

Katarzyna Piątkowska*

Co-evolution of the upper limbs of early hominids and the origins of stonecraft

ABSTRACT

Piåtkowska K. 2014. Co-evolution of the upper limbs of early hominids and the origins of stonecraft. *Analecta Archaeologica Ressoiviensia* 9, 11–77

This article discusses the subject of manipulative skills of early hominids in the context of stone toolmaking capabilities. A juxtaposition of morphological characteristics of fossilised bones with precise technological analyses, in particular studies on operational sequences (*chaîne opératoire*) and debitage reassembly, allows us to determine which movement sequences were necessary to make tools. Analyses of the upper extremities of hominini are based on the comparison with well-studied principles which govern the functioning of the upper limb of *Homo sapiens*. Detailing the biomechanics of lithic reduction (stone knapping) by *Homo sapiens* enabled us to establish the required sequence of movements. This was compared with technological analyses of Lower Paleolithic materials. Based on biomechanical and technological studies we arrived at a number of characteristics in the morphological structure of upper limbs which could make it easier to specify which species had been capable of making tools. The set of characteristics was compared with data from analyses of fossilised bones of early hominids.

Keywords: Lower Paleolithic, early hominids, technology, biomechanics, manipulative skills

Received: 12.06.2014; **Revised:** 31.07.2014; **Accepted:** 18.12.2014

The evolution of hominids is not only about anatomical changes, but also the development of tools. Since the advent of tools they became one of the integral factors in the evolutionary process. The ability to make and use tools increased with the specialisation of early hominid manipulative skills. Stone knapping involves an entire biomechanical complex related not only to the upper limbs but also engaging the entire body. However, this study considers only the biomechanics of the upper limbs.

Analyses of the upper extremities of hominini are based on the comparison with well-studied principles which govern the functioning of the upper limb of *Homo sapiens*. These will, in turn, be a point of reference for further analyses. Anatomical details which were given more attention are related to the criteria for the assessment of manipulative skills.

* Institute of Archaeology, Rzeszów University, Moniuszki 10 st., 35-015 Rzeszów, Poland; kahap@op.pl

A juxtaposition of morphological characteristics of fossilised bones with precise technological analyses, in particular studies on operational sequences (*chaîne opératoire*) and débitage refitting, allows us to determine which movement sequences were necessary to make tools.

Anatomy of the upper extremities of *Homo* as exemplified by *Homo sapiens*

As a result of assuming an erect posture by early representatives of the genus *Homo* (*H.*), the upper extremities lost their support function and in the course of evolution they adapted to functions such as grasping and manipulation.

This triggered a series of anatomical changes (Coffing, McHenry 2000, 126).

The first of such changes was the shortening of the upper limbs in relation to lower limbs (Lewin 2002, 147).

Mean length of the upper limbs of *H. sapiens* is 70% of the length of the lower limbs (Kujawa 1993, 120). This enables the co-ordination of movements by the organ of vision, i.e. determining eye-to-hand distance. Limbs of excessive length would impede many operations. Moreover, liberating the upper limbs from support functions brought about a reduction in stress, so they became smaller and more delicate than the lower extremities.

The weight of the upper limbs in proportion to the whole body is 14%, whereas the weight of the lower limbs is estimated at 37% of the entire body mass (Sokołowska-Pituchowa 2000, 554). Despite such disproportions, the upper limbs contain many more muscles than the lower ones. The higher number of muscles makes the upper limbs more specialised and increases the range of motion. The presence of the opposable thumb and well-developed thenar and hypothenar muscles allow the species to make very precise hand movements (Sokołowska-Pituchowa 2000, 612).

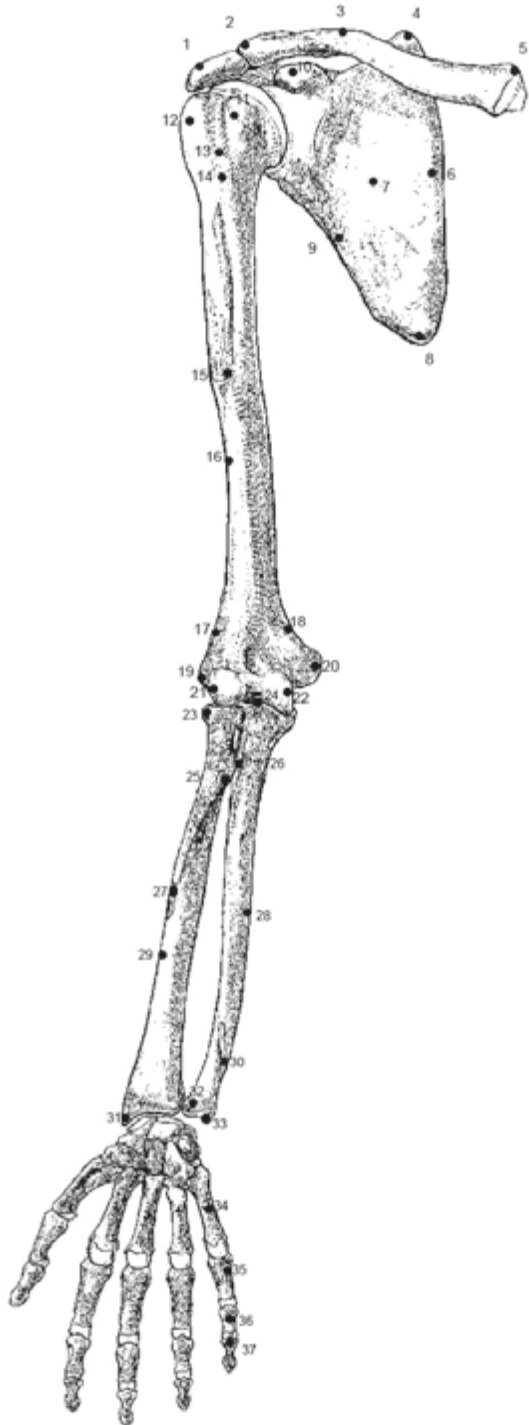
The upper limbs may be likened to “a crane jib that works like a lever arm, allowing the hand to be suitably located in space” (Nawotny 2004, 133). The last, distal section of the upper limb is the proper grasping organ adjusted to perform precise movements (Manikowski, Strzyżewski 2003, 312). The upper limb is composed of its girdle and the free section. The latter is built of the arm, the forearm and the hand (Sokołowska-Pituchowa 2000, 556) (Fig. 1).

Fig. 1. Bones of the upper limb – frontal view (after Głowacki 2007):

1. acromion, 2. acromioclavicular joint, 3. clavicle, 4. upper angle, 5. sternal end, 6. medial edge, 7. costal surface, 8. lower angle, 9. lateral edge, 10. coracoid process, 11. lesser tubercle, 12. greater tubercle, 13. intertubercular groove, 14. surgical neck, 15. tuberositas deltoidea, 16. humeral shaft, 17. lateral supraepicondylar crest, 18. medial supraepicondylar crest, 19. lateral epicondyle, 20. medial epicondyle, 21. humeral head, 22. humeral trochlea, 23. radial head, 24. coronoid process, 25. radial tuberosity, 26. ulnar tuberosity, 27. pronator tuberosity, 28. ulnar shaft, 29. radial shaft, 30. supinator crest, 31. radial styloid process, 32. ulnar head, 33. ulnar styloid process, 34. 5th metacarpal, 35. proximal phalanx, 36. medial phalanx, 37. distal phalanx

Ryc. 1. Kości kończyny górnej - widok od przodu (wg. Gielecki *et. al* 2007):

1. wyrostek barkowy, 2. s. barkowo-obojęzyczny, 3. obojęzyczny, 4. kąt górny, 5. koniec mostkowy, 6. brzeg przyśrodkowy, 7. powierzchnia żebrowa, 8. kąt dolny, 9. brzeg boczny, 10. wyrostek kruczy, 11. guzek mniejszy, 12. guzek większy, 13. bruzda międzyguzkowa, 14. szyjka chirurgiczna, 15. guzowatość naramienna, 16. trzon k. ramiennej, 17. grzebień nadkłykciowy boczny, 18. grzebień nadkłykciowy przyśrodkowy, 19. nadkłykiec boczny, 20. nadkłykiec przyśrodkowy, 21. główka k. ramiennej, 22. błoczek k. ramiennej, 23. głowa k. promieniowej, 24. wyrostek dziobiasty, 25. guzowatość k. promieniowej, 26. guzowatość k. łokciowej, 27. guzowatość nawrotna, 28. trzon k. łokciowej, 29. trzon k. promieniowej, 30. grzebień m. odwracacza, 31. wyrostek rylcowaty k. promieniowej, 32. głowa k. łokciowej, 33. wyrostek rylcowaty k. łokciowej, 34. V k. śródręcza, 35. paliczek proksymalny, 36. paliczek medialny, 37. paliczek dystalny



The upper limb girdle

The upper limb girdle contains two scapulae and two clavicles connected at the front with the manubrium of the sternum to the stable part of the trunk (Milanowska 2001, 208). Due to the assumption of erect posture by representatives of the genus *Homo*, the thorax became flattened in the dorsal and abdominal regions, with the subsequent relocation of the scapulae to the rear wall of the chest (Reicher 1999; Coffing, McHenry 2000, 128). Thanks to its elaborate musculature, the scapula moves along an arc on the rear wall of the chest. This dramatically increases the freedom to move the upper limb, making it possible e.g. to raise the free section of the limb above the plane of the glenohumeral joint. The muscles responsible for the movements of the scapula attach to it from various sides, making it the most mobile part of the shoulder girdle, and its every movement entails moving the whole limb (Milanowska, 2001, 208).

According to the functional anatomy approach, the upper limb should include the glenohumeral joint, as many muscles of the scapula are also attached to the humeral bone, forming a functional entirety (Milanowska 2001, 209). The mechanics of these joints may be described as multi-directional and multi-axial, although their basic movements are limited to three planes, the remainder being only



Fig. 2. Bones of the hand – volar side view (after Głowacki 2007):

1. distal phalanx, 2. medial phalanx, 3. proximal phalanx, 4. 2nd metacarpal, 5. distal phalanx tuberosity, 6. medial phalanx trochlea, 7. proximal phalanx trochlea, 8. medial phalanx head, 9. medial phalanx shaft, 10. medial phalanx base, 11. metacarpal head, 12. metacarpal shaft, 13. metacarpal base, 14. 3rd metacarpal styloid process, 15. hook of the hamate bone, 16. trapezium tubercle, 17. smaller multangular bone, 18. capitate bone, 19. pisiform bone, 20. triquetral bone, 21. scaphoid bone tubercle, 22. lunate bone

Ryc. 2. Kości ręki - widok od strony dłoniowej (wg. Gielecki et al 2007):

1. paliczek dystalny, 2. paliczek medialny, 3. paliczek proksymalny, 4. k. śródręcza II, 5. guzowatość paliczka dystalnego, 6. blocek paliczka medialnego, 7. blocek paliczka proksymalnego, 8. głowa paliczka medialnego, 9. trzon paliczka medialnego, 10. podstawa paliczka medialnego, 11. głowa k. śródręcza, 12. trzon k. śródręcza, 13. podstawa k. śródręcza, 14. wyrostek rylcowaty III k. śródręcza, 15. haczyk k. haczykowatej, 16. guzek k. czworobocznej większej, 17. k. czworoboczna mniejsza, 18. k. główkowata, 19. k. grochowata, 20. k. trójgraniasta, 21. guzek k. łódeczkowatej, 22. k. księżycowata

combinations thereof. Basic movements include: flexing and extending in the sagittal plane, i.e. perpendicular to the transverse axis of the glenohumeral joint; abduction and adduction in the frontal plane around the sagittal axis; rotary movements to the outside and inside in the horizontal plane around the vertical axis (Sokołowska-Pituchowa 2000, 575) (Fig. 2).

The free section of the upper limb

The free section of the upper limb includes structures below the glenohumeral joint (Fig. 1). These include the arm, the forearm and the hand (Sokołowska-Pituchowa 2000, 579). The placement of the scapula in the frontal plane shifts the glenoid cavity to nearly a lateral position. Such placement of the glenoid cavity greatly enhances the possibility of making movements beyond the frontal plane of the body – a typical trait of *H. sapiens*. What is more, the shallow cavity of the joint and the loose capsule enable a much greater range of motion than its pelvic counterpart.

The bottom part of the cavity contains a prominence – a vestige of the previous role of the upper limb as a support organ. In tetrapods, the glenoid cavity is much smaller, allowing a limited range of motion. In the course of evolutionary changes the glenoid cavity of hominids grew larger as the upper limb took over grasping and manipulating functions; however, certain traces of the support application remained (Milanowska 2000, 229).

The humerus and the bones of the foramen form a single functional system connected by the ulnar joint. The joint's range of motion is considerably larger than in the case of the knee joint. For pronation and supination, the range is 170° relative to the longitudinal axis of the free limb (Milanowska 2001, 230). The most complex connection is formed by the interface between the antebrachial bones and the first row of carpals, and between the second row of carpal bones and metacarpals. The connections are stabilized by a set of 24 muscles and 14 ligaments (Milanowska 2001, 230).

Simple hand movements generally require simultaneous work of multiple muscles. For example, flexing the wrist involves the activity of the following muscles: palmaris longus, flexor carpi radialis, flexor carpi ulnaris, flexor digitorum profundus, flexor pollicis longus. All of these muscles are also used to flex the ulnar articulation, so that

flexing only the wrist activates the tricep muscle used to extend the ulnar joint, with the corresponding counteraction of finger extensors. Consequently, when studying the manipulative abilities of early hominids it is important to consider the overall mechanics of the upper limb.

Likewise, finger movements are always performed in conjunction and occur simultaneously at multiple joints. Of particular importance is the structure of the carpometacarpal (CMC) joints. Thanks to the location of the first metacarpal and the trapezium bone, the thumb is opposable to other fingers whilst preserving maximum mobility of the joint in comparison to other fingers. The fifth finger is also characterised by extensive mobility at the CMC joint, hence the opposability of the small finger to the thumb (Sokołowska-Pituchowa 2000, 621–625).

The correct function of the hand is determined by three factors: grip quality, grip value and manipulative ability. Grip quality is defined as the ability of the hand to adjust to the shape of the object being held. The structure of the hand with multiple articulations provides it with significant malleability, hence grips of many different shapes. There are as many as 18 grasp and hold types (according to Schlesinger). In practice, such classifications may be based on a few basic types of grip. They are comparable to actions performed by means of a hook, pinners and pliers (Nawotny 2004, 134).

Manikowski (2003, 318) differentiates the following grip types:

- precision grips: lateral pinch, 2-jaw chuck;
- power grips: hammer grip and hook grip;
- functional grips: concentric grip and cylindrical grip

Grip value consists in adapting the hand to carrying internal loads. It is determined by muscular strength, the efficiency of the ligament system and even the friction between the palm and the object being held (Nawotny 2004, 135).

Prehensility depends on dynamic factors such as the condition of the muscles, range of motion in the articulations as well as static factors such as correct bone axes or maintaining the correct longitudinal and transverse arc of the hand required for obtaining the appropriate grip (Manikowski 2003, 1). The ability of the hand to manipulate objects is conditioned by the value and quality of the grip, but first and foremost on the functional quality of the nervous system.

In many cases it is necessary to use both hands. Frequently one of them (the dominant one) performs basic functions, whereas the other

one assists in the activities by stabilising the object. Occasionally both hands perform identical function, e.g. in two-hand manipulation in the case of large objects (Nawotny 2004, 135).

Manipulating the upper limb in lithic reduction

During stone knapping, the upper limb performs two functions: hitting the object being shaped and stabilising it. The acceleration of the impact of the hammerstone is greater and smoother for skilled individuals. To determine the level of ability of an individual one must establish their physical aptitude.

The following impact parameters are usually isolated: core orientation, impact trajectory (the exact angle and point of impact), hammerstone velocity and the way in which it is being held. As established in biomechanical studies (Biryukova *et al.* 2005, 74), knapping involves 7 independent rotations in 3 sections of the upper limb:

1. in the wrist: abduction, adduction;
2. in the elbow: pronation, supination, flexion, extension;
3. in the arm: abduction, adduction, flexion, extension and rotation of the arm relative to the rest of the body (Biryukova *et al.* 2005, 74).

Each movement of the upper limb is a combination of the 7 rotations. Limited motion diversity is an indicator of a higher level of proficiency. A more developed hand movement results in smaller alterations in motion trajectory, hence the reduced diversity. Higher motion amplitude means greater potential energy. At the impact, this energy is converted to kinetic force with which hammerstone acts on the stone being knapped (Biryukova *et al.* 2005, 79). The combination of multiple body segments results in a greater force and velocity used in the impact. The transmission of pulses is optimum when dynamic balance occurs between interconnected components. An example of this may be stiffening the joints in order to effectively transfer the energy from the hand to the racquet when playing tennis (Ivanova 2005, 120).

When hitting the ball with the racquet, human body may be seen as an open kinetic chain. The entire body forms a coherent system, with upper limbs and the trunk becoming an integral part during the movement. Transferring force and velocity is obtained by coordinating individual body segments: stiffening the joints and thus extending respective parts

(Ivanova 2005, 122). Energy and pulses are transferred from proximal, more massive parts to subtler distal segments. This causes the energy to increment.

As the proximal part decelerates, the energy increment is transferred to the next distal section, and the decrease in the mass of those segments also shortens the deceleration phase, thereby generally increasing the velocity of the most distal sections. In this way movement mistakes, too, are transferred: a mistake in the initial phase affects subsequent performance, leading to erroneous movements. The more precisely the movements have been trained, the better the response to disturbances, and, as a result, consistent velocity at impact.

Having generated a large amount of energy at impact, the energy is then returned and received by distal sections and directed to proximal parts, also by stiffening the joints (Ivanova 2005, 124). With the motion analysed in such a way, we may assume that a tennis adept perfecting his or her serve, a specialist shaping a stone or even a chimpanzee splitting a nut are faced with the same biomechanical problems (Ivanova 2005, 120).

Maximum number of impact directions at the core is therefore distinctive of individuals with low skill level. Individuals more adept at stonework use much less variety in impact directions. An inexperienced person may achieve less satisfactory results even when applying twice as much force than the experienced individual; the movements of the novice are unstable, thus creating an unstable direction of the impact.

Accordingly, a proficient specialist exhibits: a large amplitude of hammerstone trajectory, standardised impact direction, stereotypical articulation trajectories, a large degree of freedom during motion, the use of arm instead of wrist muscles to apply force to the hammerstone (Biryukova *et al.* 2005, 79–81). The impact should be an energetic action, maintaining the object under control. Both hands must provide the same grip type. In addition, the grip should leave the cutting edge largely exposed so as to avoid damage to the hands (Marzke 2005, 245). Identical changes are observable when using a hammer (Bernstein 1926; Ivanova 2005, 122).

By comparing the structure of the upper limbs of humans and apes one may also specify a set of distinctive traits of *H. sapiens*. Humans have a specific pattern of articulation morphology due to the struc-

ture of metacarpals II–V and carpals. The pattern facilitates grasping hammerstones, cores, cylindrical bones, wood and other tools in certain ways (Marzke 2005, 243–255).

At the base and the distal part of the index finger's metacarpal, a certain set of features exists, facilitating the rotation of the index finger pad towards the pad of the fifth finger as well as flexing and abducting it towards the thumb. Those characteristics are crucial for a firm precision grip. Also, a distinctive feature of human anatomy is the shape of the joints between the second metacarpal and the proximal phalanx of the index finger. These joints, like the joints at the base of metacarpals, allow the finger to pronate when flexed and abducted. A supplementary morphological system is located at the base and the distal end of the fifth metacarpal (Marzke 2005, 243–255).

A proportionally large joint at the base of the metacarpal, together with the chamfered middle section of the head of the metacarpal, facilitate the rotation of the fifth finger around the pad of the thumb and the index finger. The movement (supination) increases the finger pad's adaptation to friction, adjusting to shapes of various objects, gripping large objects between the thumb and other fingers, and is characteristic of human squeeze grips, in which the small finger anchors cylindrical objects in the hand, opposing the thumb (Marzke 2005, 243–255).

Another human characteristic is the skeletal structure of the third metacarpal. It counteracts the force transferred towards the central part of the hand when using a hammerstone to flake stones. As the hammerstone hits the core, the force is directed towards metacarpals II and III. The direction of force reaction may lead to a dorsal inclination of the base of the third metacarpal and a tendency for the bone to lean forward. The formation of the styloid process at the dorsal base of the third metacarpal prevents the hyperextension and sublocation of the base (Marzke 2005, 243–255).

Relatively large articulations and strong bones in the thumb and fifth finger area are typical of *H. sapiens*. The two fingers are also made up of strong muscles responsible for power grips. When hitting with a hard hammerstone, the thumb and the fifth finger are subject to intensive and repetitive counteractions of internal and external muscles. Therefore, one may expect that the hands of early hominids could have been adapted to such stress. Presumably, first toolmakers had already had proportionally massive first and fifth

metacarpals as well as relatively large articulation planes in these bones (Marzke 2005, 243–255).

It was also reported that internal tendons in human thumbs are considerably more developed. They are used in flexion, extension, supination and pronation. This enables achieving a more effective muscle rotation with relatively less energy. The skill is particularly important for people who manipulate tools. The attachment of these tendons are marked on the bones of fossil hominids (Marzke 2005, 243–255).

Determining the human pattern is important in that it allows us to detail the formation of a precise power grip, and in consequence the ability to make tools. It must be noted that not all morphological traits of the upper limbs of *H. sapiens* which facilitate toolmaking are unique to humans. Gorillas have a more flatly formed joint surface of the first metacarpal than chimpanzees, which points to a course of development similar to that of humans. Nevertheless, from the evolutionary standpoint, it is chimpanzees that are more closely related to *Homo sapiens*. Some biologists claim that there is nothing unique in the structure of the joint in humans. Such topography may be regarded as an original characteristic of the *Catharines* order (Marzke 2005, 243–255).

Biomechanics of the upper limbs in early hominids

A fundamental problem in studying manipulative skills of early hominids is relatively insufficient amount of available data. In many cases, hominids are not thoroughly examined. Consequently, there is often room for contradictory or mutually exclusive interpretations, in which formulated arguments are far from objective, and used only to support the view of the researcher. Another obstacle is the lack of reliable studies that would combine both archaeological and anthropological data. Early excavations focussed mainly on searching for more fossil hominid bones and only cursory attention was given to archaeological artefacts. As a result, more is known about hominids themselves than their technical skills (Delagnes, Roche 2005, 436). Although publications on manipulative skills of hominids mention tools used by the Oldowan culture, no exact analyses are available (Susman 1998, 40–41). By contrast, archaeological publications contain detailed technological analyses, but only mention the alleged creators of the

technologies (Semaw 2000, 1210). Those issues frequently arise due to the lack of coexisting remains of early hominids and tools in the same clusters, which significantly hinders correlating them with one another (Delagnes, Roche 2005, 436).

Archaeological studies focus on proving high level of ability of early hominids, stressing that the production of Oldowan tools required the toolmakers to select material, visualise the form, use three-dimensional imagination, repeat certain movements and communicate their knowledge of the subject (Gowlett 1984, 180). The hominids are often compared to *H. sapiens*, and great emphasis is put on shared characteristics. Few studies, however, discuss their limitations. This obscures the true picture of the technical abilities of hominids (Delagnes, Roche 2005).

Further problems arise in anthropological research. Very complex movement combinations must be analysed when studying fossilised bones (Marzke 2005). Different sets of bones found at individual sites are numerous, so it is impossible to establish the correct link between morphological patterns that might suggest adaptive stress and tool-making ability (Marzke 2005, 243).

According to anthropologists, fossilised bones of hominids are the most important source of answers to the questions. The shape and internal structure of the bone provide clues as to the extent and type of stress related to the specific way in which the upper limbs were used. Articulation surface topography corresponds to the potential range of movements and additional abilities of joints. To certain extent, muscular attachment locations may indicate relative size of muscles. Interpretations in the field of the functioning of the hand and behaviour based on clues obtained from skeletal samples require in-depth knowledge of gripping, joint movements and muscular activity, combined with characteristics of the manipulative abilities of contemporary hominids and primates (Marzke 2005, 243–246).

In addition, hands of early hominids feature a mosaic of primitive (simian) and advanced (human) traits, making it difficult to determine their manipulative abilities. It is essential that characteristics unique to the fossil are taken into consideration in the process (Susman 1998, 27). Precision grip indicators are based on observations of *H. sapiens*. One must be aware that due to other morphological characteristics of individual species preceding *H. sapiens* the grip could have been different. Given that a morphological structure has a specific role in several

contemporary species, it is therefore expected that if the structure is present in the fossils, the individual was able to perform that function. Problems arise when different functions are associated with a single structure, making it difficult to decide which function the structure was responsible for in an extinct species.

Another important question is the intrinsic nature of the artefacts of the Oldowan culture. The culture produced a great variety of tools, both in terms of size and morphology. Toolmaking techniques were also diverse. Both flake and core tools are present (Toth 1985, 101–120). Interpretations concerning manipulative skills should therefore make reference to all of the above items. A selection of tools from the period contains items of non-standard shape and various sizes. This makes it difficult to specify the function of tools, generating further problems with establishing grips used by early hominids (Susman 1998, 26).

Assessment criteria

Based on biomechanical and technological studies we arrived at a number of characteristics in the morphological structure of upper limbs which could make it easier to establish which species was capable of making tools. A list of characteristics that are most significant in terms of evolutionary changes was compiled by M. Marzke (1997, 99–101). The following criteria were taken into consideration:

- The proportion of the thumb to other fingers allows us to assess the manipulation of the pads of the thumb and other fingers. Relative length of the thumb in comparison to other fingers provides a substantial amount of information on the ability to form specific grips (Marzke 1997, 99–101). On the other hand, it must be noted that fossilised remains never represent a complete hand skeleton, so it is hard to calculate relative thumb length due to the lack of a point of reference (Susman 1998, 26–31).
- Characteristics of thumb bones which indicate the development of internal and external thumb muscles; proportionally well-developed attachments of thumb muscles: the flexor pollicis longus.
- Studying the topography of carpo-metacarpal (CMC) and metacarpophalangeal (MCP) joints allows researchers to assess the individual's ability to hold an object in the hand and the hand's adaptability to the shape of the object.

- A noticeable asymmetry between the second and fifth metacarpal (Lewis 1977, 167–172). This indicates that the second finger rotates in the ulnar direction, and the fifth finger rotates in the radial direction (Marzke 1997, 99–101).
- The presence of the styloid process in the third metacarpal.
- Examining the relative size of the fifth metacarpal. The presence of a massively-built fifth metacarpal is related to the activity of internal and external muscles of the finger due to the force at impact and the need to secure the grip (Marzke 2005, 243–255).
- The presence of a developed tuberosity of the distal phalanx, suggesting more innervated pads (Marzke 1997, 99–101; Susman 1998, 28). Diversification of the pads, which allows us to assess the ability to perform several types of precision grips (Kujawa 1993, 125–127). Large finger pads assist in all grips in which fingertips are used, stabilising the object – irrespective of its size (Susman 1998, 26–31).

Yet, certain researchers believe that one cannot determine a dozen or so morphological characteristics which would enable a complete assessment of manipulative skills. According to Susman (1998, 37), establishing the presence of certain traits such as a relatively long thumb or proportionally well-developed thumb muscle attachments proves problematic when it has to be verified on fossilised bones. It is impossible to verify the orientation of the second CMC joint in other comparative studies, e.g. comparative analyses. Longitudinal crests in the upper sections of distal phalanges are present in tool-making species and species which did not make tools (Susman 1998, 37). Such limitations prevent researchers from identifying more than a dozen specific grips which could have been used by first hominids. The knowledge of shapes and forms of the tools allows us to draw conclusions on the way in which the tools were held, but there are always several possibilities, each of which involves activity of different muscle groups. Thus, even the absence of certain muscles may not affect the ability to use a given tool category.

Another facilitation in the assessment of manipulative abilities of early hominids was provided by Marzke (1997, 99–101), who defined four stages of tool behaviour:

- 1) Tool behaviour as in chimpanzees, i.e. occasionally using and making tools from natural objects by means of upper limbs, still adapted to quadrupedal locomotion.

- 2) A characteristic increase in grip strength (pinching) and adjustment to grasping a broader variety of shapes. Human-specific characteristics related to: finger control, grip strength, tolerating new stresses resulting from tool use and toolmaking.
- 3) A clear connection between morphology, toolmaking and controlled use of non-hafted stone tools.
- 4) A specific use of hafted tools and very small tools which requires a 2-jaw chuck grip with human hand proportions.

The above-defined stages were intended to allocate a given species to a specific stage of development. Then, the development stage could be related to the above-mentioned characteristics and clearly defined manipulative abilities.

Such classification was widely criticised. According to Susman (1998), it is impossible to test the first stage on anthropological material. Even if the knowledge on tool use by chimpanzees is well-grounded, the fact is not discernible in bone material. Moreover, the tools are generally made of organic (i.e. perishable) materials. Even more difficult is tracing the existence of the first stage of tool behaviour, as it is preserved neither in anthropological nor archaeological material.

Biomechanical studies on pre-historic tool making conducted during experimental archaeological research revealed that tool construction involved a limited number of precision grips (Marzke 1997). The use of primitive tools necessitated applying three precision grips and one power grip, namely:

1. a precision grip (*pad-to-side*) formed by grasping the object by the distal section/pad of the thumb and the lateral section of the index finger, e.g. when turning a key in the lock (Fig. 5);
2. a precision grip (*pad-to-pad*) formed by grasping the object by the distal section/pad of the thumb and the index finger;
3. a precision grip involving the cooperation of the thumb, the index finger and the third finger (Fig. 3);
4. a power grip formed by holding the object clasped by the palm on one side and by fingers II–V on the other side (Girelli 2001) (Fig. 4).

Forming the above grips required the following details in the morphological structure of the upper limbs in early hominids: asymmetry of the second and the fifth metacarpal; a relatively long thumb in comparison to other fingers.

Fig. 3. A variant of a 3-jaw chuck with percussor supported on the 4th and 5th finger (after Feustel 1973, 50)

Ryc. 3. Wariant chwytu trójpunktowego z podparciem tłuka na IV i V palcu (wg Feustel 1973, 50)

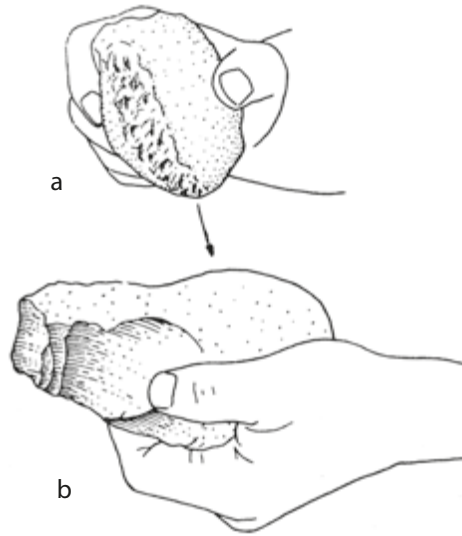
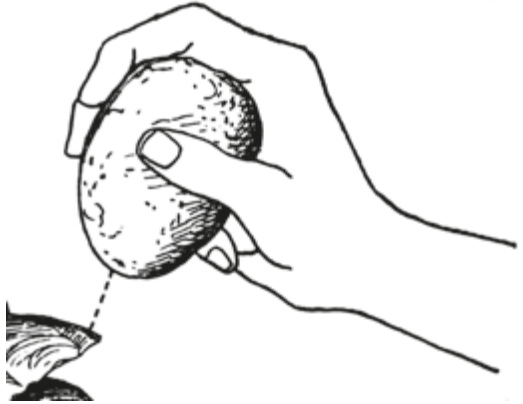


Fig. 4. An example of the application of a 2-jaw chuck – a and cradle grip – b (after Feustel 1973, 51)

Ryc. 4. Przykłady zastosowania chwytu dwupunktowego – a i kolebkowego – b (wg Feustel 1973, 51)



Fig. 5. Key grip (after Feustel 1973, 52)

Ryc. 5. Chwyt kluczowy (wg Feustel 1973, 52)

It was revealed that in the process of toolmaking the Oldowan industry used impacts by a hard, spherical hammerstone. The thumb, the index finger and the third finger were holding the stone while it was being supported against flexed 4th and 5th fingers. A 3-jaw chuck was also used for stone throwing (Feustel 2005, 244–246) (Fig. 3).

During lithic reduction, the core was being held and stabilised by a cradle grip, also called finger-to-palm grip. In this grip the core is placed between the palm surface and four fingers and the opposed thumb which secures the object. This type of power grip is applied when holding large flat objects (Feustel 2005, 244–246) (Fig. 4).

Achieving a precise impact was crucial, so the stone was held in the palm by distal phalanges to allow a better movement rotation. The smaller the core became in the process of reduction, the further it was removed from the palm in the direction of the fingers and the thumb or held between the thumb on the index finger side (key grip) (Marzke 2005, 243–255). The key grip was also vital when using tools such as flakes removed from the core. The use of small tools made it necessary to apply firm pressure between the thumb and the side of the index finger. Therefore, the key grip was used as the strongest example of a squeeze grip (Feustel 2005, 244–245) (Fig. 5).



Fig. 6. Cylindrical squeeze grip (after Feustel 1973, 52)

Ryc. 6. Chwyt uciskowy cylindryczny (wg Feustel 1973, 52)

All cylindrical tools such as long bones and sticks were held by means of another type of a squeeze grip. The grip is still present today when using a hammer or a tennis racquet. The object is squeezed by convergent sides of the palm, thumb and flexed fingers. The thumb wraps around the tool, with other fingers and the index finger performing the impact placed perpendicular to the tool axis (Feustel 2005, 244–246) (Fig. 6).

The muscles of the thumb and index finger play an important role in this grip.

Of particular significance is a group of three muscles stabilising the base of the thumb against the trapezium at the metacarpotrapezial joint when the thumb is opposed to other fingers. Muscles such as the oblique section of the extensor pollicis and the superficial head of the extensor pollicis brevis were extensively used by prehistoric makers and users of stone tools, as verified in the experiment in which humans and chimpanzees were compared (Marzke 2005, 243–255).

On the other side of the (metacarpotrapezial) joint the stabilising function is performed by other internal (flexor pollicis brevis and the oblique section of the extensor pollicis) and external muscles (flexor

pollicis longus, extensor pollicis longus). They are responsible for flexion and extension of the distal section of the thumb. Muscle attachments clearly marked on fossilised bones may have significant implications for the assessment of manipulative skills of hominids (Marzke 2005, 243–255).

Basic technological issues

Most of the discovered 2.6–1.5 million year-old archaeological artefacts are cores, broken and whole flakes, core fragments, a small number of retouched pieces, and fragments of raw materials brought to the site. Debitage, consisting of whole and split flakes and core fragments, makes up 99% of collected findings.

Two basic variations of impact technique were used: hitting with a hammerstone clasped in the hand and the bipolar technique (Pelegrin 2005, 24). The former was applied mainly in the case of raw materials of volcanic origin (Gona, Lokalelei), the latter – in the case of quartz (Omo) (Semaw 2000, 1205–1209). Products of the Oldowan industry are classified according to technological criteria as: knapped pieces (cores, core tools, e.g. choppers), split-off pieces (flakes, chips, scales), percussors (hammerstones), unworked pieces (manuports).

Knapping was the most significant stage in the making of core tools. Its expected effect was a single desired tool obtained in the process of shaping a blank. Due to the absence of preparatory activities, the choice of the raw material was of utmost importance. Round concretions were regarded as the most suitable for treatment. In this method emphasis was put on arriving at a single core tool instead of removing as many flakes as possible (cf. the flaking method) (Delagnes, Roche 2005, 442; Roche 2005, 35–47; Andrefsky 1998, 11–38).

The flaking method prioritises the most effective core reduction. Correct core treatment allowed the toolmaker to obtain a large number of quality flakes. To achieve this, the impact had to take place close to the edge instead of at the very edge of the solid (Fig. 8), and the angle of the impact could not exceed 90°. Genuine two-hand dexterity is necessary to meet the two requirements. As one hand performs the movements, the other maintains the core in the appropriate plane. Much less skill is needed when splitting stone solids or nuts on a plate

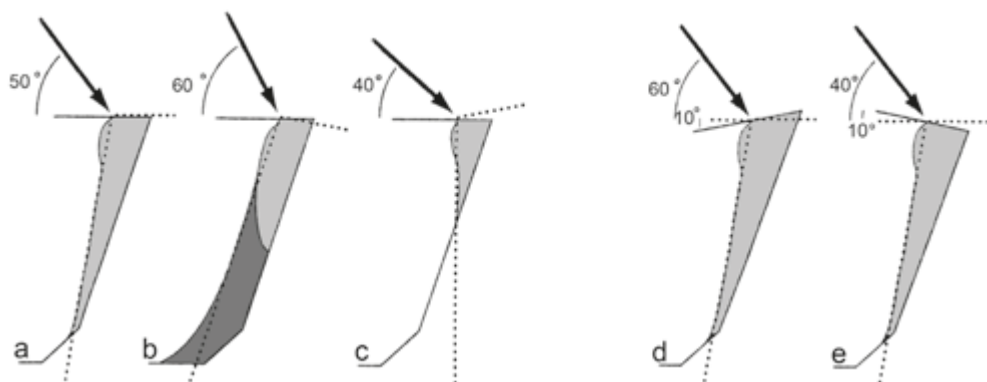


Fig. 7. A diagram showing the effect of impact angle on the efficiency of flake removal: a–c – a change in the impact angle with constant angle between the striking surface and the striking platform; d, e – a change in the angle with varying angle between the striking surface and the striking platform (after Pelegrin 2005, 26)

Ryc. 7. Schemat wpływu kąta uderzenia na skuteczność odbicia odłupka: a–c – zmiana kąta uderzenia przy stałym kącie między odłupnią a piętą; d, e – zmiana kąta przy zmieniającym się kącie między odłupnią i piętą (wg Pelgrin 2005, 26)

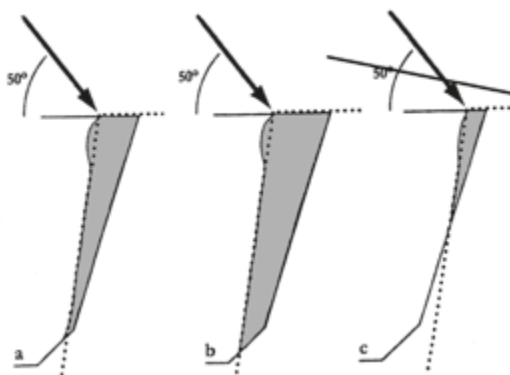


Fig. 8. A diagram showing changes in the shape of a flake depending on the distance of the impact from the edge of the striking platform (after Pelegrin 2005, 26)

Ryc. 8. Schemat zmiany kształtu odłupka w zależności od odległości uderzenia od krawędzi pięty (wg Pelgrin 2005, 26)

(Pelegrin 2005, 23–33). In the impact technique, hitting an undesirable spot is much more likely (Andrefsky 1998, 11–38). In order to detach a single flake from the solid, the toolmaker must:

- select an appropriate edge – one which is not too thick;
- position the solid so that it is correctly inclined to the impact direction;
- locate the point of impact so that it is not too far from or too close to the edge;
- shift or re-orientate the solid to remove the next flake (Pelegrin 2005, 23–33).

In order to remove a series of flakes from a large flat surface, the toolmaker must:

- choose an striking platform of a core angle of approx. 75° (Fig. 7);
- position the flat surface at the appropriate angle to the ground;
- establish an impact point about 1 centimetre away from the edge;
- strike at an angle of approx. 50° – the angle may depend on the inclination of the striking surface itself (Fig. 7, 8);
- move the striking platform to the side in order to detach another flake, taking into account the previously removed flake, e.g. if it was hinge-terminated (Fig. 7b), the point of impact must be withdrawn further away (Pelegrin 2005, 23–33).
- the point of impact could change depending of the shape of the angle between the striking platform and the striking surface (Pelegrin 2005, 26) (Fig. 7; Fig. 8).

One must also be aware of mistakes that were made. They resulted from circumstances such as the quality of the raw material, the stoneknapper's skill and the amount of time which could have been allocated to the production of the tool. Most frequently, mistakes were caused by applying excessive force at the impact point. This led to the production of plunging and hinge-terminated flakes (Pelegrin 2005, 23–33; Andrefsky 1998, 11–38) (Fig. 7b).

Another very important fact to be considered in technological analyses is the dynamics of changes in tools. Stone tools underwent a number of changes: from the production process through use, disposal to post-deposition phase. Over the period of use, two sample tools could be similar in functional and morphological terms, although their morphology could have been altered due to post-deposition processes. Therefore, it is essential for the analyses to distinguish between intentional features such as percussive waves, point of impact, retouch etc. from those that may result from other factors.

Each of the processes affects stone artefacts and their clusters, leading to changes in the shape and size of individual items. Such dynamics causes change and evolution of stone tools, both individually and collectively (Andrefsky 1998, 11–38). Also, a tool could have been reworked already when it was in use. In its early phase, the tool may have been used as a chopper. Due to a relatively wide angle between the edges, its blade is easy to cut and split hard material such as wood, and the risk of breaking the tool is low. The same tool may

be resharpened when its edges have become blunt or thinned out to make it more suited to particular tasks. If flakes are required to cut soft material, such core tool in its early or intermediate production phase may be used as a core. Even the less advanced tools go through various production stages (Andrefsky 1998, 11–38).

Technological analysis of stone material from selected sites associated with early hominids

Dating back to 2.6–2.5 million years ago, the Gona site is known for the oldest Paleolithic artefacts. Newer sites at which tools were found are located in Hadar, Omo (Ethiopia) and Lokalalei (Kenya), dating back to 2.4–2.3 million years BC. This paper discusses in more detail the complexes originating from East Gona and Lokalalei 2C due to relatively thorough analyses carried out at those sites (Table 1).

Table 1. Percentage of selected artefact categories based on six Oldowan culture sites (Semaw 2000, 1002)

Tabela 1. Procentowy udział wybranych kategorii zabytków na przykładzie sześciu stanowisk kultury olduwajskiej (Semaw 2000, 1002)

	East Gona 10	East Gona 12	Lokalalei 1	Lokalalei 2C	Omo 57	Omo 123
cores	0.97	0.97	11.99	2.61		1.56
whole flakes	17.82	30.42	17.51	16.88	23.34	38.86
flake fragments	6.13	12.62	55.63	57.14		
chips	73.53	54.05	11.99	16.06	70.00	56.45
core fragments	1.55	1.62		0.44	6.66	2.35
percussors				0.82		
retouched pieces				0.44		
other		0.32	2.88	5.61		0.78
total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

East Gona

The technique of hitting an object with a hard percussor was used to make most flake tools from Gona. 43 complete and partly destroyed cores were found there (Table 2). Flakes were sourced from all of the cores (Semaw 2000, 1205–1209). Most of them were made according to a similar pattern, i.e. from cobblestones. The cores are of surprisingly good quality considering the early dating (Semaw 2000, 1207). Good motor coordination was essential when removing thick flakes. Some cores (30%) were bifacially worked.

Whole flakes as well as their near-butt fragments uncovered at the Gona site possess a set of features typical of the application of a hard percussor. They have a large-sized bulb and butt. Retouched fragments are extremely rare and similar to those from Lokalalei 2C. A total of 679 flakes were found (Table 2). Trachyte was used as the main raw material. Most of them have a cortex-free dorsal surface, which means that the flakes were obtained in a number of series. Moreover, the presence of coloured butts indicates lack of preparation of the striking platform before knapping.

Chips constitute the largest group in the East Gona inventory, accounting for 73.53% (Table 2).

According to R. Semaw (2000, 1209), early hominids understood the mechanics of simple flake detachment process. However, the researcher does not assume, like H. Roche (2005, 35–47), that coordination skills and level of knapping abilities were lower than in the most developed Oldowan forms dating back to a period later than 2 million years ago. Instead, the Gona hominids are believed to have been as developed as those that were unearthed at much newer complexes (Semaw 2000, 1209).

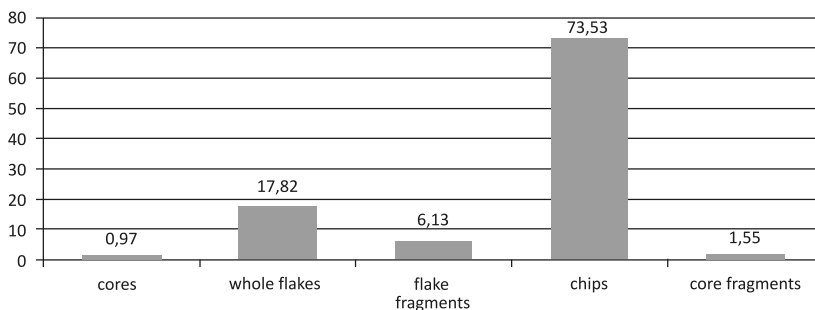


Table 2. Percentage of selected artefact categories from the East Gona 10 site (after Semaw 2000, 1202)

Tabela 2. Procentowy udział wybranych kategorii zabytków ze stanowiska East Gona 10 (wg S. Semaw 2000, 1202)

Lokalalei 2C

Following a detailed examination it was concluded that the techniques used at Lokalalei 2C were more advanced. Debitage analysis of artefacts found at the site indicates that even early raw materials were selected intentionally. Large oval or flat solids were usually chosen. The technology known from early Paleolithic period does not constitute

an initial stage of toolmaking. Its creators must have already had some technological knowledge. Debitage analysis suggest that core reduction was limited only to those parts the use of which gave measurable results, e.g. as long as it rectified the core angle or made it possible to obtain a blank (Table 3). Failed rounding attempts were absent; in case of minor errors striking platforms were repaired. An initial, suitably flat striking surface was maintained, which enabled appropriate core reduction and high productivity obtained by nearly parallel or convergent impacts (Roche 2005, 35–47).

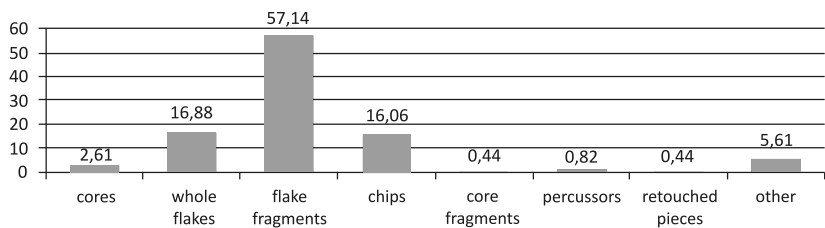


Table 3. Percentage of selected artefact categories from the Lokalalei 2C site (after Semaw 2000, 1202)

Tabela 3. Procentowy udział wybranych kategorii zabytków ze stanowiska Lokalalei 2C (wg S. Semaw 2000, 1202)

Cores are mostly concave-convex shaped. The concave part is mostly used as striking surface due to its relative natural flatness. Knapping causes a radical reduction in the size of the core. This is demonstrated by measuring the length of the solids before production (approx. 11 cm) and abandoned cores (approx. 15 cm) (Delagnes, Roche 2005, 455).

From the outset, the longest edge and the most accessible plane were selected. The reduction was maintained on a single or subsequent preferred plane. A change in core orientation is observable always in the second or final core reduction series. Debitage is therefore assembled either on those planes, from several invasive flake removals or from a regular series of flake detachment. Extending the striking platform around core perimeter depended on the angle between the striking platform and the adjacent side. First, a few initial flakes were removed from different directions in order to level out the prospective striking surface to make it flat. This suggests that the core was subjected to a very simple tool preparation procedure. Flake refittings indicate that a single core could have been used to obtain as many as 50 flakes (Delagnes, Roche 2005, 445) (Fig. 9; Delagnes, Roche 2005, 445).

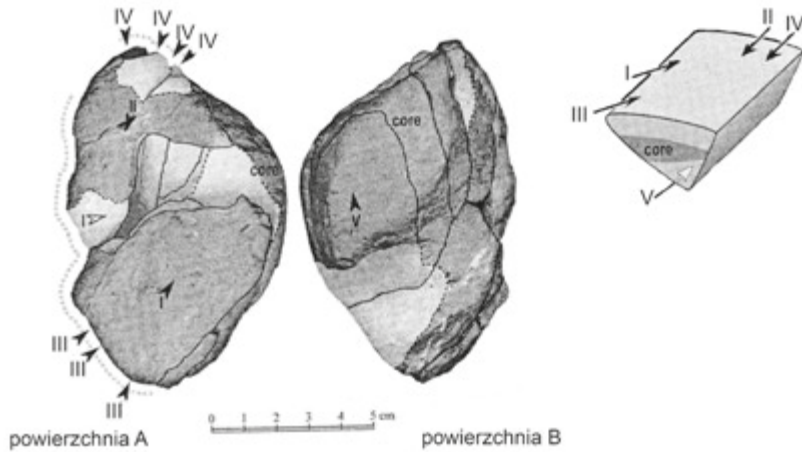


Fig. 9. Reassembly of a core from Lokalalei 2C (after Delagnes, Roche 2005, 445)

Ryc. 9. Składanka rdzenia ze stanowiska Lokalalei 2C (wg Delagnes, Roche 2005, 445)

Cores were abandoned due to damage caused during knapping, e.g. the formation of hinged flake negatives (Fig. 7b). These resulted from low quality of the raw material or excessive reduction of the size of the core (Delagnes, Roche 2005, 462–466). An extensively used undamaged core was also found at the Lokalalei 2C site. It proves that not only items with hinged negatives were abandoned. 2500 artefacts, including retouched fragments, were unearthed at Lokalalei 2C. In the Lokalalei complex (1 & 2C), two types of hominids, *Australopithecus* (*A.*) *boisei* and *H. habilis* were discovered (Roche *et al.* 1999). The issue of a relatively short distance between the two species (about 1 km) is rather problematic. The two species may have functioned on the same area, and a clear-cut allocation of a specific group of artefacts only to one of them is impossible. Nevertheless, the most likely scenario is that *H. habilis* created more advanced cores, and *A.* simpler ones (Semaw 2000, 1208).

Observations of the collection of artefacts from the site Lokalalei 2C revealed a high grip efficiency and dexterity. In addition, the cores do not exhibit traces of damage due to erroneous impact. It is generally assumed that the knapping was basic and stereotypical, mastered by hominids by repetition, albeit with traits of planned actions (Delagnes, Roche 2005, 460–461).

The process applied by hominids from Lokalalei 2C had some limitations: the striking platform was unplanned if its natural shape

did not resemble the desired form; cores were not repaired even when they had undergone major changes. In principle, local toolmakers were from the beginning dependent on the shape of blanks, as they were unable to effectively transform the material according to their own needs (Roche 2005, 35–47).

Likewise, the Koobi Fora site reveals differences and inventory advancement level which could have resulted from the choice of blanks for production. Experimental studies on replicas of Koobi Fora tools proved that the shape of a tool was determined mainly by the shape of the solid and blank quality (Semaw 2000, 1209).

Research at Lokalelei 2C indicates that the hominids had considerable planning skills and the choice of a blank was a conscious decision. They used material gathered in the vicinity of the site. The size of selected solids eliminated the need to pre-treat them before processing. These were both fragments of larger solids and stones of naturally suitable size. Debitage was performed directly in the place where the solid had been found. The solids had been already checked before carrying them to the site by deliberately pounding them in particular spots. This method was used to verify the material, of which only parts were brought to the site (Delagnes, Roche 2005, 455–460). Pounding was applied mainly in the case of larger solids (over 15 cm). Such preliminary checks of solids had two basic implications:

- in technical terms, a sharp-edged, flat-surfaced blank was obtained, which rendered it suitable as a striking surface;
- in economic terms, several knappable fragments of a larger solid were obtained, increasing the number of flakes produced per solid (Delagnes, Roche 2005, 455–460).

Technology known from early Paleolithic period does not constitute an initial stage of toolmaking. Its creators must have already had some technological knowledge. We may thus expect that first attempts at stoneworking appeared before first intentionally built tools, as early as 2.6 million years ago (Delagnes, Roche 2005, 436). This is confirmed by early Paleolithic tool development pattern. Toolmakers from Lokalelei 2C were much more developed than those known from East Africa. It is visible in their planning ability, advanced manual dexterity, technological processes and products (Delagnes, Roche 2005, 436–437). According to H. Roche (2004, 469) the Oldowan period was intensely varied in terms of technological advancement, so the Oldowan culture

should serve only as a name of a chronological period instead of being associated with any specific level of technological advancement. The species that constructed Oldowan tools has not been yet established. Different data may be linked to different species, and we may expect that tools were built by several rather than one species, as it was previously assumed, which may be the cause of striking technological differences. The varied level of advancement may also have been caused by available blanks (Semaw 2000, 1209; Roche 2005, 35–47).

The first toolmaker

One of the first indicators of the genus *Homo* was the ability to make tools. Previously, toolmaking capabilities were ascribed to species with larger brains (Susman 1998, 23–26). However, following the discovery of artefacts at Kada Gona (Semaw *et al.* 1997), this indicator of the genus *Homo* was challenged, since the artefacts date to a period preceding the appearance of first representatives of the genus (Coffing, McHenry 2000, 129). Furthermore, it is hard to single out the species which made first tools. Some researchers claim that tool production could be ascribed as early as *A. afarensis* (Marzke 1997, 105–106). However, the tool behaviour typical of the species is similar to that of chimpanzees, i.e. based mainly on tools made of organic materials. The Hadar site did not contain any artefacts which could be associated with *A. afarensis* or chimpanzee-like tool behaviour (Susman 1998, 38).

According to R. L. Susman (1998, 38), such behaviour cannot be tested on anthropological material: even if the knowledge on tool use by chimpanzees is well-grounded, the fact is not discernible in bone material. Also, the tools were usually made of organic materials, which rendered them too perishable to be apparent in archaeological material (Susman 1998, 38). Studying Oldowan bone tools is beset with difficulties; even if such remains are preserved, detecting traces of hominid activity on such items is difficult. Such task requires very precise traceological analyses which would make it possible to distinguish traces of use from those left by animals or other post-deposition factors (Backwell, d'Errico 2005, 238–242).

Selected hominid species and their toolmaking abilities

When studying manipulative skills of early hominids, one must be aware of the existence of intra-population and intra-species variability. A good example of those variabilities are differences in body mass and stature due to sexual dimorphism (Table 4).

Table 4. A comparison of body mass and stature of selected hominids (after Coffing, McHenry 2000, 127)

Tabela 4. Zestawienie masy ciała i wysokości wybranych homininów (wg Coffing, McHenry 2000, 127)

Taxon	Dating	Weight (kg)		Stature (cm)	
	MA	Male	Female	Male	Female
<i>Pan troglodytes</i>	contemporary	49	41		
<i>A. anamensis</i>	4.2–3.9	51	33		
<i>A. afarensis</i>	3.9–3.0	45	29	151	105
<i>A. africanus</i>	3.0–2.4	41	30	138	115
<i>P. boisei</i>	2.3–1.4	49	34	137	124
<i>P. robustus</i>	1.9–1.4	40	32	132	110
<i>H. habilis</i>	1.9–1.6	37	32	131	100
<i>H. rudolfensis</i>	2.4–1.6	60	51	160	150
<i>H. ergaster</i>	1.9–1.7	66	56	180	160
<i>H. sapiens</i>	contemporary	58	49	175	161

Australopithecinae

Hand bones have been studied in most species of the genus *Australopithecinae*. However, first representatives of the genus exhibit a multitude of primitive traits limiting their ability to make stone tools. Proximal phalanges in *A. anamensis* are strongly curved with well-developed flexor attachments, which indicates their adaptation to climbing. The lateral surface of the head of the second metacarpal is also more ape-like.

Another candidate for the first toolmaker is *A. africanus*. Of particular significance are remains Stw-294 from Sterkfontein (Ricklan 1987, 643–664). In *A. africanus* we can also notice a combination of primitive and advanced traits, e.g. centrally-laterally-oriented surface of the head of the third metacarpal in the CMC joint. Here we find three basic human-like characteristics: a thickening of the distal pha-

lanx, a marked attachment of the flexor pollicis longus muscle, and the crest of the distal phalanx. The latter feature is not fully confirmed, as the phalanx Stw 294 is eroded on the right. Therefore there is no absolute certainty whether the key grip was possible (Susman 1998, 39). It is suspected that *A. africanus* may have used the key grip (Coffing, McHenry 2000, 125–146). Still, there is no evidence that could substantiate the claim that the species was capable of making tools.

Toolmaking abilities of *A. afarensis* received more attention in literature. Owing to lack of tools or incision marks on the bones which would point to the use of tools in the material dating back to 2.6 million years ago, it is held that *A. afarensis* did not use stone tools (Semaw 2000, 1209). Despite the above, well-preserved *A. afarensis* hand bones from Hadar indicate an interesting mosaic of human and chimpanzee traits (Aiello, Dean 1996, 385; Girelli 2001, 48). Bone hands from Hadar are among the most complete fossil collections known for early hominids from the Plio-Pleistocene period. The collection contains: 5 carpals (1 pisiform bone, 1 trapezium bone, 2 hamate bones, 2 capitate bones) 18 unidentified metacarpals, 16 proximal phalanges, 12 intermediate phalanges, 2 distal phalanges (Aiello, Dean 1996, 385–388).

Analysis of Hadar bones did not reveal any characteristics which would indicate knuckle-walking – i.e. there was no transverse thickening on the dorsal base of the articular surface of metacarpal heads. A prominent edge on the articular surface of the radial bone, limiting dorsal flexure in knuckle-walking apes, is also missing (Aiello, Dean 1996, 385–388). By contrast, the fifth metacarpal lacks massiveness or saddle-shaped articular surface, specific to *H. sapiens* (Aiello, Dean 1996, 385; Marzke 2005, 247).

One should expect such traits in the skeleton of *A. afarensis* if the species was subjected to stress related to making stone tools and used power and cradle grips. The shape of the trapezium, similar to that of the chimpanzee, may indicate limited need to use precision grips. *A. afarensis* had a strongly stabilised thumb, but at the same time exhibited limited abilities to oppose the thumb to other fingers, which is necessary when forming cylindrical and cradle grips.

There is also evidence that *A. afarensis* had a dorsal interosseous muscle along the metacarpals, but it was much smaller than in *H. sapiens*. The small size of the muscle suggests that it was involved in the activity of the metacarpophalangeal joint to a lesser extent than for

H. sapiens. The structure of the metacarpal joint of the index finger, metacarpals and proximal phalanges indicates increased force of the 3-jaw chuck and the grip between the thumb and the index finger. The thumb was long enough in relation to other fingers to form a 3-jaw chuck grip. Both grips were important when stabilising the core and holding flakes (Marzke 2005, 243–255).

The construction of stone tools and formation of the phalangeal tuberosity occurred simultaneously in hominid evolution. This would confirm the early toolmaking activities in *A. afarensis* (Ambrose 2001, 1749; Kujawa 1993, 129). *A. afarensis*' manual morphology exhibits two similarities to the hand of *H. sapiens*: potential movements in the joint of the second metacarpal and the proportion of the length of the thumb to other fingers. The ratio was calculated following an analysis of bones of various individuals, since a completely preserved hand of a single individual could not be found. The length of the first finger was 50% of that of the third finger. For *H. sapiens* this ratio is 53%, for chimpanzees 36%. Therefore, such proportions are closer to human characteristics (Aiello, Dean 1996, 385–388).

On the basis of all of the above traits, Stern and Susman (1984, 113–156) concluded that the hand of *A. afarensis* was adapted to brachiation or climbing. According to S. Susman (1998, 37) *A. afarensis* had 3 out of 8 typically human characteristics indicative of tool behaviour. The species was capable of rotating the pad of the thumb to the lateral side of the index finger (key grip) and forming a 3-jaw chuck grip. Notwithstanding the above, the same researcher holds that the hand of *A. afarensis* was more adapted to power than precision grip-ping (Susman 1991, 129–149).

A complete pattern of the hand of *A. afarensis* suggests that the species was capable of manipulating spherical objects. It was likely that the species used percussors to split nuts or as projectiles thrown to scare off or kill small game. However, its manipulative abilities were largely limited.

Summing up the information on species belonging to the genus *Australopithecinae*, one may conclude that the structure of hand tendons in australopiths resembled that of humans. This observation was confirmed on the basis of grooves located near the hook of the hamate bone. In contemporary humans, such grooves connect to tendons (Marzke 2005, 243–255). Similar hamate bones were found at several

African sites: Sterkfontein, Swartkrans, Oldovai. They come from representatives of two, perhaps three australopith species co-existing in Africa. Improved manipulative skills appeared in hominids probably before bipedalism (Marzke 2005, 243–255).

Evidence of considerable manipulation-related thumb stress was found at Swartkrans and Sterkfontein sites. The surface on the first metacarpal, related to the first interosseous dorsal muscle, is also prominent. This muscle plays a significant role in thumb manipulation when making and using tools. The bones are contemporaneous to stone and bone tools (Marzke 2005, 243–255). On the other hand, the very same bones reveal many primitive characteristics (Coffing, McHenry 2000, 125–146). An example would be the absence of the styloid process in the third metacarpal (Aiello, Dean 1996, 386). The mosaic pattern of progressive and primitive characteristics is exemplified by the co-existence of the human index finger and the chimpanzee thumb.

Unfortunately, the data is only partial, as none of the sites yielded a complete upper-limb skeleton. For example, the ulnar bone comes from Sterkfontein, while the radial bone from Swartkrans. The further the studies on morphology and functionality of upper limbs of earliest hominids advance, the more enigmatic they seem (Marzke 2005, 243–255).

Information on australopiths' technology is also scant, so comparative analysis involving comparisons with chimpanzees is used instead. This, up to a point, allows researchers to reconstruct manipulative abilities related to tool behaviour. It may be concluded that the range of precise movements was still largely limited, which rendered entirely coordinated manipulation with small objects or fully intentional transformation of large solids impossible. Presumably, hominids existing between 5 to 2.5 million years ago had manipulative skills comparable to those of today's chimpanzees (Ambrose 2001, 1748–1753).

Paranthropus robustus

More human characteristics than in *A. afarensis* can be noticed in *Paranthropus (P.) robustus* (Susman 1989, 451). Hand bones of *P. robustus* are known from site Member 1, Swartkrans. The hands are more similar to human ones than in the case of *A. afarensis* (Aiello, Dean 1996, 373–394). The distal phalanx of the thumb contains an attachment for the flexor pollicis longus, the muscle responsible for

flexing the distal section of the thumb. The tip of the distal phalanx of the thumb is wider, which suggests the presence of a larger and more sensitive pad. A complete crest of the distal phalanx was found in representatives of *P. robustus*. Such characteristics imply the ability to form specialised precision grips.

In other representatives of *P. robustus* two other traits associated with precision grips were found, namely a reduced curvature of the proximal phalanx and the human-specific shape of the head of the third metacarpal (Susman 1998, 36–40). Proximal phalanges are straighter and shorter, like in humans. The first metacarpal is thicker and stronger, as in apes, which enabled the application of a greater force. Analyses indicate the presence of well-developed opposable thumb muscles, as suggested by marked attachments (Girelli 2001, 49). The upper section of the distal phalanx reveals a well-developed attachment of the flexor pollicis longus. This muscle has an important function when forming the precision key grip (Marzke 1997, 106). The structure of the thumb shows good adaptation to the use of tools (Aiello, Dean 1990, 389).

Moreover, artefacts associated with *P. robustus* include stone items discovered at the Swartkrans site (Brain, Shimpman 1993, 193–215; Clark 1993, 167–194). The tools include cores and flakes alike. It should be noted that the tools unearthed at the Swartkrans site were found in the context of the hominid's bones. All of this suggests that *P. robustus* was the original creator of the Oldowan culture tools. Its degree of specialisation is not entirely known, although it was not too advanced.

Homo (Australopithecus) habilis

H. habilis is one of the species which deserve special interest in the context of the assessment of early hominid's manipulative abilities. Although the species was subsumed under the genus *H.*, the issue is still contentious. Remains of *H. habilis* in the post-cranial structure are more similar to those studied in australopithecus than in *H. ergaster* or *H. rudolfensis*. This fact alone has spawned a debate on including the *H. habilis* in the *A.* genus (Coffing, McHenry 2000, 125).

It is with *H. habilis* that Olduvai and Koobi Fora artefacts are associated (Coffing, McHenry 2000, 125–146). Also, items from Lokalalei 2C were probably manufactured by *H. habilis* (Pelegrin 2005, 23–33). On the basis of the discovery of a molar tooth at the site Lokalalei 1a near Lokalalei 2C, researchers believe that the tools from Lokalalei 2C

were made by the contemporaneous *Homo*. Such claim, however, is disputable, as the West Turkana region is known for remains of massive australopiths dated to the same period (2.5 million years ago) (Delagnes, Roche 2005, 436–437). If *H. habilis* was indeed the toolmaker from Lokalalei 2C, it must have been able to control the shape of solids, as an instance of core repair was reported (Pelegrin 2005, 23–33).

The upper limbs of *H. habilis* are much more human-like than those of *A. afarensis* and *P. robustus* (Girelli 2001). Despite a multitude of primitive traits observed in *H. habilis*, the species has certain key characteristics associated with precision gripping applied when making tools (Coffing, McHenry 2000, 125–146).

Based on the bones preserved at Olduvai Gorge, one may name both advanced and primitive features in the upper limbs of *H. habilis*. Fifteen bone hands were analysed (Napier 1962): 3 carpals (1 trapezium, 1 smaller multangular bone, 1 scaphoid bone), 4 proximal phalanges, 4 intermediate phalanges, 3 distal phalanges, 1 base of the second metacarpal (Aiello, Dean 1996, 373–394).

More primitive characteristics include the structure of the scaphoid bone as well as distal and proximal phalanges. Only the structure of the scaphoid tubercle is considered in the evaluation of the evolution of metacarpals. Unfortunately, in the case of *H. habilis*' scaphoid bone, the extant tubercle is incomplete. Still, Susman and Creel (1979) assume the absence of a developed articular surface connecting the scaphoid bone with the trapezium and the smaller multangular bone. In apes, those surfaces are located on the scaphoid shaft instead of the tubercle. Human scaphoid tubercle is almost of the same size as the shaft of the bone. It is located on the volar side and connects to the trapezium and the smaller multangular bone.

Further ape-like traits include the structure of proximal and intermediate phalanges. They do not demonstrate any human characteristics; rather, they are much like phalanges of contemporary African apes (Aiello, Dean 1996, 373–394; Coffing, McHenry 2000, 125–146). This is best proved by a well-developed attachment of the flexor digitorum superficialis on the middle finger. However, the attachment is positioned more distally than in contemporary apes (Aiello, Dean 1996, 373–394).

The similarities in morphological build of *H. habilis* to *H. sapiens* concern mainly the first CMC joint and distal phalanges. The first

CMC joint extends, as in humans, over both volar-dorsal and medial-lateral surface; its convexity is also reduced. This radically contrasts with a concave-convex and narrow articular surface found in chimpanzees. The articular surface between the trapezium and the scaphoid bone is also extended, as noticeable in humans. Distal phalanges resemble more human than simian phalanges – they are shorter, narrow in the volar-dorsal section, and feature a marked nail tuberosity as the support for the pad.

Another question concerns the thickness of the shafts of fossilised Olduvai bones. One of the phalanges discovered in Olduvai was recognised as the distal phalanx of a thumb. This enabled the calculation of the proportion of the length of distal phalanges of the thumb and the third finger. It transpired that they approximate those found in humans (Aiello, Dean 1996, 373–394). The above analyses indicate that the hand of *H. habilis* was different from the hand of *A. afarensis*, and much more like the hand of *P. robustus* in that it was more adapted to a human-like grip.

The structure of the first CMC joint suggests that *H. habilis*, like *P. robustus*, was able to counteract substantial force generated when cushioning impacts from the percussor. Furthermore, rather massive tips of distal phalanges point to an extended surface of finger phalanges, and consequently to a growth in careful manipulation required in precision gripping (Aiello, Dean 1996, 373–394).

Most researchers hold that *H. habilis* was a relatively specialised toolmaker (Pott 1988; Schick, Toth 1993). Primitive traits such as the prominent attachment of the flexor digitorum superficialis and the curvature of proximal phalanges suggest that the species was still well-adapted to climbing (Susman 1998, 28–46). However, several morphological features which – according to M. Marzke (1997, 107) – could be associated with fully controlled precision gripping are missing. The following features are absent: longitudinal crests in the upper sections of distal phalanges, a radially-oriented head of the third metacarpal, an asymmetry between the second and fifth metacarpal, the orientation of the second CMC joint, a relatively long thumb and proportionally well-developed thumb muscle attachments (Susman 1998, 39–40). Still, according to other indicators, characteristics such as the tuberosity of the distal phalanx and the attachment of the flexor pollicis longus suggest the ability to form precision grips, and therefore to make tools (Napier 1960, 647–657; Susman 1994, 1570–1573).

Homo ergaster

The consequences of an upright posture distinguish australopiths from the early *Homo*. Such differences are particularly noticeable between *A.* and *H. ergaster*. *H. ergaster* exhibits a distinct growth in body mass with relatively short front limbs. Many bone fragments belonging to *H. ergaster* and none which could be positively associated with *H. rudolfensis* were found. Therefore, information regarding *H. rudolfensis* are based on comparative analyses with the upper-limb skeleton studied for *H. ergaster*. For this reason only data concerning *H. ergaster* will be discussed below.

Changes in the proportions of the upper limb reveal evolutionary transformations which occurred between the australopithecus, *H. habilis*, and *H. ergaster*. Earlier species (*A.* and *H. habilis*) have more massive bones than later representatives of the *Homo* genus (Witbe 1994, 194). According to Kimbel *et al.* (1994) the ratio of the length of the ulnar to the length of the femur in *A. afarensis* is 91%, which is closer to simian (95% for the chimpanzee) than human (80% for *H. sapiens*) proportions. *H. ergaster*, with the ratio of 85%, is much closer to human proportions (Ruff, Walker 1993).

The calculated ratio of the length of the radial bone to the length of the humerus ranges 87–100% for chimpanzees, and 76–79% for humans. For *H. ergaster* the ratio was 80%, so the species represents characteristics approximating those of humans rather than apes (Ruff, Walker 1993). Similarly, the proportion of the length of the arm to the forearm are more human-like (Ruff, Walker 1993). Compared to the general built of *H. habilis*, *H. ergaster* exhibits a reduction in the size of upper limbs. This is exemplified by a comparison of clavicles; in *H. habilis* and *H. ergaster* clavicles are similarly sized, and the humerus is larger in proportion to the clavicle in *H. habilis* (Coffing, McHenry 2000, 125–146).

H. ergaster's hand bones are also characterised by the presence of more advanced than primitive traits. The phalanges are elongated and straight, as in *H. sapiens*, instead of being curved like in earlier species (*A.* and *H. habilis*) (Coffing, McHenry 2000, 125–146). *H. ergaster* has also characteristics unique to its species. They include a specific hook-like curvature of the first metacarpal (Aiello, Dean 1996, 382).

A basic problem in the analysis of dexterity of early *Homo* species is the lack of sufficient amount of data. A large gap exists between rather

primitive remains of *H. habilis* and subsequent species. More data is available for *H. ergaster*; intermediate forms such as *H. rudolfensis* lack sufficient information (Coffing, McHenry 2000, 125–146).

Table 5. A comparison of the presence of morphological characteristics in primates. Key: ? – no discovery exhibiting the presence of the characteristic; yes – characteristic present; no – characteristic absent (after Susman 1998, 43)

Tabela 5. Zestawienie występowania cech morfologicznych u naczelnych. Legenda: ? – brak znaleziska świadczącego o występowaniu danej cechy; tak – występowanie danej cechy; nie – brak danej cechy (wg Susman 1998, 43)

Characteristics proposed by M. Marzke (1999)	<i>H. sapiens</i>	<i>Chimpanzees</i>	<i>A. afarensis</i>	<i>A. africanus</i>	<i>P. robustus</i>	<i>H. habilis</i>
asymmetry of the heads of second and fifth metacarpal	yes	no	no	yes	yes	?
radial orientation of the head of the third metacarpal	yes	no	yes	?	?	?
attachment of the flexor pollicis longus	yes	no	?	?	yes	yes
well-developed thumb muscles	yes	no	?	?	yes	?
relatively long thumb	yes	no	?	?	?	?
distal phalanx tuberosity	yes	no	no	?	yes	yes

On the basis of morphological traits, technological analysis of stone artefacts and the shared context of the two categories of discoveries, it may be assumed that the first Oldowan toolmaker was probably *P. robustus*. Earlier species may have had characteristics indicating their ability to form certain precision grips, but it is difficult to conclude whether such isolated traces of adaptation were sufficient to manufacture stone tools. It is possible that australopiths used certain precision grips to process organic materials, but it is not confirmed in early Oldowan archaeological discoveries.

Subsequent species were increasingly better adapted to make Oldowan tools. What is yet unknown is the extent to which the grips used by them were controlled. *H. ergaster* was presumably the first species to make full use of its manipulative adaptations. It was as late as *H. ergaster* that the appropriate morphological traits appeared in conjunction. This allowed the species to make appropriate use of the entire biomechanical system to manufacture tools.

Conclusions

Tools, hand-made ‘instruments’ and toolmaking aids had a major impact on the development of hominids. For this reason they may be treated as one of integral evolutionary factors. Initially, all actions were performed by means of hands, as in the case of pondigae. This stage of evolution saw the use of hands as tools. As the development progressed, individual parts of the hand were transformed. The alterations were brought about by various factors, e.g. changes in locomotion, upright posture, increased need for precision gripping or gradual enlargement of the brain. The better the manipulative abilities, the more often the activities were performed by means of external items, i.e. tools. At the beginning, this involved basic activities such as grasping, scratching or touching. In time, specialisation occurred and an increasingly broad range of tools was made. Specialisation was the consequence of a greater involvement on part of early craftsmen. Enhancement of manipulative abilities affects tool-making and tool use abilities alike. Functional specialisation of the hand occurs not only as a result of anatomical changes, but mostly in its ability to use increasingly specialised tools. In the course of evolution, the hand ceased to be a tool in itself. In light of the above, studying manipulative abilities involves simultaneous consideration of the relations between the hand, the material and the tool.

The production of flake tools required the possibility of forming a key grip, a 3-jaw chuck and a cradle grip. The grips were used in consecutive production phases and, finally, during tool application. The key grip was necessary to hold a flake and use it for leatherworking or cutting meat. The flake could have also been used to stabilize the core in the final phases of production, when the core was largely worn out. The 2-jaw chuck, also referred to as the pad grip, being one of the most precise grips, could have been used to hold small tools. Like the key grip, it was used to stabilize the core in the final stages of production. Another likely application of the grip was making or drilling holes. The 3-jaw chuck is used by contemporary apes to hold food. Being one of the most primitive precision grips, it is rather commonly used. It may be used to hold a reduced lithic core, a small percussor or manipulate a flake tool. Depending on the shape of the flake, the grip may be used to scratch, drill or prick holes. Last but not least, the

cradle grip is a power grip used in the flake removal technique. It is a basic grip formed when manipulating large objects, both cores and percussors. As a power grip, it is far less precise than the three previously mentioned.

Early hominids' ability to use the four grips could imply the possibility of the application of the flaking technique. However, one must be aware that most experimental studies are based on biomechanics known for *H. sapiens*. Early hominids could have performed individual movements differently. Consequently, the absence of morphological traits indicating the ability to form a specific grip does not necessarily disqualify the species from using the flake removal method.

Studies on the structure of the upper limbs of *A. afarensis* reveal that the species was able to form 2 – and 3-jaw chuck grips. The thumb was long enough in relation to other fingers to form a 3-jaw chuck grip. Nevertheless, we may notice certain limitations which compromise the species' ability to form two remaining grips. *A. afarensis* did not have developed muscles reinforcing the key grip. Owing to limited thumb opposing capabilities, the species was also unable to form the cradle grip. The skill was necessary when manipulating large objects. *A. afarensis* had 3 out of 8 typically human characteristics indicative of tool behaviour. The upper limbs of *A. afarensis* were more adapted to power rather than precision grips (Susman 1991, 129–149).

P. robustus had considerably enhanced manipulative abilities. The species was capable of forming all four grips. An analysis of the upper limb's anatomical structures may reveal the extent to which the species was able to control tool handling. The tip of the distal phalanx of the thumb is wider, which suggests the presence of a larger and more sensitive pad. This suggests that *P. robustus* was able to form specialised precision grips. Besides, proximal phalanges are straighter and shorter, like in humans, which limits *P. robustus*' adaptation to climbing and brachiation. All of such characteristics demonstrate that *P. robustus* was able to make simple flake tools.

Primitive traits and adaptations to precision gripping required in toolmaking are both present in *H. habilis*. Like *P. robustus*, *H. habilis* was able to withstand the force generated in the formation of a power grip. This was essential to cushion the impact by the percussor. Also, relatively massive tips of distal phalanges point to an extended surface of finger phalanges, and consequently to an increase in careful

manipulation abilities required in precision gripping (Aiello, Dean 1996, 373–394). The upper limbs of *H. habilis* had already been anatomically adjusted to make basic Oldowan tools. However, it was not until *H. ergaster* that there appeared the complete set of characteristics enabling the formation of all of the above grips. The observable coexistence of many advanced traits leaves no doubt that *H. ergaster* used fully controlled precision grips.

Manipulative skills of consecutive hominids are rarely referred to specific stoneworking techniques. Grips are frequently described, and the description is followed by a conclusion that they were formed to hold large or small objects. Analyses involve discerning advanced (human) and primitive (simian) characteristics. The presence of specific anatomical structures indicates the potential for the use of a certain type of grip. Note, however, that making tools required a combination of several factors. In addition to advanced anatomical structure of the upper limbs, and thus manipulative potential, equally important was a sufficiently sized brain, which would enable the use of motor skills.

It must be stressed that the type of grip was determined by the function of the object. The very function of the tool imposes a specific kind of manipulation. If a given species was capable of holding a flake in a 3-jaw chuck, it does not follow that it was able to use it to drill holes or scratch other objects.

Regrettably, such issues are not discussed by archaeologists together with anthropologists. This leads to many misinterpretations. For example, some anthropologists consider the biomechanics of early hominids taking into account only large tools such as percussors. In fact, specific hominids could not have been adapted to handling large tools, but instead they were adept at manipulating flakes.

Further issues arise from the fact that technological analyses were not performed with equal precision for all artefact or stoneworking technique categories. An example of this could be better studied flake removal techniques, since they are more advanced and receive more attention in literature. Therefore, for this technique, a set of necessary movements to be performed by a given hominid to make a tool may be established. But the creators of cobblestone industries also made other types of tools. A large portion of discoveries are spheroids, the function of which is not fully ascertained. This generates problems with analysis of these items in the context of manipulative skills of early hominids.

Another question is the biological variety of the Oldowan culture period. In principle, since the appearance of *H. ergaster* several species could have acted as toolmakers simultaneously. Some of them coexisted in a relatively small area. If we assume that several species made tools at the same time, we must also allow for the possibility for multiple biological and technological development systems to coexist in parallel. The evolution of individual body parts and techniques could also have occurred according to the principle of convergence (Lancaster 1968, 62). Each of the systems could have been characterised by different range of motion requirements.

As of today, the state-of-the-art in the studies of the effect of biomechanics of early hominids' upper limbs on the Oldowan culture technology is inadequate. Representatives of various fields of science provide answers to different questions and solve different problems. All of this makes it difficult for researchers to arrive at a single coherent picture of early hominids' abilities. Only in-depth interdisciplinary studies may shed light on the above-mentioned doubts.

References

- Aiello L. and Dean C. 1996. *An Introduction to Human Evolutionary Anatomy*. London: Academic Press.
- Aiello L. and Dean C. 1990. *Human Evolutionary Anatomy*. London: Academic Press.
- Ambrose S. 2001. Paleolithic Technology and Human Evolution. *Science* 291, 1748–1753.
- Andrefsky W. 1998. *Lithics Macroscopic Approaches to Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Backwell L. and d'Errico F. 2005. The origin of bone tool technology the identification of early hominid cultural traditions. In L. Backwell and F. d'Errico (eds.), *From Tools to Symbols, From Early hominids to Modern Humans*. Johannesburg: Witwatersrand University Press, 238–275.
- Biryukova E., Bril B., Dietrich G., Roby-Brami A., Kulikov M. A. and Molchanov P. E. 2005. The Organization of Arm Kinematic Synergies: the Case of Stone-bead Knapping in Khambhat. In V. Roux and B. Bril (eds.), *Stone Knapping: The Necessary Preconditions for a Uniquely Hominin Behaviour*. Cambridge: McDonald Institute for Archaeological Research, University of Cambridge, 73–89.
- Brain C. K. and Shipman P. 1993. The Swartkrans bone tools. In C. K. Brain (ed.), *Swartkrans A Cave's Chronicle of Early Man*. Pretoria: Transvaal Museum, 193–215.
- Clark J. D. 1993. Stone artifact assemblages from Members 1–3 Swartkrans Cave. In C. K. Brain (ed.), *Swartkrans A Cave's Chronicle of Early Man*. Pretoria: Transvaal Museum, 167–194.

- Coffing K. and McHenry H. M. 2000. Australopithecus to Homo: Transformation in body and mind. *Annual Review of Anthropology* 29 (1), 125–146.
- Delagnes A. and Roche H. 2005. Late Pliocene hominid knapping skills: The case of Lokalalei 2C, West Turkana, Kenya. *Journal of Human Evolution* 48 (5), 435–437.
- Feustel R. 1973. *Techik der Steinzeit: Archäolithikum-Mesolithikum.* (= Veröffentlichungen des Museums für Ur- und Frühgeschichte Thüringens 4), Weimar: Böhlau.
- Gielecki J. S., Żurada A., Gajda G., Gasiński M. and Ruszowski W. 2007. *Multimedialny Atlas Anatomii cz. 1 – kości, stawy i więzadła.* Wrocław: Wydawnictwo Medyczne.
- Girelli F. 2001. *Tools in the Paleolithic Age: Findings and Patterns Analysis.* Hamburg.
- Gowlett J. A. J. 1984. Mental abilities of early man: a look at some hard evidence. In R. A. Foley (ed.), *Hominid Evolution and Community Ecology.* New York: Academic Press, 167–192.
- Ivanova G. P. 2005. The Biomechanics of the Complex Coordinated Stroke. In V. Roux and B. Bril (eds.), *Stone Knapping: The Necessary Preconditions for a Uniquely Hominin Behaviour.* Cambridge: McDonald Institute for Archaeological Research, University of Cambridge, 119–128.
- Kimbel W. H., Johanson D. C. and Rak Y. 1994. The first skull and other new discoveries of Australopithecus afarensis at Hadar, Ethiopia. *Nature* 368 (6470), 449–451.
- Kujawa B. 1993. Adaptacyjne aspekty hominizacji. Część I. Przystosowanie morfologiczne i fizjologiczne. *Przegląd Antropologiczny* 56 (1–2), 115–137.
- Lancaster J. B. 1968. On the Evolution of Tool-Using Behaviour. *American Anthropologist* 70 (5666), 22–62.
- Lewin R. 2002. *Wprowadzenie do ewolucji człowieka.* Warszawa: Prószyński i S-ka S.A.
- Lewis O. J. 1977. Joint remodeling and the evolution of the human hand. *Journal Anatomy* 123 (1), 157–201.
- Manikowski W. 2003. Urazowe uszkodzenia ręki. In W. Manikowski and H. Strzyżewski (eds.), *Wiktora Degi ortopedia i rehabilitacja.* Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 318.
- Manikowski W. and Strzyżewski H. 2003. Anatomia i ocena czynności ręki. In W. Manikowski and H. Strzyżewski (eds.), *Wiktora Degi ortopedia i rehabilitacja.* Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL, s. 311–320.
- Marzke M. W. 1997. Precision grips, hand morphology, and tools. *American Journal Physical Anthropology* 102, 99–101.
- Marzke W. M. 2005. Who made Stone Tools?. In V. Roux and B. Bril (eds.), *Stone Knapping: The Necessary Preconditions for a Uniquely Hominin Behaviour.* Cambridge: McDonald Institute for Archaeological Research, University of Cambridge, 243–255.
- Milanowska K. 1999. *Kinezyterapia.* Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
- Napier J. R. 1960. Studies of the hands of living primates. *Zoological Society London* 134, 647–657.
- Napier J. R. 1962. The evolution of the hand. *Scientific American* 207 (6), 56–62.
- Nawotny J. 2004. *Podstawy fizjoterapii część 1–podstawy teoretyczne i wybrane aspekty praktyczne.* Kraków: Wydawnictwo Kasper.

- Pelegrin J. 2005. Remarks about Archaeological Techniques and Methods of Knapping: Elements of Cognitive Approach to Stone Knapping. In V. Roux and B. Bril (eds.), *Stone Knapping: The Necessary Preconditions for a Uniquely Hominin Behaviour*. Cambridge: McDonald Institute for Archaeological Research, University of Cambridge, 23–33.
- Reicher M. 1999. *Anatomia człowieka. Tom 1 Anatomia ogólna, kości, stawy, więzadła, mięśnie*. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
- Ricklan D. E. 1987. Functional anatomy of hand of *Australopithecus africanus*. *Journal of Human Evolution* 16 (7–8), 643–664.
- Roche H. 2005. From Simple Flaking to Shaping: Stone-knapping Evolution among Early Hominins. In V. Roux and B. Bril (eds.), *Stone Knapping: The Necessary Preconditions for a Uniquely Hominine Behaviour*. Cambridge: McDonald Institute for Archaeological Research, University of Cambridge, 35–48.
- Roche H., Delagnes A., Brugal J.-P., Feibel C., Kibunjia M., Mourre V. and Texier P.-J. 1999. Early hominid and technical skill 2.34 Myr ago in West Turkana, Kenya. *Nature* 399 (6731), 57–60.
- Ruff C. B. and Walker A. 1993. *Body size and body shape*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 234–265.
- Semaw S. 2000. The World's Oldest Stone Artifacts from Gona, Ethiopia: Their implication for Understanding Stone Technology and Patterns of Human Evolution Between 2,6–1,5 Million Years Ago. *Journal of Archaeological Science* 27, 1197–1214.
- Sokołowska-Pituchowa J. (ed.). 2002. *Anatomia człowieka*. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
- Stern J. T. and Susman R. L. 1991. Total morphological pattern versus the “magic trait”: conflicting approaches to the study of early hominid bipedalism. In B. Senut and Y. Coppens (eds.), *Origine(s) de la bipédie chez les Hominidés*. Paris: CNRS, 99–111.
- Susman R. L. 1989. New hominids fossils from Swartkrans formation (1979–1986 excavations): postcranial specimens. *American Journal of Physical Anthropology* 79 (4), 451–474.
- Susman R. L. 1994. Fossil evidence for early hominid tool use. *Science* 265, 1570–1573.
- Susman R. L., Stern J. T. and Jungers W. L. 1984. Arboreality and bipedality in the Hadar hominids. *Folia Primatologica* 43 (2–3), 113–156.
- Susman R. L. 1998. Hand function and tool behavior in early hominids. *Journal of Human Evolution* 35 (1), 23–46.
- Toth N. 1985. The Oldovan Reassessed: a close look at early stone artifacts. *Journal of Archeology Scientific* 12 (2), 101–120.
- Toth N. and Schick K. D. 1993. Pan the tool-maker: investigation into the stone tool-making and tool-using capabilities of a Bonobo (*Pan paniscus*). *Journal of Archaeological Science* 20 (1), 81–91.

Katarzyna Piątkowska

Koewolucja kończyn górnych wczesnych hominidów i początków obróbki kamienia

Ewolucja hominidów wiązana jest nie tylko ze zmianami anatomicznymi ale również z rozwojem narzędzi. Od momentu pojawienia się narzędzi stały się one jednym z integralnych czynników ewolucyjnych. Możliwość ich wytwarzania i wykorzystywania zwiększała się wraz ze specjalizacją możliwości manipulacyjnych wczesnych hominidów. Łupanie kamienia wiąże się z całym kompleksem biomechanicznym dotyczącym nie tylko kończyn górnych, ale również z zaangażowaniem całego ciała. Niemniej jednak rozważona tu zostanie jedynie biomechanika kończyn górnych.

Analizy kończyn górnych hominidów oparte są na porównaniu z dobrze poznanymi zasadami funkcjonowania kończyny górnej *Homo sapiens*. Staną się one z kolei punktem odniesienia dla dalszych analiz. Szczegóły anatomiczne, którym poświęcono więcej uwagi, są związane z kryteriami oceny zdolności manipulacyjnych.

Zestawienie cech morfologicznych sfosylizowanych kości z dokładnymi analizami technologicznymi, a zwłaszcza badaniami łańcuchów operacyjnych i składanek, pozwala określić jakie sekwencje ruchów były niezbędne aby wytwarzać narzędzia.

Anatomia kończyn górnych *Homo* na przykładzie *Homo sapiens*

Kończyny górne, w wyniku przyjęcia przez wczesnych przedstawicieli rodzaju *Homo* (dalej *H.*) postawy wyprostowanej, utraciły funkcję podporową, a w trakcie ewolucji dostosowały się do funkcji chwytно-manipulacyjnych. Pociągnęło to za sobą szereg zmian anatomicznych (Coffing, McHenry 2000, 126). Pierwszą z nich jest skrócenie kończyn górnych w stosunku do dolnych (Lewin 2002, 147).

Długość kończyn górnych *H. sapiens* wynosi przeciętnie 70% długości kończyny dolnej (Kujawa 1993, 120). Pozwala to na koordynowanie ruchów przez narząd wzroku, to znaczy ustalenie odległości między okiem, a ręką. Zbyt długie kończyny górne utrudniałyby wiele czynności. Ponadto uwolnienie kończyn górnych od funkcji podporowych zmniejszyło obciążenia i stały się one, w porównaniu do kończyn dolnych, mniejsze i delikatniejsze.

Masa kończyn górnych w stosunku do masy całego ciała wynosi 14%, podczas gdy masę kończyn dolnych szacuje się na 37% (Sokołowska-Pituchowa 2000, 554). Mimo tych dysproporcji wagowych, na kończyny górne składa się znacznie więcej mięśni, niż na kończyny dolne. Powoduje

to, iż są one bardziej wyspecjalizowane i mają bardzo duży zakres ruchów. Ponadto, przeciwstawne ułożenie kciuka oraz dobrze rozbudowane mięśnie kłębku i kłębika, pozwalają na bardzo precyzyjne ruchy ręki (Sokołowska-Pituchowa 2000, 612).

Kończyny górne można porównać do „wysięgnika, działającego jak ramię dźwigni pozwalającego na odpowiednie usytuowanie ręki w przestrzeni”. (Nawotny 2004, 133) Ostatnia, dystalna część kończyny górnej jest już właściwym organem chwytym, przystosowanym do ruchów precyzyjnych (Manikowski, Strzyżewski 2003, 312). Na kończynę górną składają się jej obręcz i część wolna. Ta druga dzielona jest na ramię, przedramię i rękę (Sokołowska-Pituchowa 2000, 556) (Ryc.1).

Obręcz kończyn górnych

Obręcz kończyn górnych zbudowana jest z dwóch łopatek i dwóch obojczyków połączonych od przodu stabilną częścią tułowia – rękoleścią mostka (Milanowska 2001, 208). W związku z przyjęciem przez przedstawicieli rodzaju *Homo* wyprostowanej postawy ciała, nastąpiło grzbieto-brzusze spłaszczenie klatki piersiowej, a co za tym idzie, przemieszczenie łopatek na jej tylną ścianę (Reicher 1999; Coffing, McHenry 2000, 128).

Dzięki rozbudowanemu systemowi mięśniowemu, łopatka porusza się po łuku na tylnej ścianie klatki piersiowej. Powoduje to znaczne zwiększenie swobody ruchu kończyny górnej np. umożliwia unoszenie części wolnej kończyny ponad płaszczyznę stawu ramiennego. Mięśnie odpowiadające za ruchy łopatki są przymocowane do niej z różnych stron, przez co jest ona najbardziej ruchomą częścią obręczy barkowej, a każde jej poruszenie pociąga za sobą ruch całej kończyny (Milanowska 2001, 208).

Według ujęcia anatomii czynnościowej, do obręczy kończyny górnej należy włączyć staw ramienny, gdyż wiele spośród mięśni łopatki przyczepionych jest również do kości ramiennej i tworzą one funkcjonalną całość (Milanowska 2001, 209). Mechanikę tych stawów można określić jako wielokierunkową i wieloosiową, choć podstawowe ruchy ograniczają się do trzech płaszczyzn, a wszystkie pozostałe są jedynie ich kombinacją. Wyróżnia się: ruch zgięcia i prostowania w płaszczyźnie strzałkowej, a więc prostopadle do osi poprzecznej stawu ramiennego; ruch odwodzenia i przywodzenia w płaszczyźnie czołowej dookoła osi strzałkowej; ruchy obrotowe na zewnątrz i do wewnątrz w płaszczyźnie poziomej dookoła osi pionowej (Sokołowska-Pituchowa 2000, 575) (Ryc. 2).

Część wolna kończyny górnej

Do części wolnej kończyny górnej zaliczamy struktury poniżej stawu ramiennego (Ryc. 1). W jej skład wchodzi ramię, przedramię i ręka (Sokołowska-Pituchowa 2000, 579). Ustawienie łopatki w płaszczyźnie czołowej, powoduje, że panewka stawu ramiennego jest położona niemalże bocznie. Takie usytuowanie panewki zwiększa znacznie możliwość wykonywania ru-

chów poza płaszczyznę czołową ciała, co jest zdolnością charakterystyczną dla *H. sapiens*. Ponadto płytki staw ramienny jak i luźna torebka stawowa pozwalają na znacznie większy zakres ruchów, niż w analogicznym stawie biodrowym.

W dolnej części panewki występuje wyniosłość kostna, która jest pozostałością po dawniej pełnionej przez kończynę górną funkcji podporowej. U czworonogów panewka stawu ramiennego jest znacznie mniejsza i dlatego mają one mniejszy zakres ruchów. W trakcie zmian ewolucyjnych panewka hominidów zwiększyła się, gdy kończyna górna przejmowała funkcje chwyt-no-manipulacyjne, mimo to pozostały ślady po dawnym zastosowaniu podporowym (Milanowska 2000, 229).

Kość ramieniowa i kości przedramienia tworzą razem jeden układ czynnościowy, połączony stawem łokciowym. Zakres ruchu tego stawu jest znacznie większy niż analogicznego stawu kolanowego. Przy ruchu nawracania i odwracania wynosi on 170° względem osi długiej kończyny wolnej (Milanowska 2001, 230). Najbardziej złożone jest połączenie kości przedramienia z pierwszym rzędem kości nadgarstka oraz drugiego rzędu kości nadgarstka z kością śródręcza. Te połączenia stabilizowane są zespołem 24 mięśni i 14 więzadeł (Milanowska 2001, 230).

Proste ruchy ręki wymagają na ogół pracy wielu mięśni naraz. Na przykład w trakcie zgięcia nadgarstka działają następujące mięśnie: dłoniowy długi, zginacz promieniowy nadgarstka, zginacz łokciowy nadgarstka, zginacz głęboki palców, zginacz długi kciuka. Wszystkie te mięśnie zginają również staw łokciowy, więc kiedy zginany jest tylko nadgarstek, to pracuje również mięsień trójgłowy, który prostuje staw łokciowy i tak samo przeciwdziałają prostowniki palców. Dlatego niezwykle istotne jest branie pod uwagę całościowej mechaniki kończyny górnej przy badaniach nad zdolnościami manipulacyjnymi pierwszych hominidów.

Podobnie ruchy palców są zawsze sprzężone i zachodzą w wielu stawach równocześnie. Szczególnie istotna jest budowa stawów nadgarstkowo-śródręcznych. Dzięki ułożeniu I kości śródręcza i kości czworobocznej większej kciuk może być przeciwstawny innym palcom, przy czym zachowana jest bardzo duża ruchomość tego stawu w porównaniu do innych palców. Również dużą ruchliwość w stawie nadgarstkowo-śródręcznym ma V palec, czego efektem jest możliwość przeciwstawienia małego palca do kciuka (Sokołowska-Pituchowa 2000, 621–625).

O poprawnym funkcjonowaniu ręki decydują trzy elementy: jakość chwytu, wartość chwytu i zdolność manipulacyjna. Przez jakość chwytu rozumie się zdolność przystosowywania się ręki do kształtu trzymanego przedmiotu. Budowa ręki z licznymi połączeniami stawowymi, zapewnia znaczne możliwości jej ukształtowania, czyli w efekcie różnokształtne chwyty. Wyróżnia się aż 18 typów chwytów i trzymania (wg Schlesingera). W praktyce powyższe typy można sprowadzić do kilku podstawowych rodzajów. Porównuje się je do czynności wykonywanych za pomocą: haka, kleszczy, szczypiec (Nawotny 2004, 134).

Według Manikowskiego (2003, 318) rodzaje chwytów dzielą się na:

- precyzyjne: szczypczykowy, dwupunktowy;
- siłowe: młotkowy i hakowy;
- funkcjonalne: koncentryczny i cylindryczny

Wartość chwytu to dostosowanie ręki do przenoszenia obciążeń wewnętrznych. Decydują o niej: siła mięśni, sprawność układu więzadłowego, a nawet tarcie między ręką, a trzymanym przedmiotem (Nawotny 2004, 135).

Chwytność uzależniona jest od czynników dynamicznych, jak stan mięśni, ścięgien, zakres ruchów w stawach, oraz statycznych, jak prawidłowe osie kości czy prawidłowe utrzymanie łuku podłużnego i poprzecznego ręki, które są niezbędne do prawidłowego chwytu (Manikowski 2003, 1). Zdolność manipulacyjna ręki uwarunkowana jest wartością i jakością chwytu, ale przede wszystkim zależy od jakości funkcjonowania układu nerwowego.

W wielu przypadkach wymagana jest praca obu rąk. Najczęściej jedna z nich (wiodąca), wykonuje zasadnicze czynności, druga natomiast, służy jedynie do pomocy, polegającej na stabilizowaniu przedmiotu. Czasami rola obu rąk jest identyczna np. przy oburęcznym manipulowaniu dużymi przedmiotami (Nawotny 2004, 135).

Manipulacja kończyną górną podczas łupania kamienia

Kończyna górna podczas łupania kamienia wykonuje dwie funkcje: uderzającą i stabilizującą obrabiany przedmiot. Przyspieszenie uderzenia tłukiem jest szybsze i płynniejsze u wprawnych specjalistów. Aby określić, jaki był poziom umiejętności danego człowieka, trzeba ustalić jak wyglądały jego predyspozycje fizyczne.

Zwykle wyodrębnia się następujące cechy uderzenia: orientacja rdzenia; trajektorie uderzenia (dokładny kąt i punkt uderzenia), prędkość oraz sposób trzymania tłuczka. Według badań biomechanicznych (Biryukova *et al.* 2005, 74) podczas łupania działa 7 niezależnych rotacji w 3 częściach kończyny górnej:

1. w nadgarstku: odwodzenie, przywodzenie;
2. w łokciu: pronacja, supinacja, zgięcie, prostowanie;
3. w ramieniu: odwodzenie, przywodzenie, zgięcie, prostowanie i rotacja ramienia w stosunku do reszty ciała (Biryukova *et al.* 2005, 74).

Każdy ruch kończyn górnych jest kombinacją tych 7 rotacji. Zmniejszenie różnorodności ruchu jest wyznacznikiem wyższego stopnia zaawansowania umiejętności. Bardziej wyrobiony ruch ręki powoduje mniejsze zmiany w trajektorii ruchu, stąd zmniejszenie różnorodności. Większa amplituda ruchu to większa potencjalna energia. Ta energia jest przetwarzana w siłę kinetyczną oddziaływującą z tłuczka na kamień w momencie uderzenia (Biryukova *et al.* 2005, 79). Połączenie wielu segmentów ciała powoduje większą siłę i prędkość, wykorzystywaną podczas uderzenia. Ta transmisja impulsów jest optymalna, jeśli występuje dynamiczna równowaga między

połączonymi częściami. Przykładem może być zeszytnienie stawów prowadzące do skutecznego przeniesienia energii z ręki na raketę podczas gry w tenisa (Ivanova 2005, 120).

Podczas uderzenia ciało ludzkie może być rozpatrywane jako otwarty łańcuch kinetyczny. Całe ciało tworzy spójny system, w którym kończyny górne i tułów są częścią integralną podczas ruchu. To przeniesienie siły i prędkości uzyskane jest przez koordynację poszczególnych segmentów ciała: usztywniania w stawach i wydłużanie poszczególnych części, poprzez to właśnie usztywnienie (Ivanova 2005, 122). Z części proksymalnych, masywniejszych transportuje się energię i impulsy do bardziej delikatnych segmentów dystalnych. W ten sposób następuje przyrost energii.

Kiedy część proksymalna zwalnia, to przyrost energii jest przenoszony do kolejnego odcinka dystalnego, a zmniejszanie się masy tych segmentów skraca również fazę zwalniania, a więc powiększa generalnie prędkość odcinków najbardziej dystalnych. Tak też przenoszone są pomyłki w ruchach: potknięcie w początkowej fazie rzutuje na kolejne błędy i tak powstaje niepoprawny efekt tego ruchu. Im dokładniej wyuczone są ruchy, tym lepsze jest reagowanie na zakłócenia, a w efekcie wciąż uzyskiwanie pożądanej prędkości przy uderzeniu.

Po wygenerowaniu dużej energii podczas uderzenia, następnie ta energia wraca i jest wtedy odbierana przez części dystalne i kierowana do części proksymalnych, również przez usztywnienie stawów (Ivanova 2005, 124). Jeśli w ten sposób analizujemy ruch, to można przyjąć, że zarówno tenisista trenujący serwis, specjalista łupiący kamień, czy nawet szympanś rozłupujący orzech, mają takie same problemy biomechaniczne do rozwiązania (Ivanova 2005, 120).

Maksymalna liczba kierunków uderzeń na rdzeniu jest charakterystyczna zatem dla osób słabo zaawansowanych. Ludzie bardziej zaawansowani w obróbce kamienia stosują dużo mniejszą różnorodność kierunków uderzenia. Niedoświadczona osoba nawet przy przyłożeniu 2 razy większej siły może mieć gorsze efekty niż doświadczona, gdyż jej ruch jest niestabilny, a co za tym idzie, powstaje niestabilny kierunek uderzenia.

Dlatego też doświadczonego specjalistę charakteryzuje: duża amplituda trajektorii tłuka; standaryzowany kierunek uderzenia, stereotypowe trajektorie stawów, duży stopień swobody podczas ruchu; używanie w wielu przypadkach m. ramienia, nie nadgarstka do przyłożenia siły na tłuk (Biryukova *et al.* 2005, 79–81). Uderzenie powinno być energicznym działaniem, utrzymującym kontrolę obiektu. Obie ręce muszą zapewnić ten sam typ chwytu. W dodatku chwyt pozostawia krawędź pracującą mocno eksponowaną aby uniknąć uszkodzeń w ręce (Marzke 2005, 245). Takie same zmiany obserwuje się w trakcie ruchu uderzania młotkiem (Bernstein 1926; Ivanova 2005, 122).

Dzięki porównaniu budowy kończyn górnych ludzi i małp można również wyznaczyć zespół cech charakterystycznych tylko dla *H. sapiens*. Ludzie mają charakterystyczny wzór morfologii stawów, wynikający z budowy kości II–V śródręcza i kości nadgarstka. Ten wzór ułatwia wykonanie pewnych

chwytów tłuczka, rdzenia, cylindrycznych kości, drewna i innych narzędzi (Marzke 2005, 243–255).

Przy podstawie i części dystalnej kości śródręcza palca wskazującego występuje zespół cech, które umożliwiają obracanie opuszka palca wskazującego w kierunku opuszka V palca, jak również zginanie i odwodzenie w kierunku kciuka. Są to cechy niezwykle istotne przy silnym chwycie precyzyjnym. U ludzi charakterystyczne jest również ukształtowanie stawów między II kością śródręcza, a proksymalnym paliczkiem palca wskazującego. Te stawy, jak te u podstawy kości śródręcza pozwalają na pronację palca, gdy jest on zgięty i odwiedziony. Uzupełniający zespół morfologiczny znajduje się u podstawy i w dystalnym końcu V kości śródręcza (Marzke 2005, 243–255).

Proporcjonalnie duży staw u podstawy kości śródręcza, razem ze środkową fazowaną częścią głowy kości śródręcza, ułatwiają rotację V palca wokół opuszka kciuka i palca wskazującego. Ten ruch (supinacja) zwiększa przystosowanie opuszka palca na tarcie, dopasowane do różnych kształtów obiektów, chwytów dużych obiektów pomiędzy kciukiem i resztą palców i jest charakterystyczny dla ludzkich chwytów uściskowych, w których mały palec zakotwicza cylindryczne przedmioty w dłoni, stając w opozycji do kciuka (Marzke 2005, 243–255).

Kolejną ludzką cechą jest szkieletowa budowa III kości śródręcza. Odpowiada ona za przeciwdziałania sile przenoszonej w kierunku centralnej części dłoni podczas ruchu uderzenia tłuczkiem przy odbijaniu odłupków. W trakcie uderzenia tłuczkiem w rdzeń siła jest skierowana w kierunku II i III kości śródręcza. Taki kierunek reakcji siły może powodować grzbietowe nachylenie podstawy III kości śródręcza i tendencje do nachylenia tej kości do przodu. Powstanie wyrostka rylcowatego na grzbietowej podstawie III kości śródręcza przeciwdziała hiperwyprostowi i sublokacji podstawy (Marzke 2005, 243–255).

Typowe dla *H. sapiens* są stawy stosunkowo dużych rozmiarów i silne kości w rejonie kciuka i V palca. Na te dwa palce składają się również silne mięśnie, odpowiadające za chwyt siłowy. Kciuk i V palec są przedmiotem silnych i powtarzających się kontr działań wewnętrznych i zewnętrznych mięśni, podczas uderzenia twardym tłuczkiem. Dlatego można przewidywać, że ręce wczesnych hominidów mogły posiadać adaptacje do tego typu obciążeń. Pierwsi wytwórcy narzędzi przypuszczalnie już posiadali proporcjonalnie masywne I i V kości śródręcza oraz relatywnie duże płaszczyzny stawowe na tych kościach. (Marzke 2005, 243–255).

Stwierdzono również, że ludzie mają znacznie bardziej rozwinięte ścięgna wewnętrzne kciuka. Odpowiadają one za zginanie i prostowanie, odwracanie i nawracanie. Daje to możliwość lepszego obrotu mięśni przy użyciu stosunkowo mniejszej energii. Ta umiejętność jest szczególnie ważna dla ludzi manipulujących narzędziami. Przyczepy tych ścięgien są zaznaczone na kopalnych kościach hominidów (Marzke 2005, 243–255).

Określenie ludzkiego wzorca jest ważne, ponieważ dzięki temu można sprecyzować wykonanie precyzyjnego chwytu siłowego, a co za tym idzie

umiejętności wytwarzania narzędzi. Trzeba jednak zwrócić uwagę na to, że nie wszystkie cechy morfologiczne kończyn górnych *H. sapiens*, ułatwiające produkcję narzędzi, są charakterystyczne tylko dla tych istot. Goryle mają bardziej płasko wysklepioną powierzchnię stawową I kości śródreżcza niż szympansy, co wskazuje na kierunek rozwoju podobny do ludzi. Jednak z ewolucyjnego punktu widzenia to szympansy są bliżej spokrewnione z ludźmi. Zdaniem niektórych biologów nie ma nic unikalnego w budowie tego stawu u ludzi. Taka topografia może być uważana za cechę pierwotną rzędu *Catharines* (Marzke 2005, 243–255).

Biomechanika kończyn górnych wczesnych hominidów

Podstawowym problemem w badaniach nad zdolnościami manipulacyjnymi pierwszych hominidów jest stosunkowo mała ilość danych. Są one w wielu przypadkach niezbyt dobrze przebadane. To wszystko powoduje, że powstają duże możliwości tworzenia wielu niekiedy sprzecznych interpretacji, w których argumenty dobierane są nie do końca obiektywnie, lecz tak aby podtrzymać opinię danego badacza. Kolejny problem to brak solidnych studiów, które łączyłyby w sobie dane archeologiczne i antropologiczne. Podczas pierwszych wykopaliś skupiano się głównie na poszukiwaniu kolejnych skamieniałych kości hominidów, a zabytkom archeologicznym poświęcano jedynie pobieżną uwagę. Efektem tego jest fakt, iż wiadomo więcej na temat samych hominidów niż ich technicznych umiejętności (Delagnes, Roche 2005, 436). Wprawdzie w publikacjach na temat możliwości manipulacyjnych hominidów pojawiają się wzmianki o narzędziach kultury olduwajskiej, ale brak jest dokładniejszych analiz (Susman 1998, 40–41). Natomiast w publikacjach archeologicznych, znaleźć można dokładniejsze analizy technologiczne, lecz tu z kolei wzmiankuje się jedynie przypuszczalnych twórców tych technologii (Semaw 2000, 1210). Te problemy wynikają częstokroć z braku współwystępowania szczątków wczesnych hominidów i narzędzi w tych samych nagromadzeniach, co znacznie utrudnia łączenie ich ze sobą (Delagnes, Roche 2005, 436).

W artykułach archeologicznych, badacze skupiają się na udowodnieniu dużych możliwości pierwszych hominidów. Zwraca się uwagę na to, że produkcja narzędzi olduwajskich wymagała od ich twórców selekcji materiału, wizualizacji formy, wyobraźni trójwymiarowej, umiejętności powtarzania danych ruchów, i zdolności do przekazywania wiedzy na ten temat (Gowlett 1984, 180). Często porównuje się je do *H. sapiens* i kładzie duży nacisk na cechy wspólne z tym gatunkiem. W niewielu opracowaniach mowa o ograniczeniach tych hominidów. To wszystko zamazuje prawdziwy obraz ich możliwości technicznych (Delagnes, Roche 2005).

Kolejne problemy pojawiają się podczas badań antropologicznych. Przy badaniu skamieniałych kości należy poddać analizie bardzo złożone kombinacje ruchów (Marzke 2005). Różne zestawy kości znalezione na każdym

stanowisku, występują w tak małej liczbie, że nie można pozytywnie połączyć morfologicznych wzorców, które sugerowałyby stres adaptacyjny i możliwości wytwarzania narzędzi (Marzke 2005, 243).

Według antropologów najistotniejszym źródłem odpowiedzi na te pytania są skamieniałe kości owych hominidów. Kształt kości i wewnętrzna struktura zapewniają wskazówki do określenia rozmiaru i rodzaju stresu, powiązanego z charakterystycznym używaniem kończyn górnych. Topografia powierzchni stawowych odpowiada potencjalnej gamie ruchów i dodatkowych zdolności stawów. Miejsca przyczepów mięśni mogą w pewnym stopniu wskazywać relatywną wielkość mięśni. Interpretacje na temat funkcjonowania ręki i behawioru, na podstawie tych szkieletowych wskazówek, wymagają szczegółowej wiedzy o chwycie, ruchach stawów i pracy mięśni łączonych z charakterystyczną manipulacją żyjących obecnie hominidów i gatunków naczelnych (Marzke 2005, 243–246).

W dodatku ręce wczesnych hominidów posiadają mozaikę cech prymitywnych (małpich) i zaawansowanych (ludzkich), dlatego ciężko określić ich możliwości manipulacyjne. Niezwykle istotne jest przy tym branie pod uwagę cech wyjątkowych dla skamieniałości (Susman 1998, 27). Wyznaczniki chwytu precyzyjnego określa się w oparciu o obserwacje przeprowadzone na *H. sapiens*. Tymczasem ze względu na inne cechy morfologiczne poszczególnych przeszłych gatunków chwyt mógł wyglądać inaczej. Stwierdzono zatem, że jeśli u kilku współczesnych gatunków dana struktura w budowie morfologicznej odpowiada za daną funkcję, to można przypuszczać, że jeśli ta struktura występuje na skamieniałościach, to ten osobnik był w stanie wykonywać daną funkcję. Problem pojawia się, gdy z jedną strukturą powiązane są różne funkcje, wtedy ciężko jest zdecydować, którą funkcję spełniała u wymarłego gatunku.

Kolejnym istotnym zagadnieniem jest specyfika samych zabytków kultury olduwajskiej. W ramach tego kompleksu tworzone narzędzia niezwykle zróżnicowane zarówno pod względem wielkości jak i morfologii. Odmienne były również techniki wytwarzania tych narzędzi. Mamy tu do czynienia zarówno z narzędziami rdzeniowymi jak i odłupkowymi (Toth 1985, 101–120). Należało by więc interpretacje dotyczące zdolności manipulacyjnych odnieść do wszystkich tych form. Wybór narzędzi z tego okresu charakteryzuje się formami o niestandardyzowanym kształcie i różnych wielkościach. Dlatego ciężko stwierdzić funkcję narzędzi, co powoduje kolejne problemy z określeniem używanych przez wczesne hominidy rodzajów chwytów precyzyjnych (Susman 1998, 26).

Kryteria oceny

Na podstawie badań biomechanicznych i technologicznych wyznaczono szereg cech w budowie morfologicznej kończyn górnych, które miałyby pomóc w wytypowaniu gatunków zdolnych do wytwarzania narzędzi. Listę takich najistotniejszych, pod względem zmian ewolucyjnych, cech wyznaczyła M. Marzke (1997, 99–101). Pod uwagę brane są następujące kryteria:

- Proporcje kciuka do pozostałych palców, pozwalają ocenić manipulację opuszkami kciuka i innych palców. Relatywna długość kciuka w porównaniu do innych palców, daje nam dość sporo informacji na temat możliwości wykonywania poszczególnych chwytów (Marzke 1997, 99–101). Z drugiej strony trzeba pamiętać, że skamieniałe szczątki nigdy nie przedstawiają całości szkieletu ręki, więc ciężko jest z nich wyliczyć relatywną długość kciuka, skoro nie ma go do czego odnieść (Susman 1998, 26–31).
- Cechy kości kciuka, które wskazują na rozwój wewnętrznych i zewnętrznych mięśni kciuka; proporcjonalnie dobrze rozwinięte przyczepy m. kciuka: zginacza długiego kciuka.
- Badanie topografii stawów śródręczno-nadgarstkowych i śródręczno-paliczkowych, pozwalają na ocenę umiejętności trzymania w ręce przedmiotu, i jej zdolność do dostosowania się do kształtu tego przedmiotu.
- Zarysowana asymetria między II i V k. śródręcza (Lewis 1977, 167–172). Wskazuje na to, że II palec skręca się podczas zgięcia w stronę łokciową, a V w stronę promieniową (Marzke 1997, 99–101).
- Występowanie wyrostka rylcowatego III k. śródręcza.
- Badanie relatywnej masywności V k. śródręcza. Masywna budowa V k. śródręcza wiąże się z działaniem wewnętrznych i zewnętrznych mięśni tego palca przy dużej sile podczas uderzenia i asekurowania chwytu (Marzke 2005, 243–255).
- Występowanie rozwiniętej guzowatości paliczka dystalnego, wskazującej na bardziej unerwione opuszki (Marzke 1997, 99–101; Susman 1998, 28). Zróznicowanie opuszek, pozwala ocenić zdolność do wykonywania kilku rodzajów chwytów precyzyjnych (Kujawa 1993, 125–127). Duże opuszki palców pomagają we wszystkich chwytach, w których używane są czubki palców, przy stabilizowaniu przedmiotu, niezależnie od jego wielkości (Susman 1998, 26–31).

Część badaczy uważa jednak, że nie można wyznaczyć kilkunastu cech morfologicznych, które w pełni pozwalałyby na ocenę zdolności manipulacyjnych. Według Susman (1998, 37) określenie występowania pewnych cech np. relatywnie długiego kciuka, czy proporcjonalnie dobrze rozwiniętych przyczepów mięśni kciuka jest trudne do sprawdzenia na skamieniałych kościach. Orientacja II stawu śródręczno-nadgarstkowego jest niemożliwa do sprawdzenia przez inne studia porównawcze np. analizy statystyczne. Występowanie grzebieni podłużnych w górnych częściach paliczków dystalnych znajdujemy zarówno u tych gatunków, które wytwarzały narzędzia jak i u tych które tego nie robiły (Susman 1998, 37). W związku z tymi ograniczeniami nie można określić kilkunastu charakterystycznych chwytów, które mogły być używane przez pierwsze hominidy. Znając kształty i formy narzędzi możemy wnioskować w jaki sposób były one trzymane, lecz możliwości zawsze jest co najmniej kilka i przy każdej z nich mogą działać inne grupy mięśniowe, tak więc nawet brak jakiś mięśni może nie wpływać na brak umiejętności posługiwania się daną kategorią narzędzi.

Kolejnym ułatwieniem przy ocenie zdolności manipulacyjnych pierwszych hominidów miało być wyróżnienie przez Marzke (1997, 99–101) czterech stadiów rozwoju zachowań narzędziowych:

- 1) Zachowania narzędziowe takie jak u szympanśów, tzn. okazjonalne używanie i wytwarzanie z naturalnych obiektów narzędzi, za pomocą kończyn górnych, które wciąż przystosowane są do lokomocji czworonożnej.
- 2) Charakterystyczne zwiększenie siły chwytu (szczypania) i przystosowanie do chwytania bardziej zróżnicowanych kształtów. Charakterystyczne ludzkie cechy powiązane z: kontrolą palców, siłą chwytu, tolerancją na nowe stresy związane z produkcją i używaniem narzędzi.
- 3) Wyraźne powiązanie morfologii z wytwarzaniem jak i kontrolowanym używaniem kamiennych narzędzi bez oprawy.
- 4) Charakterystyczne używanie oprawionych narzędzi i bardzo małych narzędzi, przy których niezbędne jest użycie chwytu dwupunktowego przy ludzkich proporcjach ręki.

Wyznaczenie tych stadiów miało pozwolić na przyporządkowanie określonego gatunku do danego etapu rozwoju. Z kolei ten określony etap rozwoju łączył by się z wymienionymi wcześniej cechami i w ten sposób wyraźnie sprecyzowanymi możliwościami manipulacyjnymi.

Taki podział spotkał się z krytyką. Według Susman (1998) pierwsze stadium jest niemożliwe do przetestowania w materiale antropologicznym. Ponieważ nawet jeśli wiedza na temat używania przez szympansy narzędzi jest ugruntowana, to nie jest to czytelne w materiale kostnym. Ponad to narzędzia te wykonywane są na ogół z materiałów organicznych, a więc nie trwałych. Tym bardziej nie można prześledzić istnienia stadium pierwszego zachowań ponieważ nie zachowują się one ani w materiale antropologicznym, ani archeologicznym.

Studia biomechaniczne nad produkcją prehistorycznych narzędzi, przeprowadzane podczas eksperymentalnych badań archeologicznych wykazują, że do wyprodukowania narzędzi wykorzystywano ograniczoną liczbę chwytów precyzyjnych (Marzke 1997). Do wykorzystania prymitywnych narzędzi niezbędne było używanie trzech chwytów precyzyjnych i jednego siłowego tj.:

1. chwyt precyzyjny – (*pad-to-side*), który powstaje poprzez chwytanie przedmiotu przez dystalną części/opuszki kciuka i boczną część palca wskazującego: np. tak jak przy przekręcaniu klucza w zamku (Ryc. 5);
2. chwyt precyzyjny – (*pad-to-pad*), który powstaje poprzez chwytanie przedmiotu przez dystalną części/opuszki kciuka i palca wskazującego
3. chwyt precyzyjny – przy którym współpracują: kciuk, palec wskazujący i III palec (Ryc. 3);
4. chwyt siłowy – który powstaje przez utrzymywanie przedmiotu ściskanego z jednej strony przez powierzchnię dłoni, a z drugiej przez palce od II do V (Girelli F. 2001) (Ryc. 4).

Do stworzenia tych chwytów niezbędne były następujące szczegóły budowy morfologicznej kończyn górnych u wczesnych hominidów: asymetria II i V kości śródreczą; relatywnie długi kciuk w porównaniu do pozostałych palców.

Wykazano, że podczas wytworzenia narzędzi przemysłu olduwajskiego wykorzystywano uderzenia sferycznym, twardym tłukiem. Kciuk, palec wskazujący i III palec podtrzymywały kamień, opierający się w tym samym momencie na zgiętych IV i V palcu. Chwyt trójpunktowy używany jest również do rzutu kamieniem (Feustel 2005, 244–246) (Ryc. 3).

Podczas redukcji rdzeń był trzymany i stabilizowany chwytem kolebkowym, zwanym również palcowo-dłoniowym. W chwycie tym rdzeń ułożony jest między powierzchnią dłoniową i czterema palcami, oraz opozycyjnie do nich ustawionym, asekurującym kciukiem. Ten rodzaj chwytu siłowego używany jest do trzymania dużych płaskich przedmiotów (Feustel 2005, 244–246) (Ryc. 4).

Precyzyjne uderzenie odgrywało główną rolę dlatego trzymano kamień w części dłoniowej i przez dystalne paliczki, tak, aby powstała lepsza rotacja ruchu. Im rdzeń stał się mniejszy podczas redukcji, tym bardziej był odsuwany od dłoni w stronę palców i kciuka lub trzymany między kciukiem i stroną wskaziciela (chwycem kluczowym) (Marzke 2005, 243–255). Chwyt kluczowy był również istotny podczas wykorzystania narzędzi, takich jak odłupki oddzielone od rdzenia. Do używania małych narzędzi niezbędny był silny ucisk między kciukiem i bokiem palca wskazującego, dlatego wykorzystywano chwyt kluczowy, który jest najsilniejszym przykładem chwytu uciskowego (Feustel 2005, 244–245) (Ryc. 5).

Wszystkie cylindryczne narzędzia np. długie kości i patyki były trzymane kolejnym rodzajem chwytu uciskowego. Jest to chwyt, który dziś występuje podczas używania młotka i rakiety tenisowej. Przedmiot uciskany jest przez zbieżne strony dłoni, kciuka i zgięte palce. Kciuk jest opleciony wokół narzędzia, a reszta palców i uderzający następnie palec wskazujący są ułożone poprzecznie do osi narzędzia (Feustel 2005, 244–246) (Ryc. 6).

Mięśnie kciuka i palca wskazującego odgrywają tu istotną rolę. Szczególnie ważna jest grupa trzech mięśni stabilizujących podstawę kciuka na kości czworobocznej większej w stawie śródrečno-czworobocznym, w trakcie przeciwstawiania kciuka pozostałym palcom. Mięśnie takie jak skośna część prostownika kciuka, powierzchowna głowa zginacza kciuka krótkiego były silnie wykorzystywane przez prehistorycznych wytwórców i użytkowników narzędzi kamiennych, co zostało potwierdzone eksperymentem, w którym porównano człowieka i szympansa (Marzke 2005, 243–255).

Z drugiej strony tego stawu (śródrečno-czworobocznego) funkcje stabilizującą spełniają inne mięśnie wewnętrzne (krótki zginacz i skośna część prostownika kciuka) i zewnętrzne (zginacz kciuka długi, prostownik kciuka długi). Odpowiadają one za zginanie i prostowanie dystalnej części kciuka. Wyraźnie znaczone przyczepy mięśniowe tych mięśni na sfosylizowanych kościach, mogą być istotne dla oceny umiejętności manipulacyjnych hominidów (Marzke 2005, 243–255).

Podstawowe zagadnienia technologiczne

Większość odkrytych zabytków archeologicznych z okresu od 2,6–1,5 mln lat temu, to rdzenie, połamane i całe odłupki, fragmenty rdzeni, mała liczba retuszowanych fragmentów, fragmenty surowca przyniesionego na stanowisko. Z całego tego zbioru 99% to debitaż, składający się z całych i połamanych odłupków i fragmenty rdzeni.

Wykorzystywano dwie podstawowe odmiany techniki uderzeniowej: uderzanie tłukiem zaciśniętym w ręce i bipolarną (Pelegrin 2005, 24). Pierwszą stosowano raczej do surowców wulkanicznych (Gona, Lokalalei), druga do kwarców (Omo) (Semaw 2000, 1205–1209). Produkty przemysłu olduwajskiego podzielono pod względem technologicznym na: fragmenty łupane (rdzenie, narzędzia rdzeniowe np. czopery), fragmenty odłupane (odłupki, okruchy, łuski), elementy łupiące (tłuki), kawałki niezmodyfikowane (manuporty).

Przy wykonywaniu olduwajskich narzędzi rdzeniowych, najistotniejsza była operacja łupania, której efektem miało być otrzymanie jednego pożądanego narzędzia, uzyskanego w procesie kształtowania z bryły półsurowca. Ze względu na brak zabiegów przygotowawczych, niezwykle ważnym elementem był wybór surowca. Najlepsze do eksploatacji były konkracje o okrągłym kształcie. W tej metodzie nacisk położony jest uzyskanie jednego narzędzia rdzeniowego, a nie na oddzielenie jak największej ilości odłupków, jak to ma miejsce w metodzie odłupkowej. (Delagnes, Roche 2005, 442; Roche 2005, 35–47; Andrefsky 1998, 11–38).

W metodzie odłupkowej najważniejsza jest jak najskuteczniejsza redukcja rdzenia. Jeśli eksploatacja rdzenia przebiega poprawnie, uzyskuje się dużą ilość dobrych jakościowo odłupków. Aby uzyskać taki efekt trzeba uderzyć bryłą przy krawędzi, ale nie na samym jej brzegu (Ryc. 8) i kąt tego uderzenia nie może być większy niż 90°. Aby uzyskać te dwie cechy niezbędna jest prawdziwa, dwuręczna zręczność. Jedna ręka uderza, druga zaś podtrzymuje rdzeń w odpowiedniej płaszczyźnie. Znacznie mniejsze umiejętności potrzebne są podczas rozbijania brył kamiennych lub orzechów na podkładce (Pelegrin 2005, 23–33). W przypadku techniki uderzeniowej dużo bardziej prawdopodobnym jest trafienie w nieplanowany punkt (Andrefsky 1998, 11–38). Aby oddzielić pojedynczy odłupek od bryły niezbędne jest:

- wyselekcjonowanie odpowiedniej krawędzi, tak aby nie była zbyt gruba;
- ustawienie bryły w odpowiednim nachyleniu do kierunku uderzenia;
- ustalenie punktu uderzenia tak aby nie był zbyt daleko i zbyt blisko krawędzi;
- przesunięcie lub ponowne zorientowanie bryły do odbicia kolejnego odłupka
- (Pelegrin 2005, 23–33).
- Natomiast aby oddzielić całą serię odłupków od dużej płaskiej powierzchni należy:
- wybrać platformę uderzenia, której kąt rdzeniowania będzie wynosił ok. 75° (Ryc. 7);

- ustawić płaską powierzchnię pod odpowiednim kątem do podłoża;
- wyznaczyć punkt uderzenia w odległości ok. 1 cm od krawędzi;
- uderzyć pod kątem ok. 50°, przy czym ten kąt może być uzależniony od samego nachylenia odłupni (Ryc. 7, 8);
- przesunąć platformę uderzenia w bok do odbicia kolejnego odłupka, uwzględniając poprzednie odbicie np. jeśli odłupek poprzedni był zakończony zawiasowo (Ryc. 7b), należy cofnąć dalej punkt uderzenia (Pelegrin 2005, 23–33).
- kąt uderzenia mógł ulegać zmianie w zależności ukształtowania kąta między platformą uderzenia, a odłupnią (Pelegrin 2005, 26) (Ryc. 7; Ryc. 8).

Należy również brać pod uwagę fakt, że popełniano pomyłki. Wynikały one z okoliczności takich jak jakość surowca, umiejętności łupiącego i ilości czasu, który można było poświęcić na przygotowanie takiego narzędzia. Najczęściej występujące błędy wynikały z przyłożenia zbyt dużej siły w punkcie uderzenia. Efektem tego był powstawanie odłupków przeniesionych i zakończonych zawiasowo (Pelegrin 2005, 23–33; Andrefsky 1998, 11–38) (Ryc. 7b).

Kolejnym niezwykle ważnym faktem przy analizach technologicznych jest zwrócenie uwagi na dynamikę zmian narzędzi. Narzędzia kamienne przechodzą przez szereg zmian począwszy od procesu produkcji, użytkowania, utylizacji, aż po podepozycyjny. W okresie użytkowania dwa przykładowe narzędzia mogły być zbliżone do siebie pod względem funkcjonalnym i morfologicznym, jednak w wyniku procesów podepozycyjnych ich morfologia mogła ulec zmianie. Dlatego podczas analizy niezwykle ważne jest rozróżnienie cech intencjonalnych takich jak fała odbicia, punkt uderzenia, retusz itd., od tych które mogą być efektem innych czynników.

Każdy z tych procesów działa na artefakty kamienne i ich skupiska, co prowadzi do zmiany kształtu i rozmiaru pojedynczych zabytków. Ten dynamizm powoduje, że narzędzia kamienne zmieniają się i ewoluują zarówno pojedynczo jak i w skupiskach (Andrefsky 1998, 11–38). Narzędzie mogło być również wielokrotnie przekształcane już na etapie procesu użytkowania. We wczesnym stadium dane narzędzie może być użyte jako chopper. Ze względu na relatywnie szeroki kąt między krawędziami; jego ostrze jest idealne do cięcia i rąbania twardych materiałów np. drewna, przy małym zagrożeniu złamania narzędzia. To samo narzędzie może być ponownie naostrzone, gdy jego krawędzie staną się tępe lub ścienione, by efektywniej spełniały swoje zadania. Jeżeli potrzebne są odłupki do cięcia miękkich materiałów, to takie narzędzie rdzeniowe, we wczesnym lub środkowym stadium produkcji, może zostać użyte jako rdzeń. Nawet mniej zaawansowane narzędzia przechodzą przez różne stadia produkcji (Andrefsky 1998, 11–38).

Analiza technologiczna materiałów kamiennych z wybranych stanowisk związanych z wczesnymi hominidami

Najstarsze zabytki paleolityczne znane są ze stanowiska Gona datowanego 2,6–2,5 mln lata temu. Kolejne zachowania narzędziowe związane są artefaktami odkrytymi na stanowiskach w Hadar, Omo (Etiopia), i Lokalalei (Kenia), datowanymi na 2,4–2,3 mln lat temu. Omówione tu zostaną dokładniej kompleksy związane ze stanowiskiem East Gona i Lokalalei 2C, ze względu na dość szczegółowe analizy przeprowadzone na tych stanowiskach (Tabela 1).

East Gona

Technikę uderzenia twardym tłukiem wykorzystywano przy produkcji większości odłupków z Gona. Odkryto tu 43 całe i częściowo zniszczone rdzenie (Tabela 2). Ze wszystkich pozyskiwano odłupki (Semaw 2000, 1205–1209). Większość wykonano według podobnego schematu eksploatacji, z otoczonych kamieni. Rdzenie są zaskakująco dobrej jakości jak na tak wczesne datowanie (Semaw 2000, 1207). Niezbędna była dobra koordynacja ruchów przy odłupywaniu grubych odłupków. Część rdzeni (30%) została bifacjalnie opracowana.

Całe odłupki jak i ich przypiętkowe fragmenty odkryte na stanowisku w Gona charakteryzują się z zestawem cech, charakterystycznych dla użycia twardego tłuka. Posiadają one znaczny sęczek i piętkę. Fragmenty retuszowane są bardzo rzadkie i są one podobne do tych z Lokalalei 2C. W sumie znaleziono 679 odłupków (Tabela 2). Główny surowiec to trachit. Większość z nich ma bezkorową stronę górną co oznacza, że odłupki były pozyskiwane w kilku seriach. Ponad to występowanie korowych piętek, świadczy o braku przygotowania pięty przed eksploatacją.

W całym inwentarzy z East Gona największą grupę stanowią okruchy – 73,53% (Tabela 2).

Według R. Semaw (2000, 1209). wczesne hominidy rozumiały mechanikę działającą podczas prostego oddzielania odłupków. Ale badacz ten nie zakłada jak H. Roche (2005, 35–47), że zdolności koordynacji i stopień zdolności łupania był niższy niż w bardziej rozwiniętych formach olduwajskich datowanych na okres późniejszy niż 2 mln. lat temu ale, że hominidy z Gona były równie rozwinięte jak te, które odpowiadały z dużo młodsze kompleksy (Semaw 2000, 1209).

Lokalalei 2C

W wyniku szczegółowych badań stwierdzono, że techniki zastosowane w Lokalalei 2C są bardziej zaawansowane. Analiza składankowa artefaktów znalezionych na tym stanowisku wskazuje, że już pierwsze surowce były dobierane intencjonalnie. Wybierano duże owalne lub płaskie bryły. Technologia znana z początku paleolitu nie jest stadium początkowym wytwarzania narzędzi. Jej twórcy musieli posiadać już jakąś wiedzę technologiczną.

Analizy debitażu wskazują, że redukcja rdzenia ograniczała się jedynie do części, których eksploatacja przynosiła wymierne rezultaty np. naprawiała kąt rdzeniowania, bądź dawała możliwość pozyskania półsurowca (Tabela 3). Nieudane próby zaokrąglania nie miały miejsca, a w razie małych błędów naprawiano platformy uderzenia. Utrzymano początkową odpowiednio płaską powierzchnię odłupni, dzięki czemu następowała odpowiednia redukcja rdzenia i wysoka produktywność uzyskana przez prawie równoległe lub zbiegające się uderzenia (Roche 2005, 35–47).

Rdzenie mają na ogół kształt wklęsło-wypukły. Część wklęsła jest w większości przypadków wykorzystywana jako odłupnia ze względu na jej naturalną w miarę płaską powierzchnię. Podczas łupania następowała znaczna redukcja wielkości rdzenia. Pokazuje to szczególnie pomiar długości brył przed produkcją (ok. 11cm) i długości porzuconych rdzeni (ok. 15cm) (Delagnes, Roche 2005, 455).

Od początku wybierano najdłuższą krawędź i najbardziej dostępną płaszczyznę. Podtrzymywano redukcję na pojedynczej lub kolejnej preferowanej płaszczyźnie. Zmianę orientacji rdzenia obserwuje się zawsze w drugiej lub ostatniej serii redukcji rdzenia. Debitaż zatem składa się na tych płaszczyznach albo z kilku inwazyjnych odbić lub z regularnej serii odbić odłupków. Rozszerzanie platformy uderzenia wokół obwodu rdzenia było zależne od kąta między platformą uderzenia i przyległym bokiem. Najpierw ściągano kilka pierwszych odłupków z różnych kierunków, które wyrównywały przyszłą odłupnię tak aby była płaska. Można zatem stwierdzić zastosowanie bardzo prostej zaprawy przygotowawczej rdzenia. Składanki wskazują, że z jednego rdzenia uzyskiwano nawet ok. 50 odłupków (Delagnes, Roche 2005, 445) (Ryc. 9).

Rdzenie porzucano ze względu na uszkodzenia powstałe podczas łupania np. tworzenie się negatywów zawiasowych (Ryc. 7b). Były one wynikiem słabej jakości surowca lub zbyt mocno zredukowanych rozmiarów rdzenia (Delagnes, Roche 2005, 462–466). Z Lokalalei 2C znany jest też mocno wyeksploatowany rdzeń bez uszkodzeń. Porzucane były zatem nie tylko egzemplarze z negatywami zawiasowymi. Na stanowisku Lokalalei 2C odkryto 2500 artefaktów, w tym niektóre fragmenty retuszowane. W kompleksie Lokalalei (1 i 2C) odkryto dwa typy hominidów *Australopithecus* (dalej *A.*) *boisei* i *H. habilis* (Roche *et al.* 1999). Problematiczna jest kwestia stosunkowo niewielkiej odległości w jakiej znajdowały się oba gatunki (ok. 1 km). Mogły one bowiem funkcjonować na tym samym obszarze, a co za tym idzie nie można jasno przyporządkować określonej grupy zabytków tylko jednemu z nich. Niemniej jednak najbardziej prawdopodobnym wydaje się, że *H. habilis* był twórcą bardziej zaawansowanych, a *A.* prostszych rdzeni (Semaw 2000, 1208).

Obserwacje poczynione na zbiorze zabytków ze stanowiska Lokalalei 2C wykazały wysoką skuteczność i zręczność chwytu. Ponad to na rdzeniach nie widać wielu śladów uszkodzeń po błędnych uderzeniach. Generalnie zakłada się, że to było podstawowe stereotypowe łupanie, którego hominidy uczyły

się za pomocą powtarzania, ale zawierało już cechy działań planowych (Delagnes, Roche 2005, 460–461).

Istniały pewne ograniczenia hominidów z Lokalalei 2C: nie zaprawiano platformy uderzenia, jeśli jej naturalny kształt nie był podobny do pożądanego, nie naprawiano również rdzenia gdy nastąpiły na nim drastyczne zmiany. W zasadzie twórcy tutejszych narzędzi byli od początku uzależnieni od kształtu półsurowca, bo nie umieli go skutecznie przekształcać na własne potrzeby (Roche 2005, 35–47).

Również na stanowisku Koobi Fora różnice i stopień zaawansowania inwentarza mogły być efektem doboru półsurowca do produkcji. Badania eksperymentalne na replikach narzędzi z Koobi Fora dowodzą, że kształt narzędzia zależny był głównie od kształtu bryły i jakości półsurowca (Semaw 2000, 1209).

Badania z Lokalalei 2C wskazują, że hominidy te miały duże umiejętności planowania i świadomie wybierały surowiec. Wykorzystywano materiał, który znajdował się w pobliżu stanowiska. Wybierano przy tym bryły takiej wielkości aby nie trzeba było ich zaprawiać przed eksploatacją. Były to zarówno fragmenty większych brył jak i takie które były naturalnie odpowiedniej wielkości. Debitaż następował bezpośrednio w miejscu znalezienia bryły. Jeszcze poza stanowiskiem sprawdzano bryły, przez rozmyślne obtłukiwanie ich w poszczególnych miejscach. W ten sposób sprawdzano materiał i tylko części z niego przynoszono na stanowisko (Delagnes, Roche 2005, 455–460). Obtłukiwanie dotyczy głównie większych brył (większe niż 15cm). Sprawdzanie wstępne bryły miało dwie zasadnicze konsekwencje:

- z technicznego punktu widzenia uzyskiwano półsurowiec posiadający ostrą krawędź i płaską powierzchnię dobrze nadającą się na odłupnię.
- z ekonomicznego punktu widzenia uzyskiwano kilka nadających się do łupania fragmentów z jednej większej bryły, co zwiększało liczbę wyprodukowanych odłupków na bryłę (Delagnes, Roche 2005, 455–460).

Technologia znana z początku paleolitu nie jest stadium początkowym wytwarzania narzędzi. Jej twórcy musieli już posiadać jakąś wiedzę technologiczną. Można więc przypuszczać, że pierwsze próby obrabiania kamieni pojawiły się przed pierwszymi intencjonalnie opracowanymi narzędziami, a więc jeszcze przed 2,6 mln lat temu (Delagnes, Roche 2005, 436). Potwierdzić ma to wzór rozwoju narzędzi we wczesnym paleolicie. Twórcy narzędzi z Lokalalei 2C byli bardziej rozwinięci niż, ci znani z Afryki Wschodniej. Jest to widoczne w ich zdolności do planowania, zaawansowanej zręczności manualnej, procesach technologicznych i ich produktach (Delagnes, Roche 2005, 436–437). Według H. Roche (2004, 469) okres kultury olduwajskiej był bardzo zróżnicowany pod względem zaawansowania technologicznego, więc kultura olduwajska powinna być jedynie określeniem okresu chronologicznego, nie łączonego z danym stopniem zaawansowania technologicznego. Nie sprecyzowano również gatunku wytwarzającego narzędzia kultury olduwajskiej. Różne formacje mogą być łączone z różnymi gatunkami, a więc można przypuszczać, że kilka, a nie jak wcześniej przypuszczano je-

den gatunek, mogło wytwarzać narzędzia i to jest być może przyczyna aż tak dużych różnic technologicznych. Różny stopień zaawansowania mógł być również uzależniony od dostępnego pól surowca (Semaw 2000, 1209; Roche 2005, 35–47).

Pierwszy twórca narzędzi

Jednym z głównych wyznaczników rodzaju *Homo* była zdolność do wytwarzania narzędzi. Wcześniej umiejętność produkcji narzędzi zawsze przypisywano tym gatunkom, które miały większy mózg (Susman 1998, 23–26). Jednak wraz z odkryciem artefaktów ze stanowiska Kada Gona (Semaw *et al.* 1997) ten wyznacznik rodzaju *Homo* został podważony, gdyż zabytki te są datowane wcześniej niż pojawienie się pierwszych przedstawicieli tego rodzaju (Coffing, McHenry 2000, 129). Ponad to ciężko wytypować pierwszego twórcę narzędzi. Niektórzy badacze twierdzą, że produkcję narzędzi można by przypisywać już *A. afarensis* (Marzke 1997, 105–106). Miały by to być jednak zachowania narzędziowe podobne do tych obserwowanych u szympan-sów, a więc opierające się głównie na narzędziach wykonanych z materiałów organicznych. Z Hadar jednak nie ma żadnych artefaktów, które mogły by być łączone z *A. afarensis* i zachowaniami narzędziowymi podobnymi do szympan-sów (Susman 1998, 38).

Według R. L. Susman (1998, 38) niemożliwe jest przetestowanie takich zachowań w materiale antropologicznym. Wynika to z faktu, że nawet jeśli wiedza na temat używania przez szympan-sy narzędzi jest ugruntowana, to nie pozostawia śladów w materiale kostnym. Ponad to narzędzia te wykonywane są na ogół z materiałów organicznych, a więc są nie trwałe, aby były czytelne w materiale archeologicznym (Susman 1998, 38). Badanie olduwajskich narzędzi z kości jest kwestią o tyle utrudnioną, że nawet kiedy takie szczątki się zachowują, to ciężko na nich stwierdzić ślady działalności hominidów. Do tego celu niezbędne są bardzo dokładne analizy traseologiczne, które odróżniłyby ślady użytkowania od tych pozostawionych przez zwierzęta lub liczne czynniki podepozycyjne (Backwell, d’Errico 2005, 238–242).

Zdolność wytwarzania narzędzi przez wybrane gatunki hominidów

Podczas badania możliwości manipulacyjnych wczesnych hominidów nie można zapomnieć o istnieniu zmienności wewnątrz populacyjnej i wewnątrz gatunkowej. Dobrym przykładem mogą być różnice wysokości i masy ciała związane z dymorfizmem płciowym (Tabela 4).

Kości ręki znane są dla większości gatunków należących do rodzaju *Australopithecinae*. Pierwsi przedstawiciele tego rodzaju posiadają jednak bardzo dużo cech prymitywnych, co zmniejsza możliwość wykonywania przez

nich narzędzi kamiennych. Paliczki proksymalne *A. anamensis* są mocno zagięte, z silnie wykształconymi przyczepami zginaczy, co świadczy o przystosowaniu do wspinania. Bardziej małpkształtna jest również boczna powierzchnia głowy II kości śródreżcza.

Kolejnym kandydatem na pierwszego twórcę narzędzi jest *A. africanus*. Szczególnie istotne są tu szczątki Stw-294 ze Sterkfontein (Ricklan 1987, 643–664). U *A. africanus* również zauważamy kombinację cech prymitywnych i zaawansowanych np. środkowo bocznie skierowana powierzchnia III kości śródreżcza w stawie śródreżno-nadgarstkowym. Znajdujemy tu trzy podstawowe cechy podobne do ludzkich: zgrubienie paliczka dystalnego, zaznaczony przyczep mięśnia zginacza długiego kciuka, grzebień paliczka dystalnego. Ta ostatnia cecha nie jest w pełni potwierdzona gdyż paliczek Stw-294 jest zerodowany z prawej strony, a więc nie jest do końca pewne czy istniała możliwość chwytu kluczkowego (Susman 1998, 39). Podejrzewa się, że *A. africanus* mógł stosować chwyt kluczkowy (Coffing, McHenry 2000, 125–146). Nie ma natomiast dowodów, które mogłyby potwierdzać wytwarzanie narzędzi przez ten gatunek.

Szerzej potraktowano w literaturze możliwość wytwarzania narzędzi przez *A. afarensis*. Z powodu braku narzędzi oraz śladów nacięć na kościach powstałych w wyniku użycia narzędzi w materiałach sprzed 2.6 mln. lat, uważa się, że *A. afarensis* nie posługiwał się narzędziami z kamienia (Semaw 2000, 1209). Jednak dobrze zachowane kości ręki *A. afarensis* z Hadar, wykazują interesującą mozaikę cech ludzkich i szympanszych (Aiello, Dean 1996, 385; Girelli 2001, 48). Kości ręki z Hadar są jednymi z najbardziej kompletnych zespołów skamieniałości, znanych dla wczesnych hominidów z okresu plioplejstocenijskiego. Ta kolekcja zawiera: 5 kości nadgarstka (1 grochowata, 1 czworoboczna większa, 2 haczykowate, 2 główkowate) 18 niezidentyfikowanych kości śródreżcza, 16 paliczków bliższych, 12 paliczków pośrednich, 2 paliczki dystalne (Aiello, Dean 1996, 385–388).

Analiza kości z Hadar nie pokazuje żadnych cech wskazujących na chód knykciowy – brak poprzecznego zgrubienia na podstawie grzbietowej powierzchni stawowej głów kości śródreżcza. Brak również dobrze zaznaczonej krawędzi na powierzchni stawowej kości promieniowej, ograniczającej zgięcie grzbietowe u małp, poruszających się chodem knykciowym (Aiello, Dean 1996, 385–388). Z drugiej strony na V kości śródreżcza brak masywności i siodełkowato ukształtowanej powierzchni stawowej, co jest charakterystyczne dla *H. sapiens* (Aiello, Dean 1996, 385; Marzke 2005, 247).

Tych cech należałoby oczekiwać w szkielecie *A. afarensis* jeśli istniałby u tego gatunku stres związany z wytwarzaniem narzędzi kamiennych oraz gdyby wykorzystywał on chwyt siłowy i kolebkowy. Ukształtowanie kości czworobocznej większej podobne do szympanziej, może wskazywać na małe potrzeby stosowania chwytów precyzyjnych. *A. afarensis* miał znacznie ustabilizowany kciuk, przy tym jednak posiadał małe możliwości przeciwstawiania kciuka pozostałym palcom, co jest niezbędne przy chwycie cylindrycznym i kolebkowym.

Istnieją również dowody na to, że *A. afarensis* posiadał mięsień międzykostny grzbietowy wzdłuż kości śródręcza, lecz był on znacznie drobniejszy niż u *H. sapiens*. Mały rozmiar tego mięśnia wskazuje na jego mniejsze zaangażowanie w stawie śródręczno-paliczkowych i międzypaliczkowych w porównaniu do *H. sapiens*. Budowa stawu śródręcznego palca wskazującego, kości nadgarstka i paliczków proksymalnych, wskazuje na zwiększenie siły chwytu trójpunktowego i chwytu między kciukiem, a palcem wskazującym. Kciuk był wystarczająco długi w stosunku do innych palców, aby wykonać chwyt trójpunktowy. Oba chwytły były istotne podczas stabilizowania rdzenia i przytrzymywania odłupków (Marzke 2005, 243–255).

Tworzenie narzędzi kamiennych i wykształcenie guzowatości paliczkowej pojawiło się w ewolucji hominidów jednocześnie. Miałyby to być potwierdzeniem wczesnej wytwórczości u *A. afarensis* (Ambrose 2001, 1749; Kujawa 1993, 129). Morfologia ręki *A. afarensis* wskazuje dwa podobieństwa do ręki *H. sapiens*: potencjalne ruchy w s. II k. śródręcza, stosunek długości kciuka do długości innych palców. Stosunek ten wyliczono po analizie kości różnych osobników, ponieważ nie odnaleziono żadnej kompletnie zachowanej ręki jednego osobnika. Pierwszy palec miał 50% długości palca trzeciego. U *H. sapiens* stosunek ten wynosi 53% a, u szympanсів 36%. Są to więc proporcje bliższe ludzkim (Aiello, Dean 1996, 385–388).

Na podstawie tych wszystkich cech Stern i Susman (1984, 113–156) stwierdzili, że ręka *A. afarensis* była przystosowana do brachiacji lub wspinaczki. Według S. Susman (1998, 37) *A. afarensis* posiadał 3 z pośród 8 typowo ludzkich cech wskazujących na zachowania narzędziowe. Mógłby on wykonać chwyt opuszki kciuka do bocznej strony palca wskazującego (kluczowy) oraz chwyt trójpunktowy. Niemniej jednak ten sam badacz twierdzi, że ręka *A. afarensis* była bardziej przystosowana do chwytu siłowego niż do precyzyjnego (Susman 1991, 129–149).

Całkowity wzorzec ręki *A. afarensis* sugeruje, że mógł on manipulować przedmiotami sferycznymi. Możliwe, że używał tłuków do łupania orzechów lub jako pocisków rzucanych dla odstraszania lub dla zabicia małej zwierzyny. Jednak jego zdolności manipulacyjne wciąż były w znacznym stopniu ograniczone.

Podsumowując informacje na temat gatunków należących do rodzaju *Australopithecinae*, stwierdzić można, że australopiteki posiadały podobną do ludzkiej budowę ścięgien ręki. Potwierdzono to na podstawie wyźłobień znajdujących się blisko haczyka na kości haczykowej. Takie wyźłobienia są łączone ze ścięgnami u człowieka współczesnego (Marzke 2005, 243–255). Podobne kości haczykowe znaleziono na kilku stanowiskach afrykańskich: Sterkfontein, Swartkrans, Oldovai. Są to kości przedstawicieli dwóch, a może i trzech gatunków australopiteków koegzystujących w Afryce. Te udoskonalone zdolności manipulacyjne pojawiły się u hominidów prawdopodobnie jeszcze przed dwunożnością (Marzke 2005, 243–255).

Na stanowiskach Swartkrans i Sterkfontein znaleziono dowody na duże obciążenia kciuka związane z manipulacją. Również wyraźnie zaznaczona

jest powierzchnia na pierwszej kości śródreżca, związana z pierwszym mięśnieniem grzbietowym międzykostnym, istotnym przy manipulacji kciukiem, podczas produkowania i używania narzędzi. Te kości są współczesne z narzędziami kamiennymi i kościanymi (Marzke 2005, 243–255). Z drugiej strony na tych samych kościach obserwuje się dużo cech prymitywnych (Coffing, McHenry 2000, 125–146). Przykładem może być brak wyrostka rylcowatego w trzeciej kości śródreżca (Aiello, Dean 1996, 386). Mozaikowy układ cech progresywnych i prymitywnych obrazuje współwystępowanie ludzkiego palca wskazującego oraz szympansego kciuka.

Niestety są to tylko częściowe dane ponieważ z żadnego z wyżej wymienionych stanowisk nie uzyskano kompletnego szkieletu kończyny górnej i np. kość łokciowa pochodzi z Sterkfontein, a kość promieniowej z Swartkrans. Im dalej posuwają się badania nad morfologią i funkcjonalnością kończyn górnych najwcześniejszych hominidów, tym bardziej wydają się one enigmatyczne (Marzke 2005, 243–255).

Mało również danych na temat technologii *australopiteków*, dlatego korzysta się z analizy porównawczej do szympansov. Pozwala to w pewnym stopniu rekonstruować zdolności manipulacyjne związane z zachowaniami narzędziowymi. Można stwierdzić, że zakres ruchów precyzyjnych był wciąż w znacznym stopniu ograniczony, co uniemożliwiało do końca skoordynowaną manipulację drobnymi przedmiotami, czy też w pełni intencjonalne przekształcanie większych brył. Prawdopodobnie hominidy żyjące między 5 a 2,5 mln lat temu posiadały zdolności manipulacyjne porównywalne do tych znanych u dzisiejszych szympansov (Ambrose 2001, 1748–1753).

Paranthropus robustus

Więcej cech ludzkich niż u *A. afarensis* można zauważyć u *Paranthropus* (dalej *P.*) *robustus* (Susman 1989, 451). Kości ręki *P. robustus* znane są ze stanowiska Member 1, Swartkrans. Ręce są bardziej podobne do ludzkich niż w przypadku *A. afarensis* (Aiello, Dean 1996, 373–394). Na paliczku dystalnym kciuka znajduje się przyczep dla zginacza długiego kciuka, który odpowiada za zginanie dystalnej części kciuka. Koniec paliczka dystalnego kciuka jest szerszy, co sugeruje występowanie większej i bardziej wrażliwej opuszki. Pełny grzebień paliczka dystalnego znany jest dopiero u przedstawicieli *P. robustus*. Te cechy wskazują na zdolność do wyspecjalizowanych chwytów precyzyjnych.

U innych okazów *P. robustus* stwierdzono również inne dwie cechy, które łączone są chwytami precyzyjnymi: zredukowane zakrzywienie paliczka bliższego i charakterystyczne dla ludzi ukształtowanie trzeciej głowy kości śródreżca (Susman 1998, 36–40). Paliczki proksymalne są prostsze i krótsze tak jak u człowieka. I kość śródreżca grubsza i silniejsza niż u małp, co umożliwia wygenerowanie większej siły. Analizy wskazują na występowanie dobrze rozwiniętych mięśni przeciwstawnych kciuka, na co wskazują wyraźne przyczepy (Girelli 2001, 49). W górnej części paliczka dystalnego dobrze

rozwinięty przyczep mięśnia zginacza długiego kciuka. Ten mięsień odgrywa duże znaczenie podczas wykonywania chwytu precyzyjnego kluczewego (Marzke 1997, 106). Budowa kciuka wskazuje na dobre przystosowanie do używania narzędzi (Aiello, Dean 1990, 389).

Ponad to z *P. robustus* łączone są zabytki kamienne znalezione na stanowisku Swartkrans (Brain, Shimpman 1993, 193–215; Clark 1993, 167–194). Wśród tych narzędzi znajdują się rdzenie i odłupki. Istotne jest również to, że na stanowisku Swartkrans narzędzia były znalezione w kontekście kości tego hominida. Wszystkie te dane wskazują na to, że *P. robustus* był twórcą narzędzi kultury olduwajskiej. Nie do końca znany jest stopień jego specjalizacji, choć nie była ona raczej zbyt zaawansowana.

Homo (Australopithecus) habilis

H. habilis jest jednym z gatunków szczególnie interesujących w kontekście oceny zdolności manipulacyjnych wczesnych hominidów. Wprawdzie przyłączono go do rodzaju *H.*, ale jest to wciąż kwestia sporna. Szczątki *H. habilis* w budowie postkranialnej są bowiem bardziej podobne do tych znanych u australopiteków, niż u *H. ergaster* czy *H. rudolfensis*. To właśnie stało się przyczynkiem do debaty na temat zaliczenia *H. habilis* do rodzaju *A.* (Coffing, McHenry 2000, 125).

Z *H. habilis* łączone są artefakty Olduvai i Koobi Fora (Coffing, McHenry 2000, 125–146). Również zabytki z Lokalalei 2C prawdopodobnie były wykonane przez *H. habilis* (Pelegrin 2005, 23–33). Badacze, opierając się na znalezisku zęba trzonowego na st. Lokalalei 1a, znajdującego się w pobliżu Lokalalei 2C przypuszczają, że twórcą narzędzi z Lokalalei 2C był wczesny *Homo*. Jest to jednak kwestia dyskusyjna, ponieważ z rejonu West Turkana znane są też szczątki australopiteków masywnych datowanych na ten sam okres (2,5 mln. lat temu) (Delagnes, Roche 2005, 436–437). Jeśli rzeczywiście *H. habilis* był twórcą narzędzi z Lokalalei 2C, to potrafił kontrolować kształt bryły, znany jest bowiem przykład naprawiania rdzenia (Pelegrin 2005, 23–33).

Kończyny górne *H. habilis* są jeszcze bardziej podobne do ludzkich niż u *A. afarensis* i *P. robustus*. (Girelli 2001). Pomimo, że u *H. habilis* wciąż zauważa się mnóstwo prymitywnych cech, posiada pewne kluczowe cechy łączące z chwytami precyzyjnymi, stosowanymi podczas wytwarzania narzędzi (Coffing, McHenry 2000, 125–146).

Na podstawie kości zachowanych w Olduvai Gorge można wskazać zarówno cechy zaawansowane i prymitywne kończyn górnych *H. habilis*. Przeanalizowano piętnaście kości rąk (Napier 1962) 3 kości nadgarstka (1 kość czworoboczna większa, 1 czworoboczna mniejsza, 1 łódeczkowata), 4 proksymalne paliczki, 4 środkowe paliczki, 3 dystalne paliczki, 1 podstawa drugiej k. śródręcza (Aiello, Dean 1996, 373–394).

Do cech bardziej prymitywnych należy zaliczyć budowę kości łódeczkowatej oraz paliczków dystalnych i proksymalnych. Podczas oceny rozwoju ewolucyjnego kości śródręcza brana jest po uwagę budowa guzka kości

łódeczkowatej. Niestety w przypadku kości łódeczkowatej *H. habilis* ta część zachowana jest niekompletnie. Susman i Creel (1979) przypuszczają jednak, że nie było tu rozwiniętej powierzchni stawowej łączącej tę kość z kością czworoboczną większą i mniejszą. U małp te powierzchnie znajdują się trzonie kości łódeczkowatej nie zaś na guzku. U ludzi guzek kości łódeczkowatej jest prawie takiej samej wielkości jak trzon tej kości. Położony jest po stronie dłoniowej i łączy się z kością czworoboczną większą i mniejszą.

Kolejne podobieństwa do małp to budowa paliczków proksymalnych i środkowych. Nie wykazują one cech ludzkich, za to są bardzo podobne do paliczków współczesnych małp afrykańskich (Aiello, Dean 1996, 373–394; Coffing, McHenry 2000, 125–146). Najlepiej pokazuje to rozbudowany przyczep mięśnia zginacza powierzchownego palców na środkowym palcu. Ten przyczep ułożony jest jednak bardziej dystalnie niż u współczesnych małp (Aiello, Dean 1996, 373–394).

Podobieństwa w budowie morfologicznej *H. habilis* do *H. sapiens* dotyczą przede wszystkim pierwszego stawu śródrečno-nadgarstkowego i paliczków dystalnych. Pierwszy staw śródrečno-nadgarstkowy jest rozszerzony tak jak u ludzi, na obie powierzchnie dłoniowo-grzbietową i środkowo-boczną, i również ma zredukowaną wypukłość. To duży kontrast w zestawieniu z wklęsło-wypukłą i wąską powierzchnią stawową znaną u szympansov. Powierzchnia stawowa pomiędzy kością czworoboczną większą i kością łódeczkowatą jest również rozszerzona, tak jak jest to widoczne u ludzi. Paliczki dystalne są bardziej podobne do ludzkich niż małpich, gdyż są krótkie, cienkie w przekroju dłoniowo-grzbietowym i mają zaznaczoną guzowatość paznokciową, stanowiąca podłoże opuszko palca.

Kolejna kwestia dotyczy grubości trzonków sfosylizowanych kości z Olduvai. Jeden z paliczków odkrytych w Olduvai określony został jako paliczek dystalny kciuka. Dzięki temu można było wyliczyć proporcje długości pomiędzy paliczkami dystalnymi kciuka i palca III. Okazało się, że były to proporcje zbliżone do tych znanych u ludzi (Aiello, Dean 1996, 373–394). Wyżej wspomniane analizy wskazują, że ręka *H. habilis* była inna niż ręka *A. afarensis* i znacznie bardziej zbliżoną do ręki *P. robustus*, pod względem adaptacji do ludzkiego typu chwytu.

Budowa pierwszego stawu śródrečno-nadgarstkowego wskazuje, że *H. habilis* podobnie jak *P. robustus* mógł przeciwdziałać dużej sile powstającej w trakcie amortyzowania uderzenia tłukiem. Również dość obszerne końce paliczków dystalnych wskazują na rozbudowaną powierzchnię opuszków palców, a co za tym idzie zwiększenie precyzyjnej manipulacji niezbędnej podczas chwytu precyzyjnego (Aiello, Dean 1996, 373–394).

Większość badaczy uważa, że *H. habilis* był już stosunkowo wyspecjalizowanym wytwórcą narzędzi (Pott 1988; Schick, Toth 1993). Cechy prymitywne takie jak znaczny przyczep mięśnia zginacza palców powierzchownego i zakrzywienie paliczków proksymalnych wskazują na wciąż dobre przystosowanie do wspinaczki (Susman 1998, 28–46). Brak co prawda kilku cech w budowie, które według kryteriów wyznaczonych przez M. Marzke (1997,

107) można by łączyć z w pełni kontrolowanym chwytem precyzyjnym. Brak tu bowiem następujących cech: grzebieni podłużnych w górnych częściach paliczków dystalnych; promieniowej orientacji III głowy kości śródreżca, asymetrii między II i V kością śródreżca; orientacji II stawu śródreżno-nadgarstkowego, relatywnie długiego kciuka i proporcjonalnie dobrze rozwiniętych przyczepów mięśni kciuka (Susman 1998, 39–40). Jednak według innych wyznaczników cechy takie jak guzowatość paliczka dystalnego i przyczep mięśnia zginacza kciuka długiego, wskazują na zdolność stosowania chwytów precyzyjnych, a więc i zdolność tworzenia narzędzi (Napier 1960, 647–657; Susman 1994, 1570–1573).

Homo ergaster

Konsekwencje wyprostowanej postawy ciała różnią się u australopiteków i wczesnych *Homo*. Szczególne różnice widać między *A.* i *H. ergaster*. U *H. ergaster* zauważamy wyraźne zwiększenie wielkości ciała przy relatywnie małej długości kończyn przednich. Odkryto wiele fragmentów kości rąk należących do *H. ergaster* i żadnych, które możnaby z pewnością przypisać do *H. rudolfensis*. Dlatego informacje dotyczące *H. rudolfensis* opierają się na analizach porównawczych do szkieletu kończyn górnych znanych dla *H. ergaster*. Z tego powodu poniżej rozpatrzone zostaną jedynie dane dotyczące *H. ergaster*.

Zmiany proporcji kończyny górnej obrazują przekształcenia jakie zaszły w wyniku ewolucji między australopitekami, *H. habilis*, a *H. ergaster*. Gatunki wcześniejsze (*A.* i *H. habilis*) mają bardziej masywne kości niż późniejsi przedstawiciele rodzaju *Homo* (Witthe 1994, 194). Według Kimbel *et al.* (1994) współczynnik stosunku długości kości łokciowej do kości udowej u *A. afarensis* wynosi 91%, co jest bliższe proporcją małpim (szympans 95%) niż ludzkim (*H. sapiens* 80%). Znacznie bliżej ludzkich proporcji jest *H. ergaster*, u którego współczynnik ten wynosi 85% (Ruff, Walker 1993).

Wyliczono również wskaźnik ze stosunku długości kości promieniowej i kości ramiennej, który dla szympansa wynosi (87–100%), a u człowieka (76–79%). U *H. ergaster* współczynnik ten wyliczono na 80%, więc gatunek reprezentuje cechy bardziej zbliżone do ludzkich niż małpich (Ruff, Walker 1993). Podobnie bardziej ludzkie są proporcje długości ramienia do przedramienia (Ruff, Walker 1993). W stosunku do ogólnej budowy ciała *H. habilis* u *H. ergaster* obserwowane jest zmniejszenie rozmiaru kończyn górnych. Obrazuje to porównanie obojczyków, u *H. habilis* i *H. ergaster* są one podobnych rozmiarów, przy czym kość ramienna w stosunku do obojczyka jest znacznie większa u *H. habilis* (Coffing, McHenry 2000, 125–146).

Kości ręki *H. ergaster* również charakteryzuje występowanie większej ilości cech zaawansowanych niż prymitywnych. Paliczki są wydłużone i proste jak u *H. sapiens*, a nie zakrzywione jak u wcześniejszych gatunków (*A.* i *H. habilis*) (Coffing, McHenry 2000, 125–146). *H. ergaster* posiada również cechy wyjątkowe tylko dla tego gatunku. Jest to charakterystyczne haczykowate wygięcie I kości śródreżca (Aiello, Dean 1996, 382).

Podstawowy problem przy analizach zręczności wczesnych gatunków *Homo* wynika z braku odpowiedniej ilości danych. Istnieje tu duża luka pomiędzy jeszcze stosunkowo prymitywnymi szczątkami *H. habilis* a kolejnymi gatunkami. Więcej informacji jest dostępnych dla *H. ergaster*, a brak informacji na temat form przejściowych np. do *H. rudolfensis* (Coffing, McHenry 2000, 125–146).

Na podstawie cech morfologicznych (Tabela 5), analizy technologicznej zabytków kamiennych oraz wspólnego kontekstu odkrycia tych dwóch kategorii źródeł można przyjąć, że pierwszym twórcą narzędzi kultury olduwajskiej był prawdopodobnie *P. robustus*. Gatunki wcześniejsze posiadały co prawda cechy wskazujące na zdolność stosowania niektórych chwytów precyzyjnych ale ciężko stwierdzić, czy te pojedyncze przystosowania były wystarczające do produkcji narzędzi kamiennych. Możliwe jest, że australopiteki stosowały niektóre z chwytów precyzyjnych do opracowywania materiałów organicznych, nie ma na to jednak potwierdzenia we wczesno-olduwajskich zabytkach archeologicznych.

Kolejne gatunki były coraz lepiej przystosowane do produkcji narzędzi olduwajskich. Nie wiadomo jednak w jakim stopniu chwyt przez nie używane były kontrolowane. Prawdopodobnie dopiero *H. ergaster* w pełni wykorzystywał swoje przystosowania manipulacyjne. Dopiero u tego gatunku cechy w budowie morfologicznej występują kompleksowo. Pozwalało to na odpowiednie wykorzystanie całego układu biomechanicznego do produkcji narzędzi.

Podsumowanie

Narzędzia, przyrządy wykonane przy pomocy rąk i służące do stworzenia następnych narzędzi, odegrały istotny wpływ na rozwój hominidów, dlatego mogą być traktowane jako jeden z integralnych czynników ewolucyjnych. Początkowo wszystkie czynności wykonywane były jedynie za pomocą rąk, tak jak ma to miejsce u pongidów. Na tym etapie ewolucji to ręce używane są jako narzędzia. W miarę rozwoju przekształceń ulegały poszczególne części ręki. Zmiany te były efektem działania różnych czynników m.in. zmiany sposobu lokomocji, przyjęcia wyprostowanej pozycji ciała, zwiększającej się potrzebie stosowania chwytów precyzyjnych, czy stopniowemu zwiększaniu się mózgu. Im większe stawały się zdolności manipulacyjne, tym częściej poszczególne czynności wykonywane były za pomocą elementów zewnętrznych – narzędzi. Początkowo były to proste działania takie jak chwytanie, drapnię, dotykanie. Z czasem następowała specjalizacja i wykonywano coraz szerszą gamę narzędzi. Była ona konsekwencją większego zaawansowania wytwórców. Zwiększenie zdolności manipulacyjnych ma bowiem wpływ zarówno na możliwości wytwarzania ale i wykorzystywania narzędzi. Specjalizacja funkcjonalna ręki zachodzi nie tylko w wyniku zmian anatomicznych, ale głównie w jej możliwościach posługiwania się coraz bar-

dziej wyspecjalizowanymi narzędziami. W wyniku ewolucji ręka przestała być narzędzia samym w sobie. Z tego powodu podczas badania możliwości manipulacyjnych należy zwrócić uwagę jednocześnie na relacje między ręką, materiałem pracującym i narzędziem.

Podczas wytwarzania narzędzi odłupkowych niezbędna była możliwość zastosowania chwytu kluczowego, dwupunktowego, trójpunktowego oraz kolebkowego. Chwyty te były stosowane w kolejnych fazach produkcji i ostatecznie podczas wykorzystania narzędzi. Chwyt kluczowy niezbędny był podczas trzymania odłupka oraz do używania go przy oprawianiu skór, czy do krojenia mięsa. Mógł także służyć do stabilizowania rdzenia w ostatnich fazach produkcji, kiedy rdzeń był już mocno wyeksploatowany. Chwyt dwupunktowy, zwany również opuszkowym, jako jeden z najbardziej precyzyjnych chwytów, mógł być wykorzystywany do trzymania narzędzi małej wielkości. Służył on podobnie jak chwyt kluczowy do stabilizowania rdzenia w ostatnich fazach produkcji. Mógł być także wykorzystywany podczas nakłuwania czy wiercenia. Kolejny chwyt – trójpunktowy stosowany jest przez współczesne małpy człekokształtne do trzymania pokarmu. Jest to jeden z najbardziej prymitywnych chwytów precyzyjnych i dlatego ma dość szerokie zastosowanie. Może służyć zarówno do trzymania zredukowanego rdzenia czy małego tłuka jak i do manipulacji narzędziem odłupkowym. W zależności od kształtu odłupka chwyt ten może być wykorzystywany podczas drapania, wiercenia, czy przekłuwania. Ostatni z chwytów wykorzystywanych w technice odłupkowej, chwyt kolebkowy jest chwytem siłowym. Jest to podstawowy chwyt stosowany przy manipulacji dużymi przedmiotami w tym zarówno rdzeniami jak i tłukami. Jest to chwyt siłowy, więc jest on znacznie mniej precyzyjny niż trzy poprzednie.

Zdolność stosowania tych czterech chwytów u wczesnych hominidów może wskazywać na możliwość korzystania z techniki odłupkowej. Należy jednak pamiętać, że większość badań eksperymentalnych oparta jest o biomechanikę znaną u *H. sapiens*. U wczesnych hominidów poszczególne ruchy mogły być wykonywane inaczej. Tak więc brak cech w budowie morfologicznej wskazujących na zdolność wykonywania określonego chwytu, nie koniecznie dyskwalifikuje możliwości tego gatunku do korzystania z metody odłupkowej.

Badania budowy kończyn górnych *A. afarensis* wskazują, że gatunek ten potrafił wykonywać chwyt trójpunktowy i dwupunktowy. Kciuk był wystarczająco długi w stosunku do innych palców, aby wykonać chwyt trójpunktowy. Obserwuje się jednak pewne ograniczenia uniemożliwiające wykonywanie dwóch pozostałych chwytów. *A. afarensis* nie posiadał bowiem rozbudowanych mięśni wzmacniających chwyt kluczowy. Ze względu na małe możliwości przeciwstawiania kciuka pozostałym palcom, nie był on również zdolny do wykonania chwytu kolebkowego. Jest to umiejętność niezbędna podczas operowania dużymi przedmiotami. *A. afarensis* posiadał 3 z pośród 8 typowo ludzkich cech wskazujących na zachowania narzędziowe. Kończyny górne *A. afarensis* były bardziej przystosowane do chwytu siłowego niż do precyzyjnego (Susman 1991, 129–149).

P. robustus posiadał znacznie większe zdolności manipulacyjne. Gatunek ten był zdolny do wykonywania wszystkich czterech wyżej wspomnianych chwytów. Analiza poszczególnych struktur anatomicznych kończyny górnej może pokazać, w jakim stopniu gatunek ten kontrolował manipulację narzędziami. Zakończenie paliczka dystalnego kciuka jest obszerne, co sugeruje występowanie większej i bardziej wrażliwej opuszki. Wskazują to na zdolność stosowania przez *P. robustus* wyspecjalizowanych chwytów precyzyjnych. Oprócz tego paliczki proksymalne są prostsze i krótsze tak jak u człowieka, co ogranicza przystosowanie *P. robustus* do wspinania i brachiacji. Wszystkie te cechy pokazują, że *P. robustus* mógł wykonywać proste narzędzia odłupkowe.

U *H. habilis* stwierdza się obecność cech prymitywnych ale także obecność przystosowań pozwalających na stosowanie chwytów precyzyjnych, koniecznych podczas wytwarzania narzędzi. *H. habilis* podobnie jak *P. robustus* mógł sprostać dużej sile powstającej podczas stosowania chwytu siłowego. Jest to zdolność niezbędna w trakcie amortyzowania uderzenia tłukiem. Również dość szerokie zakończenia paliczków dystalnych wskazują na rozbudowaną podstawę opuszków palców, a co za tym idzie zwiększenie możliwości manipulacji niezbędnej podczas chwytu precyzyjnego. Kończyny górne *H. habilis* były już przystosowane anatomicznie do produkcji prostych narzędzi kultury olduwajskiej. Dopiero jednak *H. ergaster* posiada cały kompleks cech, pozwalający na wykonywanie wszystkich wyżej wspomnianych chwytów. W związku z tym, że obserwujemy tu współistnienie wielu cech zaawansowanych, nie ulega wątpliwości, że *H. ergaster* posługiwał się w pełni kontrolowanymi chwytami precyzyjnymi.

Zdolności manipulacyjne kolejnych hominidów rzadko kiedy odnoszone są do określonych technik obróbki kamienia. Często opisuje się dane chwyt stwierdzając, że były one stosowane do trzymania dużych lub małych przedmiotów. Analizy polegają na rozróżnieniu cech zaawansowanych (ludzkich) i prymitywnych (małpich). Występowanie poszczególnych struktur anatomicznych wskazuje na możliwość stosowania określonego rodzaju chwytu. Należy jednak pamiętać, że do wytwarzania narzędzi niezbędne było połączenie kilku czynników. Oprócz zaawansowanej budowy anatomicznej kończyn górnych, a co za tym idzie możliwości manipulacyjnych, równie ważny był odpowiednio duży mózgu, który pozwalałby w pełni wykorzystywać zdolności motoryczne.

Należy pamiętać, że typ chwytu uzależniony był od funkcji danego przedmiotu. Sama funkcja narzędzia narzuca określony rodzaj manipulacji. Fakt, że dany gatunek mógł trzymać odłupek w chwycie trójpunktowym nie pozwala na stwierdzenie, że mógł go wykorzystywać do drapania czy wiercenia.

Niestety zagadnienia te nie są poruszane wspólnie przez archeologów i antropologów. Stało się to powodem wielu błędnych interpretacji. Część antropologów rozważa na przykład biomechanikę wczesnych hominidów, biorąc pod uwagę jedynie duże narzędzia, takie jak tłuki. Tymczasem określone hominidy mogły nie mieć przystosowań do operowania dużymi narzędziami, ale doskonale radziły sobie z manipulacją odłupkami.

Kolejne problemy wynikają z tego, że analizy technologiczne nie były przeprowadzane równie dokładnie dla wszystkich kategorii zabytków czy technik obróbki. Przykładem mogą być lepiej zbadane techniki odłupkowe, gdyż są one bardziej zaawansowane i poświęcano im więcej uwagi w literaturze. Dla tej techniki można, więc wyznaczyć zestaw niezbędnych ruchów, które dany hominid musiał umieć wykonać, aby stworzyć narzędzie. Jednakże twórcy przemysłów otoczkowych wytwarzali także innego typu narzędzia. Duża część znalezisk to sferoidy, których funkcja nie jest do końca znana. To powoduje z kolei problemy z analizowaniem ich w kontekście zdolności manipulacyjnych pierwszych hominidów.

Kolejne zagadnienie to różnorodność biologiczna okresu kultury olduwajskiej. W zasadzie do momentu pojawienia się *H. ergaster* twórcami narzędzi mogło być kilka gatunków w jednym czasie. Część z nich występowała na stosunkowo małym obszarze. Jeśli założymy, że kilka gatunków jednocześnie mogło wytwarzać narzędzia, to musimy również wziąć pod uwagę możliwość współistnienia paralelnie kilku systemów rozwoju zarówno biologicznego jak i technologicznego. Ewolucja poszczególnych części ciała jak i technik mogła również zachodzić na zasadzie konwergencji (Lancaster 1968, 62). Każdy z tych systemów mógł się charakteryzować innym niezbędnym zakresem ruchów.

Na dzień dzisiejszy stan badań nad wpływem biomechaniki kończyn górnych wczesnych hominidów na technologię kultury olduwajskiej jest niewystarczający. Przedstawiciele różnych nauk odpowiadają na nieco inne pytania i rozwiązują inne kwestie. To wszystko powoduje, że ciężko zbudować jeden spójny obraz możliwości wczesnych człowiekowatych. Odpowiedź na wszystkie wyżej wspomniane wątpliwości mogą przynieść dogłębne studia interdyscyplinarne.