimpanser. FPL-senan (flexor pollicis longus) hos en människa är tydlig och stor, till skillnad från en schimpans. Människor har FPB (flexor pollicis brevis) med två huvuden medan schimpanser har FPB med ett. Omritad efter figur 3 i Susman (1994).

Ryggmuskulaturen och skuldror

Skuldrorna belastas på ett annorlunda sätt hos människor än hos schimpanser. Människor rör oftast sina axlar under skuldrornas höjd eftersom de flesta aktiviteter som människor utför sker under axlarnas höjd (Scherf et al. 2013). Hurov (1981) mätte den elektriska aktiviteten i två specifika muskelgrupper på barn (*Homo sapiens*) när de klättrade. Ryggmuskelgrupperna som mättes var kappmuskeln och breda ryggmuskeln (Figur 10). Metoden som användes var ytlig EMG (elektromyogram) som tolkar hur mycket en yta på en muskel spänner sig.



Figur 10. Placeringar av ytliga elektroder. Muskelaktiviteten undersöktes när musklerna aktiverades när människor klättrade. Elektroderna placerades på 1) crt – kappmuskeln. 2) tvld – transversala breda ryggmuskeln. 3) obld – sneda breda ryggmuskeln. 4) vtld – vertikala breda ryggmuskeln. Omritad efter figur 1 i Hurov (1982).

Tabellerna 1, 2 och 3 visar jämförelser mellan schimpanser och människobarn i hur musklerna blev aktiverade och amplifierade när individerna lyfte armarna, hängde och när de drog upp kroppen med armarna. De tre förflyttningarna skulle motsvara rörelserna inom klättring.

Tabell 1. Uppmätt elektrisk aktivitet i schimpansers och människors (barn) muskulatur när de lyfter armarna över huvudet. Omritad efter tabell 5 i Hurov (1982).

Muskel	Schimpanser	Människor
<i>Kappmuskeln</i>	Ingen aktivitet med oregelbundna spår av hög aktivitet	Hög aktivitet
<i>Breda ryggmuskeln</i>		
- 1) <i>Transversell</i>	Ingen aktivitet	Ingen aktivitet med oregelbundna spår av medelaktivitet
- 2) <i>Sned</i>	Ingen aktivitet	Ingen aktivitet
- 3) <i>Vertikal</i>	Ingen aktivitet	Ingen aktivitet

Tabell 2. Uppmätt elektrisk aktivitet i schimpansers och människors (barn) muskulatur när de hänger med raka armar. Omritad efter tabell 5 i Hurov (1982).

Muskeln	Schimpanser	Människor
<i>Kappmuskeln</i>	Ingen aktivitet med oregelbundna spår av låg aktivitet	Ingen aktivitet
<i>Breda ryggmuskeln</i>		
- 1) <i>Transversell</i>	Ingen aktivering med oregelbundna spår av låg aktivitet	Medelaktivitet
- 2) <i>Sned</i>	Ingen aktivering med oregelbundna spår av låg aktivitet	Låg aktivitet
- 3) <i>Vertikal</i>	Inget aktivitet	Ingen aktivitet

Tabell 3. Uppmätt elektrisk aktivitet i schimpansers och människors (barn) muskulatur när hänger med raka armar och sedan drar upp kroppen med armarna. Omritad efter tabell 5 i Hurov (1982).

Muskeln	Schimpanser	Människor
<i>Kappmuskeln</i>	Låg aktivitet	Hög aktivitet
<i>Breda ryggmuskeln</i>		
- 1) <i>Transversell</i>	Låg aktivitet med kraftiga spår av hög aktivitet	Hög aktivitet
- 2) <i>Sned</i>	Låg aktivitet med kraftiga spår av hög aktivitet	Låg aktivitet
- 3) <i>Vertikal</i>	Hög aktivitet	Låg aktivitet

Sammanfattningsvis visade experimentet följande.

(1) Schimpansen visade ingen stimulering i kappmuskeln eller i breda ryggmuskeln när den lyfte armarna över huvudet. Barn visade däremot aktivering av musklerna när de hade armarna över huvudet (Tabell 1).

(2) Barn upprätthöll muskelaktivitet på breda ryggmuskeln medan de hängde utan att de drog upp kroppen. Däremot hade schimpanser ingen aktivitet i breda ryggmuskeln med samma kroppshållning (Tabell 2). Den breda ryggmuskeln är kopplad på ett annorlunda sätt hos människor än vad den är hos schimpanser. Hos schimpanser stimulerades inte muskeln men så var fallet hos människan och det gör att kroppsbyggnaden ger olika slags stabilitet i hängande positioner. Troligen har schimpanser en rygganatomi som gynnar stabilitet i hängande positioner.

(3) Tabell 3 visar resultatet när subjekten fick försöka dra sig upp från en hängande position till dess att armarna böjde sig mer än nittio grader. I kappmuskeln hos barn märktes en hög aktivitet, medan denna aktivitet saknades hos schimpanser. Det betyder att dessa rörelser är ovanliga för människor och därför kräver därför att kappmuskeln aktiveras, medan schimpanser kan vara födda med en ryggmuskelstruktur som tillåter en sådan rörelse utan att det krävs någon aktivering av kappmuskeln. På den vertikala delen av den breda ryggmuskeln hade barn låg aktivitet medan schimpanser hade hög aktivitet. Det kan betyda att medan barn aktiverade kappmuskeln för att dra sig upp aktiverade schimpanser den breda ryggmuskeln istället. Eftersom den breda ryggmuskeln är både större och starkare än kappmuskeln är det energibesparande att aktivera ryggmuskeln istället för kappmuskeln när man ska dra upp kroppen ifrån en hängande position.

Ytliga EMG-beräkningar på alla tre kroppsställningarna visar skillnader mellan människor och schimpansers nyttjande av ryggens och skuldrornas muskulatur. Människor måste träna upp sina muskler för att klara av att dra upp sig från en hängande position. Däremot är schimpanser födda med en anatomi som underlättar förflyttning av kroppen under klättring. Jämfört med schimpansen är den mänskliga muskulaturen svag och sammankopplad på ett ineffektivt sätt för klättring. Ineffektiviteten i dessa muskler orsakar människans begränsade rörelser och sämre stabilisering av kroppen i hängande positioner. Hurov (1982) jämförde också ryggmuskulaturen och aktiviteten hos andra människoapor. Aktiviteten var ungefär likvärdig bland gorillor, orangutanger och schimpanser, men inte hos människor.

Skuldror

Bland människor och alla människoapor är det rörelserna vid klättring som mest av alla belastar skuldrorna. De nerdragande rörelserna med ett ansträngt överarmsben, under klättring ändrar uppkopplingen av musklerna i skuldrorna samt benstrukturen i överarmbenets huvud. En hypotes är att en hög densitet av svampartade ben i överarmbenets huvud bidrar till kraftigare ben och därigenom mer effektiva rörelser i hängande positioner (Scherf 2013).

Schimpanser och orangutanger visar högre bendensitet och större benfibrer i överarmbenets huvud (tabell 4) jämfört med människor. Detta bidrar till att schimpanser och orangutanger kan röra sig mellan grenar och träd med större avstånd från varandra samt har en högre uthållighet i en position med utsträckta armar. Den tunna, utspridda och rörliga benstrukturen i överarmbenets huvud hos människan kan vara en anpassning till en lättare kropp, vilken gör människan mer anpassad till långdistansvandring.

Tabell 4. Beskrivning av den svampartade strukturen i överarmbenets huvud bland orangutanger, schimpanser och människor. Omritad efter tabell 5 i Scherf et al. (2013).

Orangutanger

Tjocka plattor med små mellanrum

Schimpanser

En större mängd av täta plattor

Människor

Tunn och mer rörlig benstruktur och större mellanrum

Nedre skenbenet hos klättrande folkslag

Undersökningar av benstrukturen och belastningsstrukturen hos utdöda folkslag ger en viss bild över livsstilen samt visar vilka beteende de människorna hade. Kan klättring som en aktivitet påverka benstrukturen? Har de folk som har haft en klättrande livsstil också fått förkalkningar på vissa delar av sina nedre skenben? Venkataraman et al. (2013) utförde en studie av den fenotypiska plasticiteten i fotleden bland apor och utdöda jägare-samlarefolkgrupper och Efe som klättrade regelbundet. Resultatet av studien borde ha visat att den fenotypiska plasticiteten i fotleden hos klättrande befolkningar hade en bredare främre aspekt och ett parallelltrapetsmönster på det nedre skenbenet. Den demonstrerade dock att individer ifrån olika regnskogsbefolkningar inte visade några tecken på det nedre skenbenet att de ens haft en klättrande livsstil. Det visade sig att individer från klättrande folkgrupper hade en betydligt kortare längd på den främre aspekten av skenbenet jämfört med människor som inte klättrade. Studiens oväntade resultat kan bero på att individer från klättrande jägare-samlarefolkgrupper hade en blandad livsstil och när de inte klättrade så gick de mycket. De individer som undersöktes gick ofta över ojämn mark, vilket hade en motsatt effekt på skenbenet än vad klättring hade. Fotleden behövde arbeta för att stabilisera sig när individen gick över ojämn mark. Därför måste man tänka igenom hur utbredd

denna mänskliga förmåga är och hur fenotypen är påverkad av många olika beteenden (Venkataraman et al. 2013). I det här fallet verkade individerna från de undersökta klättrande jägare-samlarefolken ha behållit ett nedre skenben anpassat till att gå upprätt.

Diskussion

De enda anpassningarna till klättring hos människan märks bland Efe- Twa- och Agtafolken. Förutom en kortare kroppslängd har dessa jägare-samlarefolk också en fotled som fungerar som en schimpans fotled. Det är en längre vadmuskel som förebygger deras flexibilitet och inte en annorlunda benstruktur på det nedre skenbenet (Venkataraman et al. 2013). Den kortare kroppslängden bland folkslagen minskar också risken att dö vid ett långt fall till marken enligt ($e = mgh$). Själva kroppslängden bland dessa jägare-samlarefolk kan anses vara en anatomi som har behållits till fördel för vertikal klättring, men undersökningar av andra kroppsdelar hos människan (fotleden, tummen, ryggen och skuldrorna) uppvisar inga morfologiska anpassningar till vertikal klättring. Till exempel Hurovs (1981) undersökning av ryggmuskulaturen visade att människan inte har lämpliga muskler till vertikal klättring. Att aktivera ryggmuskulaturen när det inte krävs innebär en energiförlust. Det är därför människan förbrukar mer energi när den klättrar än vad den gör när den promenerar eller står still.

Fotanpassning när det gäller klättring pekar på om man har ett nedre skenben med ett fyrkantigt mönster så har man en fot anpassad till vandring, inte till klättring. Venkataram et al. (2013) undersökning på 14 skenben och 15 språngben på flera utdöda hominider indikerar att för 4,12 till 1,53 miljoner år sedan var fotlederna hos den förhistoriska människan inte anpassade till klättring. Samtidigt menar Kaye et al. (2013) att fotstrukturen hos *Australopithecus* skulle ha haft svårt att gripa kring trädstammar. På samma sätt så skulle *Australopithecus* haft svårt att balansera på grenar medan de plockade frukt eller försökte ta sig över till andra trädgrenar. Svårigheter med en klättrande *Australopithecus* gäller också i uppfostrande av ungar. Om ungarna inte kunde fånga saker med sina fötter, kunde de troligen inte heller hänga på sina föräldrars mage när de vuxna klättrade. Hela skelettet hos *Australopithecus* visar att de bar sina ungar på ett helt annat sätt än vad schimpanser gör. Kaye et al. (2013) påstår att "hade *Australopithecus* klättrat i träd gjorde den inte det som levande schimpanser och var inte lika skickliga heller." Detta betyder alltså att ge upp förmågan att gripa kring trädstammar med foten därför också är att ge upp en trädlevande livsstil.

Löpning och klättring synes ha antagonistiska effekter på varandra och kräva specifika kroppsanatomier. Våra muskler blir starkare och benet förkalkas på vissa ställen beroende på vilka aktiviteter vi har och i sin tur belastningsmönstret på benen. Vilken av strategierna, löpning eller klättring har haft starkast påverkan på anatomiska förändringar? Människan är anpassad till att gå och därför har vår anatomi lättare att förebygga och förkalkas till en gående livsstil. Det vill säga att vi har behållit en anatomi som kan anpassas till klättring, men som är mycket mer påverkad av löpning. Den enda påverkan klättring hade på en specifik anatomi under en individs livstid märktes bland Efe- Twa- och Agtafolket. De visade sig att ha en utvecklad vadmuskel vilket hjälpte dem att få en fotledsdorsiflexion så stor som den hos schimpanser. Samtidigt hade ett av dessa jägare-samlarefolk, Efe, en mindre främre aspekt på det nedre skenbenet på grund av mycket ojämn markbunden vandring i djungeln. Sammanfattningsvis har Efe en fotled som är både stabil och anpassad till en gående livsstil och flexibel nog för en klättrande livsstil.

Venkataraman et al. (2013) visade hur ojämn och markbunden vandring kanske har varit det som under den evolutionära utvecklingen har skapat en förminskning av bredden på skenbenets främre aspekt. Scherf (2013) menar att genetisk adaptation har mer påverkan på benstrukturen under en individs liv än vad funktionell adaptation har. Hos människan stärks musklerna alltså lättare och snabbare än benstrukturen. Människor föds med en benstruktur som är rörlig och tunn vilket, till skillnad från apors täta benstruktur, inte är en speciellt bra anpassning till klättring. En mindre vikt på grund av mindre densitet i bland annat överarmsbenet är däremot effektivare för en gående livsstil. Denna benstruktur bidrar även till att människan i snitt väger mindre kroppsligt, vilket är ännu en anpassning till en gående livsstil. Anledningen att klättrande människor som Efe dock visar så goda egenskaper i klättring är alltså på grund av en anpassning i muskulaturen, inte i benstrukturen. Det är detta som antagligen är den största anledningen till att människor utan exponering till klättring på visar låg kapacitet inom klättringen. En människa måste alltså exponeras för klättring under en längre period för att kunna anpassa sin kropp (sina muskler) till en klättrande livsstil. Mycket pekar på att apor föds med en anpassad kropp för klättring, medan människor måste anpassa sina muskler till klättringen. Vi kan alltså bli goda klättrare, men aldrig lika goda klättrare som djungelns vertikala klättermästrare.

Människans anatomi har vissa egenskaper som människoartade apor (schimpanser och orangutanger) inte har. Senan FPL och en utvecklad FPB-muskel är specifika för människor. Den särskilda strukturen i människans tumme visar kanske hur vapen och verktyg kan ha utgjort ett evolutionärt tryck under stenåldern. Jag tror å ena sidan att den utvecklade tummen hos människan kan vara fördelaktig för klättring med tanke på den styrka som krävs när man ska gripa kring trädstammar. Å andra sidan tror jag att om tummen hade blivit utvecklad till klättring så hade också resten av handen blivit det. Det innebär människans hand då skulle ha växt ihop i falanger, två till fem på samma sätt som hos schimpansen. Människan har också en mindre talarvinkel på det nedre skenbenet vilket gör fotleden mer stabil. Detta är fördelaktigt för en gående livsstil med avseende på både energiförbrukning och undvikande av skador.

I denna uppsats har jag definierat vad vertikal klättring innebär, hur det fungerar på ett tredimensionellt sätt, samt dragit några slutsatser om vilka kroppsdelar som är fördelaktiga för klättring. Med detta har jag jämfört den industrialiserade människan med klättrande jägare-samlarefolk och sedan människan i allmänhet med schimpansen och orangutanen. Människan är inte lika lämpad till vertikal klättring som schimpanser är, men man bör vara försiktig med definitiva slutsatser. Jag kan inte påstå att människan inte är anpassad till klättring. Under alla år som människan har utvecklats kan det ha varit fördelaktigt att klättra. Genom att klättra upp i träd minskar risken att komma i kontakt med predatorer. Venkataraman (2013) påstår att det finns många fördelar med att vara en duktig klättrare. Bland dessa märks till exempel en större tillgång till matresurser. I sin tur skapar det också en ett större evolutionärt tryck att klättra. När man tänker på klättring som ett evolutionärt tryck kan man se hur det funkar hos Efe- Twa- och Agtafolken. Förmånen att vara en duktig klättrare är inte bara att överleva själva klättringen, det innebär också att kunna samla in mer mat. De bästa klättrarna får mer respekt bland sina medlemmar och därmed tillgång till en bättre livskvalitet. De män som kan klättra bäst har därmed också större chans att föra sina gener vidare. Är det möjligt att människans anatomi är utvecklad till att hålla en perfekt kinetisk balans mellan klättring och löpning?

Tack

Jag vill tacka Jeremy DeSilva för hans förslag att läsa artikeln, "Phenotypic plasticity of climbing related traits in the ankle joint of great apes and rainforest hunter-gatherers" och för tillåtelse att använda hans bilder och figurer. För hjälp med återkopplingen tackar jag Anders Ödeen, Björn Tengelin, Cajsa Selin, Catarina Selin, Christopher Fransson, Katariina Kiviniemi Birgersson, Lars Pettersson och Markus Hiltunen.

Referenser

- Budowick M, Bjälle JG, Rolstad B, Toverud KC. 1993. Rörelseapparatens anatomi. I: Bjerneroth G, Svensson BA (red.). Anatomisk atlas, pp. 75-85. Liber, Oslo.
- DeSilva JM. 2009. Functional morphology of the ankle the likelihood of climbing in early hominins. *Proceedings of the national academy of sciences* **106**: 6567-6572.
- Diogo R, Richmond BG, Wood B. 2012. Evolution and homologies of primate and modern human hand and forearm muscles, with notes on thumb movements and tool use. *Journal of human evolution* **63**: 64-78.
- Elton S, Foley R, Ulijaszek SJ. 1998. Habitual energy expenditure of human climbing and clambering. *Annals of human biology* **25**: 523-531.
- Hunt KD. 1994. The evolution of human bipedality: ecology and functional morphology. *Journal of human evolution* **26**: 183-202.
- Hunt KD, Cant JGH, Gebo DL, Rose MD, Walker SE, Youlatos D. 1996. Standardized descriptions of primate locomotor and postural modes. *Primates* **37**: 363-387.
- Hurov JR. 1982. Surface electromyography of superficial back muscles in human children: functions during vertical climbing and suspension and implications for the evolution of hominid bipedalism. *Journal of human evolution* **11**: 117-130.
- Isler K. 2005. 3D-Kinematics of vertical climbing in hominoids. *American journal of physical anthropology* **126**: 66-81.
- Johnson SC. 1981. Bonobos: generalized homonid prototypes or specialized insular dwarfs? *Current anthropology* **22**: 363-375.
- Kent D. 2001. Gastrocnemius: A Cramp in the Calf. *Massage Today*. 2011-11-01. <http://www.massagetoday.com/mpacms/mt/article.php?id=14493>. Hämtad 2014-03-16.
- Laden GT. 1992. Ethnoarchaeology and land use ecology of the Efe (Pygmies) of the Ituri Rain Forest, Zaire: A behavioural ecological study of land use patterns and foraging behaviour. Doktorsavhandling., Harvard University.
- Leonard WR. 1997. Rethinking the energetics of bipedality. *Current anthropology* **38**: 304-309.
- Lovejoy OC, Latimer B, Suwa G, Berhane A, White TD. 2009. Combining prehension and propulsion: The foot of *Ardipithecus ramidus*. *Science* **326**: 72-80.
- Perry GH, Dominy NJ. 2008. Evolution of the human pygmy phenotype. *Trends in ecology and evolution* **24**: 218-224.
- Pontzer H, Wrangham RW. 2004. Climbing and the daily energy cost of locomotion in wild chimpanzees: implications for hominoid locomotor evolution. *Journal of human evolution* **46**: 315-333.
- Scherf H, Harvati K, Hublin JJ. 2013. A comparison of proximal humeral cancellous bone of great apes and humans. *Journal of human evolution* **65**: 29-38.
- Susman RL. 1994. Fossil evidence for early hominid tool use. *Science* **265**: 1570-1573.

- Susman RL, Stern JT, Jungers WL. 1984. Arboreality and Bipedality in the Hadar Hominids. *Folia Primatol* **43**: 113-156.
- Venkataraman VV, Kraft TS, DeSilva JM, Dominy NJ. 2013. Phenotypic plasticity of climbing-related traits in the ankle joint of great apes and rainforest hunter-gatherers. *Human biology* **85**: 307-328.
- Venkataraman VV, Kraft TS, Dominy NJ. 2013. Tree climbing and human evolution. *Proceedings of the national academy of sciences* **110**: 1237-1242.
- Verhaegen M, Puech PF, Munro S. 2002. Aquaboreal ancestors? *Trends in ecology and evolution* **17**: 212-217.
- Ward CV. 2013. Postural and locomoter adaptations of *Australopithecus*. *The paleobiology of Australopithecus* **16**: 235-245.
- Wrangham RW. 2011. Honey and fire in human evolution. Sept J & Pilbeam D (red) In *casting the net wide: Papers in honor of Glynn Isaac and his approach to human origins research*. pp. 149-167. Oxbow Books, Connecticut.